

Restauro Funcional de Instrumentação Astronómica Orientada para a sua Utilização em Programas de Divulgação e de Investigação Científica

Bernardo Carneiro Leão Relvas
Programa Doutoral em Ensino e Divulgação das Ciências
Unidade de Ensino das Ciências
2022

Orientador
Dalmiro Maia, Coordenador Científico, CICGE

Coorientadores
João Paiva, Professor Associado com Agregação, FCUP

Mário Vaz, Professor Associado com Agregação, FEUP

Agradecimentos

O restauro funcional de património cultural reveste-se de um conjunto de desafios que põe à prova mesmo os profissionais mais bem preparados. No início deste projeto o autor era um recém-licenciado, mas um conjunto de pessoas apostaram nele. Essas pessoas foram o Paulo Gusmão e o Professor Doutor António Cardoso da Reitoria da Universidade do Porto, o Professor Doutor Mário Vaz da Faculdade de Engenharia UP onde o autor trabalhava na altura, o Professor Doutor José Luís Santos da FCUP e a Investigadora Principal Doutora Luísa Bastos enquanto diretora do Observatório. O orientador desses trabalhos iniciais foi o Engenheiro Fernando de Oliveira. Estas são pessoas incrivelmente generosas que emprestaram o seu tempo e energia a este projeto e fizeram tudo para que nada faltasse. Para estes o autor tem uma enorme dívida de gratidão.

Qualquer projeto desta natureza toma contornos multidisciplinares que implicam prudência na atuação, conhecimento e experiência. Este projeto não foi diferente. Neste sentido, o autor gostaria de agradecer ao Círculo dos Amigos do Círculo Meridiano de Espelho pelo empenho e dedicação na prossecução deste trabalho. Além dos acima mencionados, o Círculo é ainda composto pelos seguintes:

Professor Doutor Dalmiro Maia, OAMB

Doutor Américo Magalhães, OAMB

Mónica Rodrigues, OAMB

Doutor Jorge Carneiro, Reitoria

Professor Doutor Cosme Moura, FCUP

Professor Doutor Luís Lopes, FCUP

Doutor Paulo Pinto (a título póstumo)

Professor Doutor Manuel Marques, FCUP

Maria Armanda Sá, FCUP

Doutor João Dias da Silva,

Professor Doutor Carlos Sá, CEMUP

Professor Doutor Jorge Seabra, CETRIB

Professor Doutor Francisco Freitas, FEUP

Na qualidade de orientador deste trabalho, o Círculo dos Amigos do CME conta agora também com o Professor Doutor João Paiva.

O autor gostaria de deixar uma palavra especial de reconhecimento pelo trabalho desenvolvido pelo pessoal técnico da FCUP, liderado pelo Engenheiro Albano Costa. O autor reconhece o grande trabalho do carpinteiro Sr. Fernando Maia, do eletricista Sr. Américo Teixeira e do Sr. Joaquim Teixeira, que ficarão para sempre na sua memória como profissionais diligentes que “não precisam de inspetores para trabalharem” e é verdade. Também ao técnico Carlos Gaspar no trabalho sem precedentes na montagem meticulosa das cablagens do Telescópio de 30’’.

Na preparação deste trabalho, o autor sentiu maior dificuldade em lidar com os assuntos próprios do sector social. Para o ajudar a perceber a dinâmica da análise de conteúdo o autor pôde contar com o inestimável contributo do Professor João Paiva bem como com a experiência do investigador Doutor Gil Nata. O autor está muito grato pelos vossos contributos.

Porque nem só de pão vive o homem, o autor gostaria de dirigir uma palavra de reconhecimento a Marisa Monteiro, curadora da coleção de instrumentos científicos do Museu de História Natural e Ciência da Universidade do Porto e ao técnico aposentado Sr. José Fernandes pela generosidade técnica e pelo carinho que sempre demonstraram para com o projeto e para com o autor.

O autor não podia deixar de dirigir uma palavra de profundo agradecimento ao técnico de eletrónica Pedro Cruz pois foi ele que tornou possível a articulação entre os vários sistemas mecânicos desenvolvidos pelo autor e os necessários componentes eletrónicos que os diversos instrumentos requerem para funcionar. Durante as inúmeras noites geladas de observação de cúpula aberta para a calibração e alinhamento do Círculo Meridiano de Espelho foi o Pedro Cruz que acompanhou o autor de forma perseverante, aturando o mau humor provocado pelas várias tentativas infrutíferas, que permitiu que a mecânica e a eletrónica se fundissem num instrumento funcional de verdade. Sem ele este trabalho teria sido muito mais difícil e certamente não teria tido a mesma piada. Também merece reconhecimento o Engenheiro David Araújo pelo trabalho notável desenvolvido.

Algumas etapas do trabalho foram financiadas pelo projeto "Enabling Green E-science for the SKA Research Infrastructure" (ENGAGE SKA), referência POCI-01-0145-FEDER-022217, através de fundos do COMPETE 2020 e da FCT.

Este trabalho é dedicado à minha família.

Resumo

Este trabalho centra-se na investigação de estratégias de divulgação científica numa abordagem tecnológica baseada no restauro funcional de instrumentação astronómica. Formam a base instrumental deste trabalho o Círculo Meridiano de Espelho e o Telescópio de 30'', dois instrumentos astronómicos que foram restaurados entre 2011 e 2020. A intervenção visou a sua utilização no âmbito de uma atividade de divulgação científica centrada no acerto de relógios através da observação do trânsito de estrelas por parte do público para o que se construiu uma experiência em que o visitante pode exercer dinamismos de comando através do planetário virtual *Stellarium*. No Telescópio de 30'' a intervenção teve por objetivo a robotização do equipamento com vista à deteção remota de lixo espacial capacitando-o, simultaneamente, para a utilização no âmbito de programas de divulgação científica.

Iniciadas em 2013, as visitas públicas ao observatório são subordinadas ao tema da determinação precisa da hora. Como forma de auscultar o público para o seu interesse na temática, introduziram-se na visita outros dois instrumentos de passagens mais pequenos que permitiam ativar o interesse por assuntos STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Em 2017, já com o Telescópio de 30'' em pleno funcionamento, as visitas ao público passaram a ser dirigidas também ao público escolar de forma sistematizada. No sentido de responder à questão de investigação: "Pode a instrumentação astronómica restaurada funcionalmente alavancar atividades de divulgação científica?" implementou-se um estudo exploratório, tendo por alvo duas turmas do 7º ano de uma escola de Vila Nova de Gaia. O tratamento documental seguiu um método semi-qualitativo. Os resultados obtidos demonstraram, por um lado, que o público é muito sensível à presença de elementos tecnológicos digitais na interface com o objeto antigo recuperado funcionalmente e, por outro, que existe grande interesse em participar em atividades de observação noturna.

No que diz respeito à segunda parte da questão de investigação "Pode a instrumentação astronómica restaurada funcionalmente alavancar atividades de investigação científica?", projetou-se uma atividade de espectroscopia astronómica com o Telescópio de 30'' pensada para a colaboração de astrónomos amadores, profissionais e público leigo, mas a pandemia não permitiu implementá-lo. O desenho

gizado para esta atividade, bem como outras propostas coerentes com todo o esforço empreendido, resultaram num conjunto de recursos de enorme potencial para aplicações futuras, com o qual fechamos (abrindo...) esta investigação.

Palavras-chave

Restauro, funcional, instrumentação, astronomia, divulgação

Abstract

This work focuses on the research of science outreach strategies on a technological approach based on the functional restoration of astronomical instruments. The instrumental base is composed by the Mirror Meridian Circle and the 30'' Telescope, two astronomical instruments that were restored between 2011 and 2020. The intervention aimed at its use in the scope of a scientific outreach activity focused on the setting of clocks through the observation of the transit of stars by the visiting public, for which an experience was built in which the visitor can exercise command dynamism through Stellarium. In the 30'' Telescope, the intervention aimed at robotizing the equipment with a view to remotely detecting space debris, enabling it, at the same time, to be used in the scope of scientific outreach programs.

Started in 2013, the public visits to the observatory are subordinated to the theme of determining the precise time. As a way of listening to the public for their interest in the subject, two other instruments with smaller passages were introduced during the visit, which allowed for the activation of interest in STEM subjects (Science, Technology, Engineering, Mathematics). In 2017, with the 30'' Telescope ready to use, visits to the public started to be directed also to the school public in a systematic way. To answer the research question: "Can functionally restored astronomical instrumentation leverage scientific dissemination activities?" an exploratory case study was implemented, targeting two 7th grade classes of a school in Vila Nova de Gaia. Documentary processing followed a semi-qualitative method. The results showed that the public is very sensitive to the presence of digital technological elements in the interface with the functionally restored old object. The results obtained also demonstrate the interest of the public in performing nocturnal observations.

Regarding the second part of the research question "Can functionally restored astronomical instrumentation leverage scientific research activities?", an astronomical spectroscopy activity with the 30" Telescope was designed for the collaboration of professional, amateur astronomers and lay public, but the pandemic did not allow it to be implemented. The design outlined for this activity, as well as other proposals consistent with all the effort undertaken, resulted in a set of resources with enormous potential for future applications, with which we close (open...) this investigation.

Keywords

Restoration, functional, instrumentation, astronomy, outreach

Índice

Agradecimentos ii
Resumo v
Palavras-chave vi
Abstract vii
Keywords viii
Índice de Figuras xiii
Índice de Tabelas xviii
Lista de abreviaturas xix
1. Introdução 1
1.1 Resenha histórica focada no desenvolvimento do círculo meridiano de espelho 2
1.2 O problema de investigação 7
1.3 A questão de investigação 13
1.4 Estrutura da Tese 16
2. Metodologia e Abordagem 20
2.1 Introdução 20
2.2 Na Intervenção no CME 23
2.2.1 Fase Preparatória 23
2.2.2 Definição geométrica do objeto 24
2.2.3 Abordagem da recuperação 26
2.2.4 Abordagem de restauro funcional 28
2.3 Na Intervenção no Telescópio de 30'' 33
2.3.1 Introdução 33
2.3.2 Filosofia da Intervenção 35

2.3.3 Definição Geométrica do Objeto 37
2.3.4 Desmontagem e Reparações 39
2.3.5 Nova motorização com vista à investigação científica 39
2.4 Desenvolvimento de atividades de divulgação científica 40
2.5 Ligação à comunidade 40
3. O restauro funcional do Círculo Meridiano de Espelho 42
3.1 Apresentação do Instrumento 42
3.1.1 Sistema ótico 43
3.1.2 Eixo e Dispositivo de Suspensão 44
3.1.3 Bases de alinhamento 45
3.1.4 Dispositivo de Inversão 47
3.1.5 Dispositivo de Impulsão de Mercúrio 49
3.1.6 Registo das observações 51
3.1.7 Colimadores Axiais 54
3.2 Recuperação do Instrumento 55
3.2.1 Parte ótica 55
3.2.2 Lavagem dos rolamentos do Eixo 58
3.2.3 Sistema de fixação do espelho no Eixo 59
3.2.4 Dispositivo de inversão 63
3.2.5 Sistema de Pontaria 63
3.2.6 Registo de observações 64
3.2.7 Dispositivo de Impulsão de Mercúrio 65
3.3 Intervenção no abrigo 71
3.4 Intervenção Elétrica 74
3.5 Restauro Funcional 75
3.5.1 Intervenção sobre o sistema de pontaria 75
3.5.2 Sistema Eletromecânico de Nivelamento Gémeo (SENG) 89

3.5.3 Alinhamento do CME 100
3.6 Seleção da estrela 114
3.6.1 Determinação da culminação 116
3.6.2 Definição do referencial local do sistema de pontaria 119
3.6.3 Algoritmo para a construção da lista de observação 122
3.6.4 Determinação de UT1 baseada na nova TLS 125
4. Restauro funcional do Telescópio de 30'' 129
4.1 Introdução 129
4.2 Recuperação do instrumento 133
4.3 Reapetrechamento com vista à investigação científica 142
4.3.1 Motorização no eixo polar 150
4.3.2 Motorização do eixo de declinação 153
4.3.3 Controlo 154
4.3.4 Embraiagens Eletromagnéticas e travões do eixo polar e do eixo de declinação 157
4.3.5 Fins de curso de segurança 158
5. Estratégias de divulgação e avaliação de impacto 161
5.1 Visitas guiadas ao Observatório 161
5.2 Estudo exploratório de análise de conteúdo no âmbito das visitas de estudo realizadas ao Observatório 179
5.2.1 Introdução 179
5.2.2 Enquadramento curricular 181
5.2.3 Breves notas sobre a metodologia qualitativa usada 185
5.2.4 Apresentação dos Resultados 188
5.2.5 Análise dos resultados 195
5.2.6 Discussão 201
5.2.7 Análise SWOT 206

6. Outras atividades de potencial divulgativo 207
6.1 Módulo explicativo do Tempo 207
6.2 Construção do módulo 211
6.3 Astronomia Espectroscópica no Telescópio de 30'' - Colaboração Profissional/Amador/Leigo 212
6.3.1 Introdução 212
6.3.2 Estado da arte 213
6.3.3 Implementação 221
6.3.4 Relevância da atividade 226
7. Notas finais 227
7.1 Principais conclusões 228
7.2 Algum percurso auto-crítico 233
7.3 Perspetivas futuras 235
8. Bibliografia 236
APÊNDICE I 246
APÊNDICE II 248
APÊNDICE III 255
APÊNDICE IV 268
ANEXO I - Magslip Data Catalogue
ANEXO II - Instrumentação e Princípios Teóricos de Astronomia Espectroscópica

Índice de Figuras

FIGURA 1: TIPO DE CAIXA USADA PARA ARMAZENAR OS DESENHOS DO C.M.E. 24
FIGURA 2: MODELO GERAL TRIDIMENSIONAL DO CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO 25
FIGURA 3: ASPETO DA NUVEM DE PONTOS DO CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO DO PORTO EM AUTOCAD® (ESQUERDA) E EM SOLIDWORKS® (DIREITA) 26
FIGURA 4: ASPETO GERAL DO TELESCÓPIO NO INÍCIO DOS TRABALHOS. 34
FIGURA 5: VISTA GERAL DAS ANTENAS QUE CIRCUNDAM O OBSERVATÓRIO. NESTA IMAGEM PODE VER-SE A COBERTURA PARCIALMENTE RECOLHIDA. 36
FIGURA 6: O TRAVÃO POLAR (INDICADO PELA SETA) ERA ATUADO POR UM MANÍPULO QUE APERTAVA O DISCO MOTOR TRANSMITINDO O SEU MOVIMENTO A UM TELESCÓPIO SUPOSTAMENTE EQUILIBRADO. TANGENCIALMENTE AO MANÍPULO PASSAVA UM CONJUNTO DE CABOS ELÉTRICOS QUE IA ENROLANDO NO EIXO POLAR À MEDIDA QUE O TELESCÓPIO RODAVA, AUMENTANDO CADA VEZ MAIS A CARGA SOBRE O MOTOR. 37
FIGURA 7: MODELO TRIDIMENSIONAL GLOBAL DO TELESCÓPIO DE 30'' 38
FIGURA 8: DESENHO DO CONJUNTO DE SUPORTE DO ESPELHO PRIMÁRIO DO TELESCÓPIO DE 30'' 38
FIGURA 9: ASPETO GERAL DO CME, EM 2011, ANTES DA INTERVENÇÃO. 43
FIGURA 10: TUBO DO COLIMADOR DE OBSERVAÇÃO E SEU MODELO VIRTUAL. 44
FIGURA 11:O EIXO REAL TAL COMO FOI ENCONTRADO E UM CORTE SEGUNDO UM PLANO PARALELO AO PRIMEIRO VERTICAL DO MODELO REPRESENTATIVO. 45
FIGURA 12: MODELO 3D DAS BASES DE ALINHAMENTO DO CME. 46
FIGURA 13: PORMENOR DE UMA MUNHONEIRA COM OS SEUS DOIS BOTÕES DE LATÃO. 47
FIGURA 14 O MECANISMO DE INVERSÃO EM MANOBRA. MODELO DO CONJUNTO: A - CORTE SEGUNDO UM PLANO VERTICAL DO MECANISMO DE IMPULSÃO; B - MECANISMO DE INVERSÃO; C – ESPELHO NADIRAL. 48
FIGURA 15: O DISPOSITIVO DE IMPULSÃO PARCIALMENTE DESMONTADO COM UM DOS ÊMBOLOS REMOVIDO. 50
FIGURA 16: MICRÓMETRO REGISTADOR DE 1953 51
FIGURA 17: POSTO DE OBSERVAÇÃO SUL. O MECANISMO DE SEGUIMENTO DE ESTRELAS À ESQUERDA, COM O MICRÓMETRO REGISTADOR DE 1958 NO CENTRO E O COMANDO ANALÓGICO DO CME ENTRE ELES. À DIREITA, ENCONTRA-SE O PROCESSADOR. NO CENTRO DA SALA, ENCONTRA-SE O ESPELHO LADEADO PELOS COLIMADORES AXIAIS, QUE FAZEM PARTE DO SISTEMA ÓTICO DE CALIBRAÇÃO. 52
FIGURA 18: MICRÓMETRO REGISTADOR DE 1958 COM PAINEL FRONTAL REMOVIDO. O MECANISMO DO INTEGRADOR MECÂNICO PERMITE O AJUSTE MANUAL INICIAL DA POSIÇÃO DO CARRO DE SEGUIMENTO DA ESTRELA POR AÇÃO DO MANÍPULO (A), QUE SEGUE PARA O DIFERENCIAL DO INTEGRADOR ATRAVÉS DO VEIO (B). A POSIÇÃO DO CARRO (E) É

ALTERADA PELO VEIO (C) QUE O ANIMA À VELOCIDADE REGULADA. A POSIÇÃO DO CARRO É LIDA PELOS PARAFUSOS (D) E (F) QUE SE ENCONTRAM ACOPLADOS AOS DIGITALIZADORES (CORPOS NEGROS CILÍNDRICOS NA FOTOGRAFIA, NÃO REPRESENTADOS NO MODELO) 53
FIGURA 19: MICROESTRUTURA DE FIBRAS SINTÉTICAS OBSERVADAS NO MICROSCÓPIO ELETRÓNICO. 54
FIGURA 20: MÁQUINAS FOTOGRÁFICAS PARA REGISTO DA POSIÇÃO DO LIMBO, MONTADAS NA MUNHONEIRA OESTE. 54
FIGURA 21: OCULAR AUTOCOLIMADORA DE DANJON. 55
FIGURA 22: O ESPELHO REALUMINIZADO MONTADO NO EIXO. 56
FIGURA 23: AS LENTES DO PAR COLIMADOR DESMONTADAS E LAVADAS. 56
FIGURA 24: ASPETO DO ESPELHO NADIRAL COM O MERCÚRIO. 56
FIGURA 25: O PRATO DE COBRE DO ESPELHO NADIRAL FOI SUJEITO AO EFEITO DO BICO DE BUNSEN DENTRO DE UMA HOTTE DO LABORATÓRIO DE QUÍMICA DA FCUP. 57
FIGURA 26: ASPETO FINAL DO ESPELHO NADIRAL PROTEGIDO. 57
FIGURA 27: PORMENOR DE UM DOS ROLAMENTOS DO EIXO 58
FIGURA 28: AROS DE SUPORTE DO EIXO DESMONTADOS POUSADOS NO CHÃO 58
FIGURA 29: DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO DO ESPELHO 59
FIGURA 30: BOMBA DE VÁCUO PARCIALMENTE DESMONTADA. 59
FIGURA 31: CORTE DO MODELO SOLIDWORKS® DO EIXO SEGUNDO UM PLANO PARALELO AO ESPELHO: A – MUNHÃO, B – CONTRAPESO DO DISPOSITIVO DE SUSPENSÃO DO ESPELHO, C – CARDAN DO DISPOSITIVO DE SUSPENSÃO DO ESPELHO, D – PONTOS DE APOIO FIXO DO ESPELHO, E – CÂMARAS DOS CILINDROS PNEUMÁTICOS ANTIGOS, F – MOLA ANTAGONISTA DE REAÇÃO AO TRAVAMENTO DO ESPELHO NA DIREÇÃO PERPENDICULAR AO EIXO DE REVOLUÇÃO DO EIXO, G – PARAFUSO DE COLIMAÇÃO, H – LIMBO, I – RODA DENTADA, J – FEIXE DE AUTOCOLIMAÇÃO AXIAL. 60
FIGURA 32: MOTORREDUTOR DO DISPOSITIVO DE INVERSÃO 63
FIGURA 33: CONJUNTO DE MOTORIZAÇÃO DO CME, EM REPARAÇÃO E NO FINAL 64
FIGURA 34: MICRÓMETRO REGISTADOR ABERTO PARA LIMPEZA. 65
FIGURA 35: ESQ. - O CONJUNTO CENTRAL DO ESPELHO. O ACESSO À MANGUEIRA DE PURGA FAZ-SE REMOVENDO O PAINEL DE CONTRAPLACADO CENTRAL. DIR. – OS PISTÕES OCOS DO DISPOSITIVO DE IMPULSÃO FORAM REMOVIDOS E DEPOSITADOS NUM CONTENTOR COM ÁGUA QUE EVITA A EVAPORAÇÃO DO MERCÚRIO QUE SE LHE ENCONTRAVA AGARRADO. DEPOIS FORAM LEVEMENTE ESCOVADOS E BANHADOS COM ÁGUA PARA FIXAR OS ÓXIDOS QUE SE DEPOSITARIAM NO CONTENTOR. 69
FIGURA 36: FUNDO DE UM CILINDRO HIDRÁULICO. 70
FIGURA 37: O NOVO SOALHO DE PINHO TRATADO COM UMA CAIXA DE PAVIMENTO EQUIPADA COM TOMADAS MONOFÁSICAS E DE REDE. NESTA FOTO PODEMOS VER UM DOS PRIMEIROS DESUMIDIFICADORES UTILIZADOS NO ABRIGO DO CME. 71
FIGURA 38: ABERTURA NO SOALHO SOBRE A GALERIA SUBTERRÂNEA (ESQUERDA) E VISTA GLOBAL DO TRAVEJAMENTO DE SUPORTE DO SOALHO (DIREITA). 72

FIGURA 39: IMPERMEABILIZAÇÃO DA CÚPULA, ONDE SE PODEM OBSERVAR OS CORDÕES DE SILICONE NAS JUNTAS ENTRE CHAPAS....73
FIGURA 40: QUADRO ELÉTRICO INSTALADO NA RECUPERAÇÃO DO C.M.E. 74
FIGURA 41:CENTRAL DE CONTROLO DO CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO....75
FIGURA 42: DIAGRAMA DO SISTEMA DE PONTARIA BASEADO NA TECNOLOGIA *SYNCHROS*. 77
FIGURA 43: NO CANTO SUPERIOR ESQUERDO PODEMOS VER A UNIDADE MOTORA COM OS AMPLIFICADORES DE POTÊNCIA POR BAIXO. NA FOTO INFERIOR ENCONTRAMOS A UNIDADE DE AJUSTE FINO MONTADA DENTRO DO SUPORTE DA MUNHONEIRA OESTE. NAS DUAS FOTOS DA DIREITA VEMOS A ÚLTIMA FASE DA CADEIA CINEMÁTICA COM O PINHÃO A ENGRENAR NUMA DAS RODAS DENTADAS DE ALUMÍNIO. 78
FIGURA 44: POSIÇÃO DOS *SYNCHROS* NAS COSTAS DA CAIXA REDUTORA. 79
FIGURA 45: MECANISMO DE SEGUIMENTO DA ESTRELA COM O RECETOR MONTADO NO TOPO DA CAIXA DIFERENCIAL. 81
FIGURA 46: SOLUÇÃO INTERMÉDIA DE COMANDO DO ESPELHO. ATUANDO OS MANÍPULOS INTRODUZIA-SE O ÂNGULO NO MOSTRADOR DIGITAL. PRESSIONANDO O BOTÃO VERMELHO ENVIAVA-SE A ORDEM AO CONTROLADOR QUE FAZIA O EIXO RODAR. ESTA SOLUÇÃO FOI ABANDONADA QUANDO SE TORNOU POSSÍVEL COMANDAR O EIXO PELO COMPUTADOR. ..82
FIGURA 47: DIAGRAMA MECÂNICO DA CADEIA CINEMÁTICA E DO SISTEMA CONTROLO AUTOMÁTICO ANTIGO E O NOVO. O SISTEMA NOVO ENGLOBA O (ENC) – *ENCODER* E O (S) – MOTOR DE PASSO. 83
FIGURA 48: O ENCODER DO CME MONTADO NO SEU SUPORTE....84
FIGURA 49:PAINEL ELETRÓNICO PARA INDICAÇÃO DA HORA. 85
FIGURA 50: UNIDADE MOTORA DO EIXO COBERTA COM ACRÍLICO TRANSPARENTE PARA EVIDENCIAR A PRESENÇA DOS SYNCHROS ANTIGOS QUE FUNCIONAM EM CONJUGAÇÃO COM O MOTOR DE PASSO MODERNO. 86
FIGURA 51: DETETOR ÓTICO MONTADO POR BAIXO DO PINHÃO MOTOR. 86
FIGURA 52: NO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO, OS FEIXES LASER EMITIDOS E REFLETIDOS SÃO PERFEITAMENTE DISCERNÍVEIS NA SUPERFÍCIE FRONTAL DO PAR COLIMADOR. NA IMAGEM O FEIXE MAIS LARGO DE BAIXO É O EMITIDO. 87
FIGURA 53: ALTERAÇÕES AO DISPOSITIVO QUE DEFINE RADIALMENTE A POSIÇÃO DO ESPELHO EM RELAÇÃO AO EIXO. 88
FIGURA 54: POSIÇÃO DO EM1 E DO EM2, VISTO DO LADO SUL DO CME. 90
FIGURA 55: O MECANISMO RTL (A) – BASE EM AÇO, (B) – DISCO DE AÇO COM INTERRUTOR DE FIM-DE-CURSO, (C) – TUBO COM ESTRIADO EXTERIOR, (D) – PEÇA COM ESTRIADO INTERIOR FIXA, (E) – PEÇA ENCASTRADA EM (C) QUE RECEBE O CONE DO DISPOSITIVO DE SUSPENSÃO DO EIXO, (F) – VEIO EM AÇO DE CROMO-NÍQUEL, (G) – VEDANTE, (H) – ROLAMENTO AXIAL. (I) – CASQUILHO DE GUIAMENTO RADIAL AUTOLUBRIFICADO, (J) – CASTANHA ENCASTRADA EM (C) COM ROSCA ESQUERDA INTERIOR QUE PERMITE O MOVIMENTO VERTICAL, (K) – DISCO DE AÇO, (L) - PARAFUSO DE ROSCA DIREITA. 91
FIGURA 56: PARTE DE UM PARAFUSO DE POTÊNCIA COM ROSCA TRAPEZOIDAL SUJEITA A UMA CARGA DE COMPRESSÃO (BUDYNAS, 2006)....96
FIGURA 57: DIAGRAMA DE FORÇAS CORRESPONDENTES À SUBIDA (ESQUERDA) E À DESCIDA DA CARGA (DIREITA). (BUDYNAS, 2006)....96

FIGURA 58: ÂNGULO DA ROSCA DE 2A DO PERFIL ISO. 98
FIGURA 59: UM DOS EM ANTES DE SER MONTADO DENTRO DA CÂMARA DOS CILINDROS HIDRÁULICOS. 99
FIGURA 60: O AUTOCOLIMADOR LASER MONTADO NO TUBO DE COLIMAÇÃO AXIAL ESTE COM O NÍVEL POUSADO NA SUPERFÍCIE SUPERIOR. 103
FIGURA 61: AS FACETAS LATERAIS ESPELHADAS DO ESPELHO PRINCIPAL TÊM DE SER MONTADAS PERFEITAMENTE PARALELAS COM O PLANO DO MERIDIANO, ALGO IMPOSSÍVEL DE FAZER SEM AUTOCOLIMAÇÃO E GUIAMENTO AZIMUTAL. NO CANTO SUPERIOR ESQUERDO DA IMAGEM ENCONTRA-SE ASSINALADO UM DOS 4 CHANFROS EXISTENTES NO CORPO DO ESPELHO QUE SE ENCONTRA EM CONTACTO COM A PEÇA QUE SUPORTA O PARAFUSO QUE PERMITE O SEU AJUSTAMENTO EM TORNO DO VERTICAL QUANDO ESTE APONTA PARA O ZÉNITE. DO SOLIDWORKS PODEMOS CALCULAR QUE AS FACETAS DO ESPELHO PODEM TER UM DESALINHAMENTO MÁXIMO ±1° EM RELAÇÃO AO MERIDIANO, A QUE CORRESPONDE UM CÍRCULO CENTRADO NO FEIXE LASER DE REFERÊNCIA (LINHA VERMELHA COM SETA) DESENHADO PELO FEIXE LASER REFLETIDO DE APROXIMADAMENTE 52 MM DE RAIO NO ALVO DO COLIMADOR AXIAL ESTE, ISTO É, A UMA DISTÂNCIA DE 3 METROS. 104
FIGURA 62: CORTE PELO PRIMEIRO VERTICAL DO MODELO SOLIDWORKS DO CME: A – MOTORREDUTOR, B – VOLANTE DA BASE AZIMUTAL, C – FULCRO DA BASE AZIMUTAL, D – VOLANTE DA BASE DE ALTURA, E – *ENCODER*, F – PORMENOR DO ENGRENAMENTO MOTOR, ACD – AUTOCOLIMADOR DIGITAL. 106
FIGURA 63: O CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO DE OTTAWA. 107
FIGURA 64: PORMENOR DA FIGURA ANTERIOR EM QUE SE PODE VER CLARAMENTE UM TUBO QUE TERÁ SIDO PARA ALINHAR AS MUNHONEIRAS DO CÍRCULO MERIDIANO DE OTTAWA. 107
FIGURA 65: DEPOIS DE SER LEVANTADO PELO MECANISMO DE INVERSÃO, O EIXO DO CME FOI RODADO EM TORNO DO VERTICAL. NA IMAGEM PODEMOS VER O CALIBRE MONTADO ENTRE MUNHONEIRAS COM O NÍVEL (CORPO VERDE) EM POSIÇÃO. 109
FIGURA 66: ESQUERDA – O CALIBRE ENCONTRA-SE MONTADO NA POSIÇÃO HABITUAL DO EIXO QUE SE ENCONTRA SUBIDO E ALINHADO NA DIREÇÃO NORTE-SUL COM A CAVIDADE DO ESPELHO PRINCIPAL VOLTADA PARA BAIXO. A UMA DAS SUPERFÍCIES RETIFICADAS DO CALIBRE COLOU-SE UM PEQUENO ESPELHO AUXILIAR COM A SUPERFÍCIE REFLETORA VOLTADA PARA BAIXO. NA SUPERFÍCIE SUPERIOR MONTOU-SE UMA NIVELA DE BOLHA QUE SE PODIA OBSERVAR POR REFLEXÃO NO ESPELHO PRINCIPAL. DIREITA - MONTADO NA BASE NIVELANTE FAZ-SE INCIDIR O LASER HOWIE GLATTER NO ESPELHO AUXILIAR. SE HOUVER MOVIMENTO DA BASE DE ALTURA, TANTO A NIVELA DA BASE NIVELANTE COMO A NIVELA SUPERIOR REVELERÃO ALTERAÇÕES. NESTE CASO, A BASE NIVELANTE TERÁ DE SER NIVELADA NOVAMENTE ATÉ QUE AS DUAS COINCIDAM COM A POSIÇÃO HORIZONTAL PRETENDIDA. 110
FIGURA 67: COM O ESPELHO INCLINADO PARA BAIXO E PARA SUL, O FEIXE LASER EMITIDO DESDE O POSTO DE OBSERVAÇÃO SUL REFLETE PERFEITAMENTE NUM ESPELHO DE ÁGUA PARADA. 114
FIGURA 68: O TRAVÃO POLAR DESMONTADO. À ESQUERDA PODE-SE VER O DISCO REPLETO DE MANCHAS NEGRAS. À DIREITA, OS CALÇOS NEGROS IMPREGNADOS DE ÓLEO. 134

FIGURA 69: MODELO TRIDIMENSIONAL DO MECANISMO DE SEGUIMENTO. O MOTOR É ILUSTRADO PELO CORPO AZUL À DIREITA. 135
FIGURA 70: MECANISMO DE SEGUIMENTO POLAR ORIGINAL. O MECANISMO ENC FORMA O 1º E 2º ANDARES DE REDUÇÃO. AS RODAS DE SF.09 E SF.X1 FORMAM O 3º E A RODA DE COROA (NÃO SE ENCONTRA REPRESENTADA) E O PARAFUSO SEM-FIM FORMAM O 4º. 146
FIGURA 71: PONTOS DE OPERAÇÃO DO MOTOR GN9 NA MOTORIZAÇÃO LENTA, RÁPIDA E MUITO RÁPIDA NO EIXO DE ÂNGULO HORÁRIO 152
FIGURA 72: CORTE DEMONSTRATIVO DO CONJUNTO QUE EXECUTA O REGIME RÁPIDO E MUITO RÁPIDO. 153
FIGURA 73: PONTOS DE OPERAÇÃO DO MOTOR GPN9 NA MOTORIZAÇÃO RÁPIDA E MUITO RÁPIDA NO EIXO DE DECLINAÇÃO 154
FIGURA 74: ESQUEMA DE CONTROLO DA MOTORIZAÇÃO DO TELESCÓPIO 155
FIGURA 75: MODELO SOLIDWORKS (R) DAS GARRAS AUTOMÁTICAS. ADAPTADA AO MESMO SISTEMA DE PINÇAS DO TRAVÃO ORIGINAL (C), AS NOVAS GARRAS AUTOMÁTICAS FUNCIONAM COM UM MOTORREDUTOR (A). ENTRE O MOTORREDUTOR E A PINÇA EXISTE UM SISTEMA DE FINS-DE-CURSO COM INDICADORES LUMINOSOS QUE PERMITEM REGULAR O CURSO DE APERTO E EVITAR SOBRE ESFORÇO DOS MATERIAIS. 157
FIGURA 76: NESTA IMAGEM PODEMOS VER A GARRA AUTOMÁTICA POLAR MONTADA NO PRATO MÓVEL DO EIXO POLAR (À DIREITA). POR OUTRO LADO, É POSSÍVEL VER TAMBÉM, A TAMPA CÓNICA NO CUBO DO EIXO POLAR QUE COBRE O SISTEMA RÁPIDO E MUITO RÁPIDO DE DECLINAÇÃO. PELA JANELA CIRCULAR NO CUBO PODEMOS VER O SUPORTE E O *ENCODER* DE DECLINAÇÃO. 158
FIGURA 77: UM CÍRCULO MERIDIANO PODE SER VISTO COMO O PONTEIRO FIXO DE UM RELÓGIO SIDERAL COM UM MOSTRADOR ROTATIVO QUE SE ENCONTRA SINCRONIZADO COM AS ESTRELAS QUE VÃO CRUZANDO O MERIDIANO AO LONGO DA NOITE. 167
FIGURA 78: O AUTOR MOSTRANDO AO PÚBLICO A CAIXA DE ROLOS DE TEIAS DE ARANHA QUE ERAM USADAS NOS MICRÓMETROS. 171
FIGURA 79: ROTEIRO DE UMA VISITA TÍPICA AO OBSERVATÓRIO. 1 - SALA DAS PÊNDULAS ASTRONÓMICAS; 2 - INSTRUMENTOS DE PASSAGENS SARTORIUS; 3 - IPSE; 4 - CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO; 5 - TELESCÓPIO DE 30''. 172
FIGURA 80: PÊNDULAS ASTRONÓMICAS CONSTRUÍDAS POR ROGÉRIO DE SOUSA NUNES EM 1958, SERVIRAM COMO PADRÃO DE TEMPO AO OBSERVATÓRIO NUMA FASE INICIAL. 172
FIGURA 81: INSTRUMENTO DE PASSAGENS SARTORIUS. 173
FIGURA 82: INSTRUMENTO DE PASSAGENS IPSE 173
FIGURA 83: O PÚBLICO VISITA O TELESCÓPIO DE 30''. 174
FIGURA 84: ALUNOS DAS ESCOLAS VISITAM O OBSERVATÓRIO NO ÂMBITO DA UNIVERSIDADE JUNIOR (UP). NESTA FOTOGRAFIA OS ALUNOS ENCONTRAM-SE NAS FUNDAÇÕES DO CME, ONDE OUTRORA FUNCIONAVAM AS PÊNDULAS ASTRÓNOMICAS. (FOTOGRAFIA PROPOSITADAMENTE DESFOCADA PARA PROTEÇÃO DE MENORES) 180

FIGURA 85: TURMA DO COLÉGIO EFANOR VISITA O CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO (FOTOGRAFIA PROPOSITADAMENTE DESFOCADA PARA PROTEÇÃO DE MENORES). 181
FIGURA 86: ALUNOS DO 3º ANO DE VISITA AO OBSERVATÓRIO. 183
FIGURA 87: TURMA DO 7º ANO DA ESCOLA DR. COSTA MATOS VISITANDO O CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO. 188
FIGURA 88: MODELO SOLIDWORKS® DO MÓDULO EXPLICATIVO 207
FIGURA 89: O ESQUEMA MECÂNICO DO MÓDULO EXPLICATIVO. 208
FIGURA 90: O MODELO SOLIDWORKS DO GLOBO TERRESTRE VISTO À TRANSPARÊNCIA COM O MOTOR DE PASSO À DIREITA E O LASER À ESQUERDA 208
FIGURA 91: ASPETO DA IMAGEM NO MONITOR. 209
FIGURA 92: O GRÁFICO APÓS TRÊS DIAS 210
FIGURA 93: O TUBO QUE SUPORTA O SISTEMA SOLAR E A HASTE DA TERRA DEVEM SER OCOS PARA PERMITIR A PASSAGEM DOS FIOS QUE MOVIMENTAM O GLOBO TERRESTRE. 211
FIGURA 94: O TELESCÓPIO DE 30'' JÁ RESTAURADO. 212
FIGURA 95: O SATÉLITE GAIA DA AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA (CRÉDITO: ESA) 217
FIGURA 96: ASPETO DE UMA CURVA DE VELOCIDADE RADIAL DO EXOPLANETA τ BOO B OBSERVADO COM UM ESPECTRÓGRAFO ESHEL NUM TELESCÓPIO DE 11 POLEGADAS. 219
FIGURA 97: O ESPECTRÓGRAFO LHIRES III, SHELYAK INSTRUMENTS, COM DESCRIÇÃO DAS PARTES PRINCIPAIS (CRÉDITO: AAVSO) 222

Índice de Tabelas

TABELA 1: PLANEAMENTO DAS INTERVENÇÕES SOBRE A INSTRUMENTAÇÃO DO OAMB 22
TABELA 2: FASES DA PARTE II - RESTAURO FUNCIONAL 29
TABELA 3: PLANEAMENTO DA ELABORAÇÃO DE CONTEÚDOS PARA A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA 32
TABELA 4: IMPACTO DO NÚMERO DE DIVISÕES DO PASSO COMPLETO NO BINÁRIO DE RETENÇÃO. 94
TABELA 5: COMPARAÇÃO ENTRE AS ALTURAS CALCULADAS E AS ALTURAS OBTIDAS INDIRETAMENTE PELO STELLARIUM 118
TABELA 6: ALTURAS CORRIGIDAS PARA O EFEITO DA REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA COMPARADAS COM AS ALTURAS FORNECIDAS PELO STELLARIUM. 119
TABELA 7: ORIENTAÇÃO DA NORMAL DO ESPELHO NO SISTEMA DE ALTURA MODIFICADA. 121
TABELA 8: PLANEAMENTO DO PROJETO DE RESTAURO FUNCIONAL DO TELESCÓPIO DE 30'' 133
TABELA 9: REGIMES DE FUNCIONAMENTO DA NOVA MOTORIZAÇÃO POR EIXO 145
TABELA 10: CONSTITUIÇÃO DO MECANISMO RÁPIDO POLAR 151
TABELA 11: CONSTITUIÇÃO DO MECANISMO POLAR LENTO 151

TABELA 12: CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE FUNCIONAMENTO DOS CONTROLADORES DO TELESCÓPIO DE 30'' 156
TABELA 13: RESUMO DAS RESPOSTAS À QUESTÃO "O QUE VIU?". 190
TABELA 14: RESUMO DAS RESPOSTAS À QUESTÃO "O QUE MAIS GOSTOU?". 191
TABELA 15: RESUMO DAS RESPOSTAS À QUESTÃO "O QUE APRENDEU?". 192
TABELA 16: RESUMO DAS RESPOSTAS À QUESTÃO "O QUE GOSTARIA DE TER FEITO E NÃO FEZ?". 194
TABELA 17: RESUMO DO APARECIMENTO DAS CATEGORIAS NOS TESTEMUNHOS DOS ALUNOS. 198
TABELA 18: MÉRITO DE CADA TESTEMUNHO 200

Lista de abreviaturas

ACD – Autocolimador Digital a Laser

AM – Referencial de Altura Modificada

ANACOM – Autoridade Nacional de Comunicações

ArasBeAm – Plataforma dos observadores amadores de estrelas Be

CAD – Computer Added Design

CCD – Coupled Charged Device

CE, CW – Clamp East, Clamp West

CME – Círculo Meridiano de Espelho

CMOS - *Complementary metal–oxide–semiconductor*

DEC – Declinação

DJ – Data Juliana

EM – Dispositivo Eletromecânico

EUA – Estados Unidos da América

FCUP - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GA – Garra Automática

GMT – Tempo Médio de Greenwich ou Great Melbourne Telescope dependendo do contexto

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

HIP – referente às entradas do Catálogo Hiparcos

ICOM – International Council of Museums

IGUP – Instituto Geofísico da Universidade do Porto

INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

IPSE – Instrumento de Passagens sem Erro

ISBD (CM) - International Standard Bibliographic Description for Cartographic Materials

ISO – Organização Internacional de Normalização

LASER - Light Amplification by Stimulated Emission Radiation

LED – Light Emitting Diode

OAMB - Observatório Astronómico Professor Manuel de Barros da Universidade do Porto

PISA - Programme for International Student Assessment

Pro-Am – Profissional - Amador

RPM – rotações por minuto

RTL – Rotação Transformada em Linear

SENG – Sistema Eletromecânico de Nivelamento Gémeo

STEM – Science, Technology, Engineering and Maths

TAI – Tempo Atómico Internacional

TLS – Tempo Local Sideral

TSF – Transmissão Sem Fios

TSM – Tempo Solar Médio

TSMG – Tempo Sideral Médio de Greenwich

UT1 – Tempo Universal 1

TUC, UTC – Tempo Universal Coordenado

UP – Universidade do Porto

1. Introdução

Este trabalho centra-se no estudo de estratégias de divulgação de Astronomia e Tecnologia através de uma abordagem que se pretende participativa, coadjuvada pela utilização de instrumentação astronómica restaurada. O restauro funcional da instrumentação astronómica do Observatório Astronómico Professor Manuel de Barros (OAMB), instituição dependente da FCUP, enquadra-se no âmbito de um programa de conservação do património histórico-científico da Universidade do Porto (UP), iniciado em 2009, com vista à sua utilização em atividades de divulgação científica.

Os instrumentos restaurados no âmbito deste trabalho são dois instrumentos emblemáticos do OAMB: o Círculo Meridiano de Espelho (CME) e o Telescópio de 30". Trata-se de instrumentos astrométricos, isto é, que desempenhavam uma função cujo propósito era, ou envolvia, a determinação precisa das coordenadas das estrelas: o CME media a passagem do tempo pela determinação precisa das coordenadas de estrelas individualmente e o Telescópio de 30'' registava sistematicamente a posição de centenas de estrelas simultaneamente com o intuito de avaliar os seus movimentos próprios no tempo.

Estes instrumentos são encarados neste trabalho de forma muito distinta. O CME de espelho representava à data da sua conceção um significativo avanço tecnológico, tendo por sua vez sido suplantado posteriormente por instrumentos tecnologicamente mais avançados. Desse ponto de vista tem interesse sobretudo como marco histórico

das tecnologias que permitiam a determinação da hora, em particular para a Universidade do Porto, pois foi aí desenhado pelo Professor Manuel de Barros e construído sobre a sua supervisão. O CME é o foco principal desta dissertação pois foi o primeiro instrumento desse tipo, e trata-se de um equipamento muitíssimo raro.

O telescópio de 30'' foi adquirido por iniciativa do Professor Manuel de Barros e destinava-se a estudos de movimentos próprios de estrelas. Infelizmente, a sua morte prematura levou a que nunca fosse realmente utilizado em atividades de cariz científico. Mantém, no entanto, todo o seu potencial intacto, podendo ser utilizado ainda hoje como telescópio para efetuar grandes levantamentos do céu.

Antes do trabalho descrito nesta dissertação ambos os instrumentos se encontravam não funcionais e num estado muito degradado. É propósito deste trabalho verter em tese o trabalho realizado no domínio do restauro funcional, mas também o estudo realizado no sentido de estabelecer um conjunto de estratégias de divulgação do saber que lhes está afeto.

1.1 Resenha histórica focada no desenvolvimento do círculo meridiano de espelho

A determinação, a conservação e a distribuição da hora constituem três das funções tradicionais dos observatórios astronómicos. No passado, a determinação da hora era conseguida usando um tipo especial de instrumento astronómico chamado círculo meridiano. A conservação do tempo, isto é, a velocidade com que um segundo sucede a outro, era definida através de um dispositivo chamado regulador astronómico e a distribuição da hora certa, na época um bem escasso, podia ser realizada através da comunicação por sinalização visual[1], recorrendo à comunicação elétrica ou via rádio.

O círculo meridiano faz parte de uma família de instrumentos conhecida por instrumentos de passagem que podem ser usados tanto para medir as coordenadas das estrelas, umas em relação às outras, ou em relação a um ponto de referência na paisagem ou no céu, mas que também servem para determinar as coordenadas do observador. A invenção do círculo meridiano moderno é atribuída ao astrónomo

[1] Ver o exemplo paradigmático do balão horário do Observatório de Greenwich.

dinamarquês Øle Romer que no século XVIII montou uma luneta de telescópio num eixo perpendicular, dotando-lhe a capacidade de rodar num plano apenas.

Quando são usados para determinar as coordenadas das estrelas, os instrumentos de passagens são instalados numa posição conveniente por forma a fazer coincidir a estrela e o ponto de referência no mesmo plano de observação. Porém, quando os instrumentos de passagens são usados para determinar coordenadas à superfície da Terra, o instrumento tem de ser ligeiro o suficiente para o astrónomo o poder rodar entre planos de observação perpendiculares. Para calcular a latitude, o instrumento é alinhado por forma a ver pares de estrelas dum lado e do outro do meridiano. Nesta posição de observação, que se produz ao longo do chamado "primeiro vertical", o eixo de rotação da luneta é alinhado na direção norte-sul. Por outro lado, para calcular a longitude, o instrumento de passagens é alinhado por forma a ver estrelas que cruzam o meridiano, isto é, o instrumento é rodado 90°, de forma que o seu eixo de rotação fique alinhado com a direção este-oeste. (Bhattacharjee, 1958)

Enquanto a determinação da latitude se faz de forma relativamente fácil, empregando, por exemplo, o método de Horrebow-Talcott, para a determinação da longitude é necessário conhecer a hora sideral no meridiano de referência e o estado do relógio em utilização no local de observação (Barros, 1944). Dada a morosidade da tarefa, os instrumentos de passagens desenhados para aferição do estado dos relógios foram tomando o seu lugar próprio nos observatórios e viram as suas características melhoradas em relação aos instrumentos de passagens usados em trabalhos de campo. Os instrumentos de passagens dedicados à aferição do relógio sideral de um observatório passariam a ser construídos propositadamente para este fim, tomando a designação de círculos meridianos. Sabendo o estado do relógio e a hora sideral ao longo do meridiano de referência, o cálculo da longitude prossegue segundo dois princípios basilares: o primeiro é que a ascensão reta de uma estrela é igual à hora sideral local a que essa estrela passa no meridiano do observador; e o segundo, é que numa hora sideral a Terra roda sobre si própria 15 graus para leste em relação às estrelas fixas. O cálculo da longitude faz-se comparando a hora sideral local, que se determina por observação de uma estrela cuja ascensão reta é conhecida de catálogo e a hora sideral no lugar em relação ao qual se pretende medir a longitude. Toma-se como meridiano de referência aquele que passa em Greenwich e a diferença horária é

facilmente convertida em graus. Se uma estrela passar primeiro sobre o observador e depois em Greenwich significa que o observador se encontra a leste de Greenwich.

As observações meridianas são afetadas por três erros instrumentais, tal como preconizado por Ole Romer (Nielsen, 1968): o erro azimutal (*Directio*), ou seja o ângulo que o eixo de rotação da luneta faz com a direção teórica este-oeste, o erro de nível (*Libratio*), ou seja, o desvio do eixo de rotação em relação à horizontal medido com uma nivela de bolha, e o erro de colimação (*Tubus*), ou seja, o desvio entre partes óticas. Por outro lado, a redução das observações era afetada por um conjunto de fatores que abrangiam a qualidade da divisão da escala circular, o tempo de reação do observador e o estado do relógio. Todos estes erros afetam diretamente os resultados de observação, mas na maioria dos casos a sua determinação e introdução posterior nos cálculos da hora provava-se suficiente para obter bons resultados. No caso do erro de nível, por exemplo, se o erro não excedesse 1° evitava-se ajustar o instrumento no sentido de o trazer à posição perfeita. Por outro lado, havia também a perceção que a melhor forma de eliminar erros diminutos e flutuantes era através da multiplicação do número de observações. (Pond & Airy, 1834)

Dos três erros instrumentais, aquele que se determina com menos facilidade é o erro de colimação pois é necessário inverter o instrumento. A manobra de inversão consiste em rodar o instrumento segundo a direção vertical, de forma a ver um objeto em duas posições diferentes. Se esta tarefa é fácil no caso dos instrumentos de passagem ligeiros, com lunetas acotoveladas de pequena dimensão, o mesmo não acontece em círculos meridianos que podiam pesar várias centenas de quilogramas. Para inverter um instrumento de passagens ligeiro, os construtores inventaram um mecanismo que consiste numa alavanca excêntrica que desencosta as extremidades do eixo dos seus suportes fixos na medida suficiente que permita a rotação de todo o instrumento em 180°. Observando uma marca horizontal no terreno alinhada com o meridiano, com o instrumento nas duas posições diferentes, obtém-se o dobro do ângulo correspondente ao desvio entre o eixo ótico e o eixo mecânico do instrumento. No caso dos círculos meridianos de maiores dimensões a operação desenrola-se de forma idêntica usando elevadores hidráulicos de dimensões proporcionais ao peso do instrumento. Para facilitar a identificação da posição em que o instrumento se encontra num determinado momento, faz-se referência ao lado em que o anel de bloqueio da rotação do eixo se encontra. Esta peça é conhecida como “clamp” em inglês e é habitual

encontrar referências a CE e CW, significando “clamp east” e “clamp west”, respetivamente, tanto na literatura anglo-saxónica como na de língua portuguesa como é o caso da memória descritiva do Círculo Meridiano de Espelho.

À medida que os relógios foram melhorando tornou-se aparente que o erro de colimação não dependia só das imperfeições de construção do instrumento ou do desgaste, mas que variava também com a inclinação da luneta. O efeito combinado entre a flexão da luneta e o efeito do seu próprio peso sobre o eixo que a transporta em rotação, resulta num desalinhamento conhecido por flexão lateral. Os registos históricos fazem crer que um dos primeiros astrónomos a detetar flexão lateral nas observações meridianas foi Manuel John Johnson do Observatório de Santa Helena em 1832, que escreveu o seguinte: “… a ascensão reta de uma estrela do Sul, obtida com o extremo iluminado do eixo a este, era sempre maior do que quando o instrumento estava na posição oposta. Mas essa diferença não era percetível numa estrela do Norte junto ao zénite”. A princípio, Johnson concebeu a ideia de que o erro era devido à falta de colimação, mas aplicando o método das duas estrelas praticado por (Friederich) Struve em Dorpat, concluiu que a flexão variava com o cosseno do ângulo zenital e calculou os coeficientes do instrumento (Johnson, 1835). As medições de Johnson foram confirmadas pelo astrónomo real John Pond que usou os famosos, círculo meridiano de Throughton com 3 metros de distância focal e 125 mm de abertura e o regulador sideral de 8 dias, fabricado por William Hardy em 1811 e modificado por Dent por volta de 1830. (Pond & Airy, 1834)

Vários astrónomos trabalharam para determinar uma lei de flexão que permitisse descrever e corrigir o comportamento erróneo dos círculos meridianos, ver o trabalho de Atkinson (1955). Um caso específico digno de nota é o estudo das deformações no círculo meridiano Warner & Swasey do Observatório Naval dos Estados Unidos produzido por Hammond (1931) usando a técnica de Bonsdorff e a posterior análise por observação astronómica de Watts (1935).

Um desenvolvimento importante para melhorar o desempenho dos círculos meridianos deve-se ao trabalho de Robert D’Escourt Atkinson, assistente-chefe do Observatório de Greenwich, que propôs a substituição da luneta rotativa por um espelho rotativo entre dois telescópios fixos, concorrentes opticamente e alinhados na direção norte-sul (Atkinson, 1946). No extremo sul observavam-se as estrelas com passagem a

sul através da sua reflexão no espelho, inclinado na amplitude desejada. Para observar as estrelas com passagem a norte procedia-se de igual modo, observando do lado norte. O círculo meridiano de espelho foi a solução encontrada por Atkinson para resolver o problema da flexão lateral das lunetas dos círculos meridianos do século XX cujos resultados se deterioravam tanto mais quanto maior fosse o instrumento. A invenção do relógio eletromecânico conduziu à necessidade de tomar como estrelas-relógio objetos mais estáveis que se situavam mais longe e por este motivo serem mais ténues. Para observar objetos ténues são necessários instrumentos com maior abertura o que origina lunetas mais pesadas o que agrava o problema da flexão lateral.

Foi na sequência de uma visita ao Observatório de Greenwich em 1946 que o Professor Manuel de Barros tomou conhecimento pela primeira vez do conceito de círculo meridiano de espelho que Atkinson idealizara para a nova geração de círculos meridianos, tendo ficado estabelecido que este novo instrumento seria ensaiado no Observatório do Porto. Para o Professor Manuel de Barros foi a oportunidade de colocar a Universidade do Porto no mapa da instrumentação astronómica avançada, pelo que este projeto mereceu da sua parte toda a atenção e empenho. Reconhecendo a impossibilidade de encontrar empresas interessadas em desenhar e produzir um instrumento tão especial, desenhou ele próprio o equipamento e supervisionou o fabrico dos principais componentes, realizado em oficinas da cidade do Porto. A primeira versão deste instrumento ficaria concluída em 1957, sendo o Círculo Meridiano de Espelho da UP considerado o instrumento de astronomia posicional mais avançado da altura. O instrumento foi sendo continuamente melhorado sendo de salientar que em 1965 se chegou à conclusão de que a flexão do eixo onde se encontrava montado o espelho era excessiva, sendo substituído por um outro arranjo (1967), no que constituiu a versão final do instrumento, alvo de referências várias em sucessivos encontros da União Astronómica Internacional (Fricke, 1973).

Na altura, o Círculo Meridiano de Espelho do Observatório Astronómico da Universidade do Porto constituía a referência internacional no que respeita a esta nova tecnologia para a determinação da hora, tendo servido de padrão para a construção de mais dois equipamentos deste tipo, um na ex-União Soviética, no Observatório de Pulkovo, e outro no Canadá, no antigo Observatório Dominium, em Ottawa.

Esta nova abordagem tecnológica para a determinação da hora teve, no entanto, existência efémera já que nos anos de 1960 começaram a aparecer os relógios atómicos com precisão crescente que aliados à descoberta dos quasares impulsionou a determinação da hora noutra direção tornando difícil a utilização continuada dos círculos meridianos. Como consequência estes equipamentos foram descontinuados, primeiro em Ottawa em 1973 e mais tarde no Porto nos anos de 1980. Do círculo meridiano de espelho do Observatório de Pulkovo pouco se conhece no Ocidente sobre o seu funcionamento pois a literatura está quase toda em russo, como por exemplo os trabalhos de Pinigin (2003) e Pinigin e Markov (2005). Sabe-se, no entanto, que o círculo meridiano de espelho do Observatório Nikolaev na Ucrânia, é uma adaptação do de Pulkovo para operação automática e continuou em funcionamento pelo menos até 2008, altura em que se produziu o último artigo científico sobre este instrumento[2]. O AMC (Automatic Meridian Circle) foi inscrito na lista do Património Cultural da Ucrânia em 2001.

Sendo certo que a operação contínua dos círculos meridianos para determinação da hora não faz sentido nos dias de hoje, a existência de alguns equipamentos deste tipo em condições de funcionamento tem um valor educacional inestimável, já que evidencia a função essencial da observação astronómica na regulação da medida do tempo, tanto no passado como no presente.

1.2 O problema de investigação

Dada a relação umbilical que as técnicas astrométricas têm com a forma como se mede o tempo, é propósito deste trabalho divulgar os diferentes paradigmas que formaram a base da medição do tempo ao longo dos séculos e que necessidades conduziram à forma como medimos o tempo atualmente. Do ponto de vista da divulgação de ciência, este tema reveste-se de uma dificuldade que se prende com a distinção entre a perceção pública de como o tempo é medido e a metodologia moderna implementada na realidade. Quais são então os pontos essenciais necessários para compreender o funcionamento de um círculo meridiano e de que forma podem ser explicados ao público?

[2] Maigurova, N., & Pinigin, G. (2008). Results of CCD Observations of Ecliptic Zone in Nikolaev Observatory. É o último artigo publicado no website do observatório Nikolaev (www.nao.nikolaev.ua) usando o AMC.

A evolução tecnológica dos últimos decénios levou a uma alteração cultural que afeta em particular as pessoas nascidas no século XXI. Durante o século XX os relógios eram objetos utilitários que a maioria das pessoas usava. Essas pessoas compreendiam a diferença entre o dispositivo que transportava a hora e os dispositivos que permitiam acertar a hora. Atualmente os relógios são usados sobretudo como ornamentos pessoais, peças de joalheria e não como objetos utilitários. Para saber a hora a maioria das pessoas usa o seu telemóvel. Ora a hora dos telemóveis, e de outros dispositivos ligados à internet como os computadores pessoais, que hoje existem em quase todos os lares, estão sincronizadas. Para todos os efeitos práticos (fora do uso científico) a hora é exata. O conceito de acertar a hora desapareceu das preocupações do cidadão comum. Isto significa que para uma parte importante do público-alvo das atividades de divulgação do CME, o público juvenil, este instrumento lida com uma necessidade para a qual eles não estão de todo sensibilizados.

Outro problema está associado à utilização do Sol como objeto de referência (Tempo Solar Aparente) que data desde a pré-história (Kelley & Milone, 2005). Do ponto de vista prático a referência óbvia é o dia solar, e o público está obviamente familiarizado com as 24 horas por dia, 60 minutos por hora e 60 segundos por minuto. A questão é que para explicar como um círculo meridiano funciona é preciso explicar o conceito de dia sideral, e como este se relaciona com o dia solar.

A Terra orbita o Sol numa trajetória que não é circular, mas sim elíptica ($e = 0.0167$). Quando a Terra se encontra mais próxima do Sol – Inverno no hemisfério Norte – desloca-se mais depressa em órbita do que quando se encontra mais afastada do Sol – no Verão.

A duração do dia solar médio vai assim depender da rotação da Terra em torno do seu eixo (essencialmente uniforme) e da revolução da Terra em torno do Sol (velocidade variável). Isso produz uma diferença de aproximadamente 15 minutos entre a duração média dos dias solares num ano e a duração de um dia solar em fevereiro ou em novembro. Daí que o nosso conceito prático de dia solar seja o dia solar médio e não o dia solar real que é variável. Estes conceitos, embora simples são muitas vezes difíceis de compreender para o grande público.

A preferência pela observação do trânsito das estrelas em detrimento do trânsito do Sol prende-se com o facto de que na medição da posição de uma estrela

suficientemente afastada pode-se desprezar o movimento próprio e a paralaxe, considerando-se apenas a rotação da Terra (Jespersen & Fitz-Randolph, 1977). Ao fim de um período de rotação (um dia sideral) a estrela deverá ocupar a mesma posição no céu, enquanto a posição do Sol no céu varia com as estações do ano. Para além disso o Sol tem uma dimensão angular apreciável, enquanto as estrelas são essencialmente pontos, pelo que é mais fácil atribuir uma posição à estrela. Para o público é, contudo, preciso alguma cautela ao explicar que o dia sideral é aproximadamente 4 minutos mais curto do que um dia solar médio: dura 23 h 56 min 4 s, ou seja, 86 164 segundos e não 86400 segundos.

Outra dificuldade, após explicar que as estrelas podem ser usadas para acertar a hora, é explicar como se transporta a hora. Paralelamente ao CME foi desenvolvido no OAMB um sistema de pêndulas mantidas em vácuo. Uma das evoluções que tornou obsoleto o CME foi o desenvolvimento dos relógios atómicos, que mantêm a hora com uma precisão tal que após o acerto inicial, acertos com a precisão de um círculo meridiano (em torno de um centésimo de segundo) não se justificam. Os detalhes técnicos de um relógio atómico são de difícil compreensão para o público, mas mesmo coisas fundamentais como a hora atómica e como se relaciona com a hora sideral, com o tempo universal, e com a hora local baseada no dia solar médio são também difíceis de compreender. Mas no nosso caso são importantes pois na demonstração ao público usamos relógios ligados a um sistema GPS (que por sua vez se baseia em relógios atómicos).

O tempo universal (UT1) é uma medida, puramente astronómica, da rotação da Terra, independente do local de observação e corresponde à rotação observada em relação ao Sol médio corrigido pela longitude do observador em relação ao meridiano de Greenwich e pelo movimento do polo (Fisher, 1996). O tempo universal é determinado pela posição média do Sol em relação ao meridiano local designando-se por dia solar o período decorrido entre dois aparecimentos sucessivos do Sol no mesmo meridiano. A diferença entre o Tempo Solar Médio e o Tempo Solar Aparente (verdadeiro) observado num relógio de Sol designa-se por Equação do Tempo. Porém, tomando um astro longínquo como referência o dia será mais curto. Ao intervalo decorrido entre dois aparecimentos sucessivos da mesma estrela no meridiano local atribui-se a designação de dia sideral que é aproximadamente 4 minutos mais curto do que um dia solar: dura 23 h 56 min 4 s, ou seja, 86 164 segundos de UT1 (P. Y. Bely,

2003). O tempo sideral local pode ser calculado a partir do tempo sideral de Greenwich somando a diferença de longitude. Por convenção, os pontos de referência para o Tempo Sideral de Greenwich são o Meridiano de Greenwich e o ponto vernal (uma das interseções do equador celeste com a eclítica). O dia sideral de Greenwich começa quando o ponto vernal se encontra no meridiano de Greenwich. O Tempo Sideral Médio de Greenwich (TSMG) é o ângulo horário da posição média do ponto vernal, negligenciando os efeitos da nutação. (Fisher, 1996).

Como o Sol médio não é um objeto observável, UT1 tem de ser obtido por uma expressão matemática que o relaciona com o Tempo Sideral Médio de Greenwich (TSMG) obtido diretamente das ascensões retas aparentes registadas nos trânsitos nos círculos meridianos de um conjunto de estrelas brilhantes e de coordenadas muito bem estudadas designadas por estrelas-relógio (Chant, 1942). Comparando a hora a que ocorre um trânsito de uma estrela com a hora estimada a que a estrela devia cruzar o meridiano, determina-se o erro do relógio usado para cronometrar a passagem. Tendo esse erro, pode-se determinar a hora certa de todos os relógios do observatório e do exterior, por simples comparação.[3] A expressão que relaciona UT1 com o TSMG foi formulada originalmente por Clemence (1948), que se baseou nas tabelas da longitude geométrica média do Sol de Simon Newcomb de 1895, definidas para a época de 1 de Janeiro 1900 ao meio-dia solar médio em Greenwich (Office et al., 1898). UT1 equivale ao tempo médio solar em Greenwich (GMT), longitude 0°, e passou a tomar esta designação a partir de 1928.

Até 1956, o segundo de tempo era definido como a duração de uma das 86400 partes do dia solar médio, mas as irregularidades detetadas na previsão de eclipses e dos trânsitos lunares conduziriam progressivamente à suspeita de que o movimento de rotação da Terra não era regular. Com o advento do relógio de quartzo foi possível provar que de facto a Terra não rodava a uma velocidade constante (Spencer Jones, 1949). Esta realidade obrigou à redefinição do segundo baseado num padrão uniforme newtoniano, tendo em conta os efeitos da nutação, mas que fosse concordante com os itinerários dos planetas, as efemérides. A partir de 1956, o segundo passaria a ser definido primeiro em função do ano sideral de 1900.0 e mais tarde em termos de ano

[3] http://www.royalobservatorygreenwich.org/articles.php?article=1234

tropical de 1900.0 como tendo a duração de uma das suas 31 556 925,9747 partes. (Jespersen & Fitz-Randolph, 1977).

Em 1955 aparece o primeiro relógio atómico construído Essen e Parry (1957). A necessidade de fazer observações astronómicas para acertar relógios diminui consideravelmente, mas a sua estabilidade permitiu detetar pequenas variações no movimento de rotação da Terra que a afastavam cada vez mais do movimento uniforme. Uma das facetas mais importantes no que diz respeito à transição entre padrões de tempo é a continuidade, isto é, que o segundo, independentemente da forma como é definido, tenha sempre a mesma duração, com uma incerteza menor. Por forma a garantir a continuidade da duração do segundo, foi necessário estudar a que frequência de excitação correspondia um segundo de tempo de efeméride, processo que envolveu a medição do segundo de efeméride por observação da Lua (Markowitz, 1954), o estudo espectroscópico do feixe atómico dentro da câmara de ressonância e desenvolvimento da comunicação intercontinental radio por baixa e muito baixa frequência (Guinot & Arias, 2005). Assim, em 1967 o segundo de efeméride passa a ter uma nova definição baseada na radiação do átomo de césio. Na nova definição, "um segundo tem exatamente a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado não-perturbado do isótopo 133 do átomo de césio." (McCarthy & Seidelmann, 2018)

Uma falsa conceção associada à obtenção do tempo constatada no âmbito das visitas guiadas ao OAMB, prende-se com o papel exagerado que normalmente o público atribui ao relógio atómico na determinação da hora certa, ignorando a indispensável monitorização da orientação do planeta fruto do abrandamento do seu movimento.

O relógio atómico gera o padrão de tempo mais aproximado ao tempo uniforme com uma precisão da ordem do microssegundo por ano. Também designado por tempo civil, o tempo UTC (*Temps Universel Coordonné*) é uma escala de tempo que resulta da sincronização entre o tempo atómico internacional (TAI) e o movimento do planeta (UT1) obtida por observações astronómicas muito precisas. Baseado no padrão de frequência do relógio atómico, o tempo UTC é obtido pela introdução de segundos extra, designados por *leap seconds,* com o objetivo de assegurar uma concordância aproximada com o tempo associado ao movimento de rotação da Terra em torno do Sol, designado na forma de Tempo Universal como UT1 (BIPM, 2022). A introdução de

segundos extra ao tempo UTC é determinada pelo Serviço Internacional de Rotação da Terra e Sistemas de Referência (IERS) quando se prevê que a diferença UT1 – UTC possa atingir 0,9 segundos (Fisher, 1996). Atualmente, o tempo UTC está desfasado em relação o Tempo Atómico Internacional em 37 segundos.

O advento do relógio atómico permitiu quantificar movimentos aparentes de corpos celestes que anteriormente se encontravam no limite de deteção. Este incremento em sensibilidade conduziu à elaboração de catálogos de estrelas fundamentais muito mais precisos. Com a introdução do catálogo FK5, a fórmula que definia UT1 foi revista por Aoki et al. (1982) de forma a acomodar o novo equinócio e as teorias de nutação entretanto aperfeiçoadas. Até meados da década de 1980, o UT1 determinava-se usando círculos meridianos, mas a descoberta, caracterização espectroscópica de núcleos galácticos ativos e os esforços que conduziram à definição do ICRF (*International Celestial Reference Frame*) permitiu a sua substituição gradual por radiotelescópios muito mais precisos na medição do tempo (Folkner et al., 1994). A técnica utilizada chama-se VLBI e consiste na distribuição de vários radiotelescópios por diversos pontos da Terra para que seja possível observar simultaneamente o mesmo objeto. À medida que a Terra vai rodando, a radiação chega em instantes ligeiramente diferentes às diferentes antenas. Usando estas pequenas diferenças, que só podem ser determinadas quando comparadas com os relógios atómicos, determina-se a velocidade de rotação da Terra e sabendo esse valor é possível determinar UT1 com uma precisão de 15 microssegundos (Schuh & Behrend, 2012).

A formulação atual de UT1, elaborada por Capitaine et al. (2003) é o produto das observações realizadas pelo VLBI que se distingue das versões anteriores pela utilização de fontes extragaláticas, garantindo continuidade com a formulação anterior a 1 de Janeiro de 2003. De acordo com a Resolução IAU 2000 B1.8, UT1 é definida em termos de ângulo de rotação da Terra (ERA) tomando a seguinte forma (Capitaine, 2020):

$$ERA\,(T_u) = 2\pi(0.779\,057\,273\,264\,0 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48\,T_u) \quad (1)$$

onde $T_u = Data\ Juliana\ UT1 - 2\,451\,545.0$

UT1 relaciona-se com o Tempo Sideral Aparente em Greenwich (GST) através do ERA (Capitaine, 2020) por:

$$GST = ERA(UT1) - EO \quad (2)$$

1.3 A questão de investigação

Este trabalho retrata as dificuldades e as exigências inerentes a dois tipos muito diferentes de projetos: por um lado, o restauro funcional de património histórico-científico e, por outro, a divulgação de ciência, atividade de cariz social. A recuperação destes dois instrumentos destina-se a fins diferentes. O restauro funcional do CME visa a divulgação de ciência conjugada com uma vertente de conservação do património histórico-científico, que apesar de ser passível de utilização como instrumento astronómico e as atividades preparadas mimetizarem a sua utilização astronómica profissional, na prática, esta tecnologia já não se coaduna com as exigências da realidade científica atual. Porém, ao tempo da sua construção representava um exemplo de tecnologia *avant-garde* na forma como a hora era determinada, potenciando uma reflexão sobre o tempo no âmbito das atividades de divulgação que o autor se propôs desenvolver.

Por outro lado, o projeto da recuperação funcional implementado no Telescópio de 30'' visa a sua utilização por operação remota, conferindo-lhe a capacidade de ser utilizado pelo público em geral, amador e profissional no âmbito de projetos de ciência-cidadã com vista à participação em projetos internacionais, se tal for possível num cenário pós-pandemia. O projeto de recuperação funcional do Telescópio de 30'' é, antes de tudo, um projeto de modernização do maior telescópio de Portugal, com o objetivo de o tornar utilizável pelo público, estudantes e por astrónomos profissionais, tendo em mente a facilidade com que se transmite conhecimento científico e cultura geral no âmbito de observações astronómicas mais ou menos estruturadas.

Aos dois tipos de projeto, restauro funcional e divulgação científica, assiste necessariamente uma grande componente de investigação. No primeiro caso é imperativo conhecer os princípios teóricos que se impuseram ao construtor, tanto numa vertente de engenharia do dispositivo mecânico, eletromecânico e ótico como ao nível astronómico, tendo em vista o propósito e o funcionamento do instrumento como

máquina. Particularmente, no que toca ao CME houve a preocupação de manter as linhas estéticas do instrumento, limitando a montagem de equipamentos considerados fora de época, em posições visíveis ao público que diminuíssem a aura de instrumento precioso e antigo. Esta limitação autoimposta reflete a preocupação inicial em tornar o instrumento apelativo, artifício planeado para que o público tivesse uma experiência imersiva numa realidade anterior como se de uma viagem ao passado se tratasse.

Como se viu na secção anterior, um relógio atómico não diz as horas, apenas conserva um ritmo, o tempo, de uma forma bastante estável. Os relógios atómicos são cronómetros extremamente precisos que contam o tempo entre acertos, tornando-se relógios verdadeiros apenas nos instantes em que são acertados. Fora desses momentos, o utilizador de um relógio baseado nos melhores reguladores atómicos obterá a hora certa com um erro máximo de 0,9 segundos. A única forma de acertar relógios é pela via da observação do trânsito de estrelas de noite, ou do Sol de dia, dependendo da exatidão e precisão que se pretenda, através da utilização de, por exemplo, um círculo meridiano perfeitamente alinhado. Uma das propostas desta tese é precisamente essa: criar uma atividade na qual os visitantes usam o Círculo Meridiano de Espelho com o propósito de eles próprios, calcularem a hora. A atividade chama-se "Venha acertar o seu relógio com as estrelas!". Mas será que esta atividade cumpre o propósito por si só? Para o saber há que avaliar a experiência por métodos fidedignos e testados anteriormente. Já que as atividades diurnas são mais facilmente exequíveis, não obstante a vontade por parte do público em visitar o observatório à noite, como o comprovam os estudos de carácter exploratórios implementados, propõe-se um esquema de visitas guiadas para o que foi elaborado um guião e um manual para que um guia possa conduzir um grupo através dos vários instrumentos por forma a apresentar a história da determinação da hora, não só ao nível de peças que existem no observatório, mas também numa perspetiva mais abrangente desde o Paleolítico até aos dias de hoje. Esta estratégia não é a ideal porque não responde ao paradigma de uma divulgação participativa, já que passa pela apresentação em suporte de PowerPoint, mas é a solução possível tendo em conta os constrangimentos com a contratação de pessoal para o observatório, nomeadamente no âmbito de visitas públicas noturnas.

O Telescópio de 30'' cabe na narrativa da divulgação da hora, no sentido que com telescópios do mesmo género se produziam catálogos de estrelas indispensáveis

à utilização dos círculos meridianos. A exploração desta realidade no âmbito de visitas noturnas seria bastante redutora do potencial que este instrumento detém no âmbito da divulgação da ciência. Para suportar a opção de divergir da Astrometria no que à utilização do grande telescópio diz respeito estão, novamente, os resultados obtidos no estudo exploratório de onde se retira que uma parte do público nunca usou um telescópio e deseja observar os planetas e a Lua. Este é aliás o móbil que permite ao maior telescópio de Portugal ter uma segunda vida no âmbito de atividades de divulgação da astronomia, mesmo que isso não implique necessariamente uma ligação ao cálculo da hora. O Telescópio de 30'' robotizado para acesso remoto pode ter também um papel determinante no âmbito de projetos de ciência-cidadã. Para este trabalho planeou-se a sua utilização no âmbito de dois projetos diferentes: um trata a deteção de lixo espacial por análise de astrofotografias e o outro mais complexo consiste na identificação de estrelas consoante o seu espectro eletromagnético.

No cômputo geral, o parque de instrumentos astronómicos do observatório materializa uma linha cronológica de desenvolvimentos tecnológicos na determinação precisa da hora, que empresta a este trabalho o pano de fundo perfeito para atividades de divulgação científica subordinadas ao tema da hora. O paradigma conceptual da determinação, conservação e distribuição da hora não se alterou desde a construção dos primeiros observatórios astronómicos no século XVI. No entanto, o advento dos relógios atómicos provocou uma clivagem a nível instrumental face ao modelo tradicional a partir dos anos 1970, que tornou os círculos meridianos obsoletos e passou a conferir maior importância aos radiotelescópios e os grandes telescópios óticos.

No observatório, a progressão ao nível instrumental pode ser testemunhada simultaneamente com a evolução da tecnologia relojoeira. O parque de instrumentos inclui dois instrumentos de passagens por recuperar que permitem mostrar aos visitantes como se determinavam coordenadas no terreno no início do século XX, e como com o mesmo instrumento se podia calcular a hora. Estes instrumentos, um anterior à Primeira Guerra Mundial e o outro imediatamente posterior à Segunda, permitem perceber a evolução instrumental e de envolvente como, por exemplo, o aparecimento do ar condicionado para arrefecer o abrigo e não provocar a subida do ar quente quando se abria a cúpula prejudicando a visada. Mas por outro lado, pode também visitar-se a sala da hora onde existem as pêndulas astronómicas e o relógio de quartzo, dentro da sua gaiola de Faraday, construída para limitar a interferência

radioelétrica. Estes são objetos que não estando restaurados possibilitam um melhor entendimento do que está em causa.

Dado que o tema da determinação da hora é complexo e envolve uma quantidade apreciável de conceitos abstratos, a pergunta que se faz é:

Como podem os instrumentos astronómicos históricos restaurados funcionalmente alavancar a divulgação científica e dar alguns contributos para a própria investigação em astronomia?

1.4 Estrutura da Tese

Os assuntos do tempo induzem uma reflexão quase mística sobre a Origem do Universo, sobre a origem do Homem na Terra, sobre o Big Bang e sobre a própria existência de Deus. Esse é também um produto esperado das atividades de divulgação científica que são apresentadas nesta tese. Tratando-se de temas tão diferentes, o autor optou por separar o papel da engenharia na potenciação das atividades de divulgação científica para a criação de um museu de ciência vivo que se espera que este seja, isto é, um no qual os visitantes possam usar os instrumentos, do planeamento de atividades de divulgação científica de cariz eminentemente social apesar de todas as influências que, como veremos, existem entre si.

A primeira parte da tese é dedicada ao restauro funcional. No capítulo 2 retrata-se a abordagem e a metodologia empregue no restauro funcional dos dois instrumentos objetos desta tese. No capítulo 3 abordam-se, em primeiro lugar, as circunstâncias que conduziram ao desenvolvimento do CME enquanto instrumento revolucionário na medição da passagem do tempo numa perspetiva histórica da evolução tecnológica. Os princípios teóricos aí constantes e as materializações necessárias para os cumprir permitirão ao leitor compreender de forma mais completa o relato da intervenção de restauro funcional que se implementou e que se descreve ao longo deste capítulo. O capítulo 4 é dedicado ao trabalho de recuperação, ao projeto de robotização e de engenharia inversa (*retrofit*) implementado no Telescópio de 30'' e iniciado em 2015.

Na segunda parte deste trabalho abordam-se as potencialidades do restauro funcional da instrumentação astronómica com vista à divulgação e à investigação

científicas. O capítulo 5 é dedicado ao estudo que as atividades de divulgação têm no público. Para tal, implementou-se um projeto de investigação-ação baseado na realidade das visitas de estudo com alunos do 7º ano. Neste capítulo descreve-se o estudo piloto de carácter exploratório que foi implementado junto de duas turmas num cenário pós-visita, um passo inicial que viria a moldar o planeamento das atividades de divulgação. Neste capítulo aborda-se, por um lado, a construção do questionário que foi enviado à escola, a análise das respostas resultando daí a produção de documentação estruturada para o guia e de material multimédia que é atualmente utilizado no suporte das atividades.

O capítulo 6 é dedicado ao estudo das diferentes estratégias de divulgação possíveis, dando-se especial relevo àquelas que se usam nos museus de ciência, na busca de uma alteração de paradigma que resulte num modelo em que o público participe não só no diálogo, mas também nas atividades, pois esta é a parte central da proposta deste trabalho: que as atividades sejam lúdicas e *hands-on*. Espera-se que desta forma o público se sinta realizado e habilitado de certas competências técnicas que lhe permita fazer ciência de facto. Além disso, a possibilidade de determinar a hora com um instrumento antigo recuperado parece ao autor uma ideia original, capaz de atrair público e alavancar outras atividades de divulgação e investigação científica a realizar no observatório.

No sétimo capítulo faz-se uma reflexão crítica dos resultados e planeiam-se ações futuras, num cenário mais favorável. Há lugar ainda para as conclusões, com espaço para autocrítica da metodologia implementada. O oitavo capítulo contempla a bibliografia consultada.

PARTE I

Restauro Funcional com vista à divulgação

2. Metodologia e Abordagem

2.1 Introdução

Segundo o Conselho Internacional dos Museus (ICOM), o restauro é uma medida de conservação do património cultural tangível que engloba "as ações que se aplicam a um objeto estabilizado com vista à sua melhor apreciação, compreensão e uso. Aplicam-se ações de restauro a um objeto que perdeu parte da sua significância ou funcionalidade através de alterações passadas ou deterioração. As ações de restauro baseiam-se no respeito pelo material original, mas é comum que estas modifiquem a sua aparência." (ICOM-CC, 2008) Se esta definição serve e assegura a proteção das coleções de um museu de História Natural, de Belas Artes ou de Arqueologia, a sua aplicação no âmbito de um museu de ciência é muito menos consensual.

O museu de ciência é o guardião do património científico-tecnológico de uma ou várias épocas históricas e, tal como acontece num museu normal, deve ter na preservação da prova material o seu propósito primordial. Contudo, um museu de ciência reveste-se de um papel diferenciador que se prende com a divulgação da ciência através da demonstração dos princípios de funcionamento dos objetos que exibe. Por este motivo, num museu de ciência, a técnica interpretativa que se escolhe para facilitar a compreensão do objeto por parte do público condiciona necessariamente o caminho a tomar no restauro o que exige uma reflexão antecedente sobre a forma como se pretende mostrar o objeto restaurado. Distinguem-se fundamentalmente duas correntes de atuação no restauro de um objeto científico-tecnológico ligadas umbilicalmente à técnica interpretativa: uma que valoriza a prova material mesmo que isso limite a compreensão do objeto (em linha com a definição da ICOM) e outra que defende que a destruição parcial da prova material pode ser aceitável se potenciar a divulgação dos princípios de funcionamento subjacentes. Mann (1989), um dos grandes defensores da segunda via, advoga que é adequado o corte ("*sectioning*") e a destruição parcial de uma parte menos valiosa do objeto com vista a expor o seu interior e assim mostrar algo mais valioso que é o seu funcionamento, com o devido balanceamento quanto ao valor do objeto em si. Tidas a preservação da prova material para futuras gerações e a

divulgação da ciência para a geração presente como dois conceitos bastante edificantes para o ser humano, a opção de seccionar um objeto tende a criar no conservador um dilema ético que Mann (1989) dirime ao retomar uma afirmação de Kenneth Hudson quanto ao papel do museu de ciência que é o de mostrar "como funcionam as coisas". O contra-argumento desta teoria assaz contrária ao domínio museológico comum, decorre da constatação de que ter um equipamento histórico a funcionar em pleno (ou de só funcionar quando o visitante carrega no botão que pode ser ainda mais gravoso) prende-se com o desgaste dos componentes originais que ao serem substituídos sistematicamente produzirão um objeto, que no limite, já nada terá de original. Como forma de balancear o elevado valor intrínseco, na perspetiva do visitante, da máquina verdadeira a funcionar com o da sua preservação para gerações futuras, Newey (2000) advoga o uso de réplicas para demonstrar o funcionamento da máquina verdadeira enquanto a original pode ser preservada e exibida ao lado. Para dissipar eventuais dilemas éticos, é fundamental a existência de códigos de ética bem estabelecidos, pelos quais o conservador se posso guiar na sua prática quotidiana (Ashley-Smith, 2010).

A definição de restauro segundo o ICOM, conhece diferentes aplicações consoante o tipo de museu a que se aplica: o restauro do esqueleto de uma baleia promove a sua apreciação, compreensão e uso, mas "só" em termos de exibição. Se a mesma definição se aplicasse ao restauro de uma bomba de água, implicaria somente a sua limpeza para melhor cumprir os três desígnios e não o seu funcionamento. Por este motivo, no contexto de um museu de ciência, os objetos tendem a ser restaurados funcionalmente e daí resulta que neste trabalho se tenha optado por reforçar a definição com a palavra "funcional".

As intervenções no CME e no Telescópio de 30'' seguiram uma metodologia caracterizada por três partes: a recuperação do instrumento, o restauro funcional propriamente dito e a elaboração de conteúdos para a divulgação científica. No caso do CME, a recuperação do instrumento decorreu entre março de 2011 e novembro de 2013 e teve cinco fases (Tabela 1). Esta parte inicial da intervenção encontra-se documentada no artigo "Restauro Funcional do Círculo Meridiano de Espelho do Observatório Astronómico da Universidade do Porto" que foi apresentado ao Congresso Ibero-americano do Património que teve lugar no Laboratório de Engenharia Civil em Lisboa entre os dias 2 e 3 de novembro de 2016.

Tabela 1: Planeamento das intervenções sobre a instrumentação do OAMB

Parte	Fase	Título
I	1	Recolha e organização documental
	2	Elaboração do modelo 3D
	3	Intervenção ao nível do instrumento
	4	Intervenção ao nível do edifício
	5	Implementação de novo sistema de pontaria
II		Restauro Funcional
III		Elaboração de material para divulgação

A recuperação de equipamentos antigos com vista à sua reutilização tendo em conta requisitos modernos denomina-se em inglês por *retrofit*. Quando não existe documentação suficiente sobre o funcionamento de um equipamento, sobre os materiais utilizados ou sobre a geometria dos componentes que o constituem torna-se necessário implementar técnicas de engenharia inversa. O restauro funcional do Telescópio de 30'', construído em 1974, é um exemplo bem-sucedido de um equipamento sujeito a uma intervenção de *retrofit* utilizando técnicas de engenharia inversa.

Das poucas empresas no mundo que se dedicam a este tipo de atividade, destaca-se a DFM Engineering dirigida pelo Dr. Frank Melsheimer, cuja generosidade foi determinante no arranque deste trabalho. A DFM se deve, por exemplo, o *retrofit* do telescópio de 1,2 metros do observatório Kryoneri, na Grécia. Construído em 1975 pela Grubb & Parsons, este telescópio encontra-se atualmente a participar no projeto NELIOTA de monitorização de impactos na Lua, ver (Xilouris et al., 2018). No entanto, de uma forma geral, os telescópios deste calibre são recuperados e reapetrechados pelo pessoal dos observatórios que os operam. Foram úteis também os contactos estabelecidos com o observatório Jungfraujoch na Suíça, no qual existe um telescópio Grubb & Parsons de 30'', construído em 1966 e operado pelos observatórios de Genebra e Liége, modificado por Christian Servais da Universidade de Liége, que tão amavelmente cedeu fotografias do sistema por ele implementado.

Outro trabalho relevante é aquele que se encontra atualmente a ser desenvolvido no sentido de recuperar o Grande Telescópio de Melbourne na Austrália. Construído no século XIX, sofreu adaptações sucessivas ao longo das décadas acompanhando a evolução tecnológica até que foi destruído durante um incêndio florestal que devastou o Monte Stromlo no Verão de 2003. Este telescópio que também foi construído pela Grubb & Parsons, foi outrora o maior telescópio do hemisfério sul, tem 1,2 metros de abertura e também é refletor. O trabalho está a ser desenvolvido por uma equipa de engenheiros e astrónomos sendo que o objetivo é devolver o telescópio ao estado original do início do século XIX para fins de divulgação. Entre os dias 22 e 25 de outubro de 2014 recebemos no observatório o engenheiro Barry Clark, um dos participantes no projeto, que partilhou connosco documentação técnica diversa e as suas expectativas para a divulgação deste telescópio australiano. Além do desafio técnico que representa devolver este instrumento ao estado original, o projeto de restauro funcional do GMT é caracterizado por uma preocupação permanente em conectar-se com o público, algo que conseguiram de forma excecional através da conta de Twitter "GreatMelbTelescope" onde se podem observar os avanços no projeto.

2.2 Na Intervenção no CME

2.2.1 Fase Preparatória

A intervenção no CME envolveu uma fase de preparação durante a qual se procurou recolher o máximo de desenhos, artigos e teses sobre a construção do instrumento. Esta fase permitiu gerar também mais-valias para a UP do ponto de vista da organização do acervo documental do OAMB. Conforme referido anteriormente, o instrumento foi todo desenhado pelo Professor Manuel de Barros, à exceção dos componentes óticos que foram comprados à empresa inglesa Cox, Hargreaves & Thomson. De referir que o Professor Manuel de Barros também desenhou outros telescópios, abrigos, mobiliário e até embarcações dos quais resultou uma grande quantidade de desenhos técnicos nos mais variados formatos. Para os preservar, os desenhos foram todos digitalizados, catalogados segundo a norma ISBD (CM) e adicionados à vasta coleção documental do Repositório Digital da UP (UP, 2011). Os originais foram arquivados em caixas de cartão hidrófugo como as da Figura 1.



Figura 1: Tipo de caixa usada para armazenar os desenhos do C.M.E.

Dos textos mais úteis salientam-se aqueles provenientes dos Anais da Faculdade de Ciências do Porto e das Publicações do Observatório Astronómico da Universidade do Porto, dos quais destacam-se a "*Dissertação para Concurso a um lugar de Professor Extraordinário do 2º Grupo da 1ª secção da F.C.U.P*" do Professor Manuel de Barros com o título "*Círculo Meridiano da Faculdade de Ciências do Porto*", que refere todos os princípios teóricos e de funcionamento do instrumento. A bibliografia apresentada nesta dissertação foi também de elevado valor para este trabalho, desde logo porque permitiu aceder rapidamente ao artigo original do Dr. Atkinson sobre o conceito do Círculo Meridiano de Espelho.

2.2.2 Definição geométrica do objeto

Ao contrário do círculo meridiano de luneta rotativa em que o astrónomo observa a passagem das estrelas à sua frente, no caso dos círculos meridianos de espelho, as estrelas são observadas por reflexão num espelho inclinável. Por este motivo, no CME existem dois telescópios horizontais, um de cada lado do espelho, que concorrem oticamente, alinhados com o meridiano local. Se uma determinada estrela passar na parte norte do céu, o observador inclinará o espelho em relação ao horizonte norte num ângulo correspondente a metade da altura que essa estrela faz com horizonte. Se a estrela passar a sul, inclina-se o espelho para esse lado do céu seguindo a mesma regra.

Para se determinar a hora de forma precisa, o eixo de rotação do espelho deve encontrar-se perfeitamente horizontal e alinhado com a direção este-oeste. De igual

modo, as lunetas de observação devem encontrar-se perfeitamente horizontais e alinhadas com a direção norte-sul. Enquanto que a posição das lunetas é ajustada recorrendo a um sistema de parafusos que permite o seu alinhamento fino, o nivelamento do eixo que transporta o espelho em rotação é conseguido através de um conjunto de bases móveis e de um sistema de impulsão potente à base de mercúrio que graças à sua elevada densidade permite que apenas dois flutuadores mantenham o conjunto central de 400 kg perfeitamente horizontal.

Para melhor definir geometricamente todos os sistemas que compõe o instrumento, elaborou-se um modelo tridimensional global usando o software *SolidWorks*®. O modelo tridimensional é um elemento crucial numa recuperação desta natureza em que se pretende uma desmontagem reversível. O modelo não só foi elaborado baseado nos desenhos originais, como foi comparado com um modelo obtido por levantamento LASER.

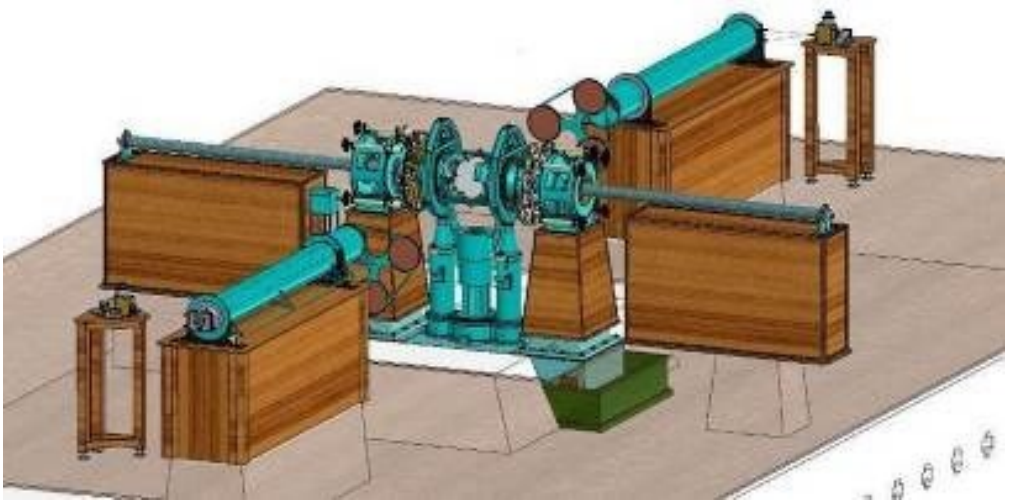


Figura 2: Modelo geral tridimensional do Círculo Meridiano de Espelho

A nuvem de pontos, gerada pelo LASER, permitiu perceber se, ao nível macro dimensional, o modelo obtido por *SolidWorks*® (Figura 2) estava congruente com a realidade. Uma das desvantagens do Scan3D é não ser capaz de revelar informação ao nível dos mecanismos por se tratar de uma escala muito mais pequena. A obtenção de modelos 3D fidedignos dos mecanismos só foi possível durante a desmontagem. Do modelo tridimensional separaram-se os vários sistemas e criou-se um dossiê dos desenhos bidimensionais com todos os desenhos de conjunto e de todas as peças

individuais. O levantamento LASER foi obtido com um Laser Scanner 3D, realizado pela empresa Artop, tendo sido processado em *AutoCad* e em *SolidWorks*® (Figura 3) pelo autor. O processamento deste tipo de dados envolve a eliminação do ruído e de partes do objeto que não interessam. Com o Scan3D foi ainda possível obter a forma da cúpula. Esta é aliás umas das vantagens desta tecnologia: modelar objetos inacessíveis.

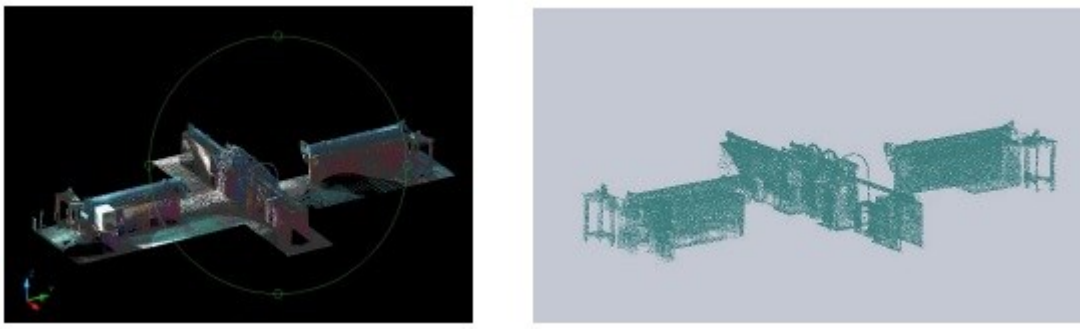


Figura 3: Aspeto da Nuvem de Pontos do Círculo Meridiano de Espelho do Porto em AutoCad® (esquerda) e em SolidWorks® (direita)

O CME era um instrumento de elevada precisão para os padrões da época em que foi construído e para tal contribuem alguns sistemas mecânicos complexos como o mecanismo de impulsão de mercúrio, o mecanismo de registar a passagem das estrelas e também o controlo analógico da posição do Eixo. O conceito teórico mais difícil de concretizar no CME é o de manter o eixo de rotação do espelho perfeitamente horizontal e alinhado com a direção Este-Oeste. Na realidade, a direção do eixo de rotação não é invariável porque há movimentos lentos das fundações do instrumento, provocados por variações de temperatura, vibrações do solo entre outras causas. No próximo capítulo, apresentar-se-á o instrumento recorrendo a fotografias do seu estado tal como foi encontrado, ilustrando os sistemas que o compõe com modelos SolidWorks® detalhados, descrevendo com o detalhe possível as ações realizadas para a sua recuperação e os melhoramentos introduzidos.

2.2.3 Abordagem da recuperação

O CME é um instrumento que denota elevada qualidade de construção com grande atenção aos detalhes. Um dos exemplos mais marcantes é a estrutura de suporte de soalho que se encontra encastrado nas paredes sem nunca tocar no instrumento para que os passos do observador não interferissem na estabilidade do instrumento. Também as forras que cobrem os diversos pilares de pedra foram

desenhadas de forma a não tocarem nos pilares nem no instrumento estando apenas pousadas no soalho. O CME é um instrumento que testemunha a utilização de algumas técnicas artesanais difíceis de replicar como, por exemplo, a construção de retículos de observação a partir de fios de teia de aranha. Por outro lado, no CME foram usadas tecnologias que já não se podem usar, por um lado por se considerarem perigosas para a saúde, como o é a utilização de mercúrio, ou pelo facto de ser difícil encontrar técnicos que as dominem e peças que as substituam como é o caso da utilização de eletrónica analógica baseada em amplificadores operacionais a válvulas e restante aparelhagem. A maior dificuldade enfrentada em projetos deste género pode ser a falta de recursos humanos e oficinais que compromete o restauro funcional na perspetiva da preservação tecnológica. Há ainda o fator do atravancamento. O CME é um instrumento de grandes dimensões que não se pode transportar para uma oficina para ser reparado, pelo menos numa base orçamental razoável. O conjunto das bases de alinhamento, por exemplo, não se sabe como entraram no abrigo, sendo até possível que este tenha sido construído *a posteriori*, isto é, à sua volta e sobre ele. Por este motivo, a maior parte do trabalho teve de ser feito no local. Avaliado o risco de irreversibilidade da desmontagem, a recuperação do CME pode ser caracterizada por uma abordagem cautelosa em que se interveio unicamente naqueles sistemas que de facto precisavam de manutenção e de reparação, como é o caso do bloco central do espelho e da infraestrutura.

A intervenção no CME conheceu alguns constrangimentos de ordem técnica que não podendo ser ultrapassados imediatamente implicaram a interrupção do projeto durante quase três anos, resultando a distinção que se faz neste trabalho entre a recuperação inicial do instrumento e a parte referida como restauro funcional propriamente dito. Esses constrangimentos prendiam-se principalmente com a indefinição do objetivo final havendo quem advogasse que o instrumento devia ser usado como peça museológica sem rigor funcional e outros, como o autor, que defendiam a sua utilização total e funcional no âmbito de atividades de ciência cidadã. No centro da discórdia encontrava-se o dispositivo de elevação que usava mercúrio, que se encontrava inoperacional e onde tinham sido detetadas diversas fugas. O mercúrio remanescente tinha de ser removido, mas a questão central prendia-se com a necessidade e possibilidade de o substituir. O facto de as oficinas do observatório estarem desativadas agravava o problema alimentando a ideia de que o funcionamento do instrumento devia ser meramente demonstrativo, sem preocupações do foro

observacional. Este trabalho reflete o grande esforço e o trabalho de um conjunto de pessoas que conseguiu reverter esta ideia.

Num mundo que tenta eliminar o mercúrio de todas as aplicações do dia-a-dia, que sentido faz usar mercúrio naquilo que se pretende que seja um polo de divulgação de ciência? Sem alterar substancialmente a estética do instrumento, a única hipótese era retirar os êmbolos e o mercúrio do interior dos cilindros hidráulicos, substituindo-os por outro sistema autonivelante que permitisse ajustes tão finos quanto aqueles realizados pelo sistema original. Neste sentido desenvolveu-se numa solução eletromecânica a ser montada dentro dos cilindros, preservando tanto a parte estética quanto a vertente funcional do instrumento. Porém, para tal era necessário remover e limpar as câmaras impregnadas de mercúrio e seus óxidos. Dada a sensibilidade do tema, os trabalhos continuaram e o problema permaneceu latente. Enquanto se procuravam possíveis soluções era importante que o CME abrisse ao público até que a solução definitiva fosse encontrada. Como solução temporária optou-se pela versão fácil: os cilindros foram apenas esvaziados, criou-se um sistema de pontaria rudimentar e pôs-se o Eixo a rodar. A inauguração do CME como instrumento de divulgação pública de ciência aconteceu em novembro de 2013.

A descoberta do mercúrio teve, no entanto, dois efeitos benéficos. Por um lado, foi por sua causa que se constituiu o Círculo dos Amigos do Círculo Meridiano de Espelho, um grupo de profissionais das mais diversas áreas que auxiliariam o autor neste projeto que se revelaria a cada passo mais interdisciplinar. Um setor muito valioso do grupo engloba pessoas que tiveram contacto com o instrumento, que se lembram de ter trabalhado com ele ou que o viram a funcionar. Sem eles este trabalho teria sido impossível. Por outro lado, a abertura precoce do CME propiciou o contacto com o público numa fase em que ainda era possível introduzir modificações no instrumento no sentido de responder às suas necessidades, nomeadamente a criação de uma atividade de divulgação científica participativa.

2.2.4 Abordagem de restauro funcional

A inauguração do CME abriu o observatório a um público ávido de cultura científica, nomeadamente, por temas relacionados com a Astronomia. Esta necessidade é fortemente evidenciada pela quantidade de agendamentos para visitas e pela participação e curiosidade demonstradas durante os eventos. Em 2014, após a

inauguração do CME o autor foi convidado a implementar uma intervenção do mesmo género no Telescópio de 30''. Em 2016, dá-se a inauguração do Telescópio e a partir desse momento o Telescópio passa a ser incluído nas visitas públicas ainda que estas aconteçam só de dia. Simultaneamente, surge a possibilidade de usar o Telescópio num programa científico de monitorização do lixo espacial e inicia-se o desenvolvimento do projeto de robotização que permitisse a sua operação a partir de uma localização remota. Da experiência em robotizar o telescópio o autor passa a sentir-se mais confiante em proceder ao restauro funcional total do CME e procura transformá-lo num instrumento de divulgação científica com vista à criação de uma atividade de ciência-cidadã em que o público determine a hora certa pela passagem das estrelas. As fases do restauro funcional do CME encontram-se resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Fases da parte II - Restauro Funcional

Parte	Fase	Título
II	1	Implementação de novo sistema de nivelamento automático
	2	Calibração sideral do sistema de pontaria
	3	Alinhamento do CME

A primeira fase envolveu o desenvolvimento, construção e montagem de um sistema eletromecânico de nivelamento automático do eixo de rotação do espelho alternativo àquele que empregava mercúrio, através do qual se procura suplementarmente corrigir um problema relatado pelos astrónomos que tinham trabalhado com o instrumento e que se prendia com o movimento inadvertido do espelho em relação ao Eixo durante o movimento de rotação. O sistema foi desenhado por forma a caber completamente nas câmaras dos cilindros hidráulicos com o intuito de preservar a traça original do instrumento. Para avaliar o estado de alinhamento do espelho em rotação construiu-se um autocolimador digital de raiz com o qual se mede o desfasamento angular entre uma direção de referência, criada por um feixe laser, e a sua reflexão produzida numa das facetas laterais do espelho. No autocolimador digital existe um alvo com um pequeno furo central, que permite a saída do feixe de referência, onde é projetada a reflexão produzida no corpo de prova. Quando os centroides da região de saída do laser e o da região resultante da sua reflexão são reconhecidos pelo computador, através de uma câmara CCD e uma objetiva de curto alcance, contam-se os pixéis entre si. A distância é automaticamente convertida em milímetros e traduzida

em número de passos que quando aplicados ao motor correspondente, movem o Eixo até que o espelho fique devidamente alinhado, com a distância entre centróides anulada. Para a implementação deste sistema de controlo automático, o autor contou com a cooperação do engenheiro David Araújo, de cujo trabalho resultou a sua tese final de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica intitulada "O nivelamento submicrométrico automático de um veio em rotação por autocolimação". Este tema será abordado com mais detalhe no próximo capítulo.

O princípio de funcionamento do novo sistema baseia-se no alinhamento do eixo de rotação do espelho por atuação no Eixo, ignorando deliberadamente os graus de liberdade da ligação imperfeita, para o que se imaginou uma solução de alinhamento dinâmico, isto é, nivelar o espelho enquanto este está em movimento de pontaria com o intuito de minimizar tempos mortos entre observações. Durante os ensaios, por observação da posição do feixe laser refletido, percebeu-se que de facto o espelho se mexia, inadvertidamente, em relação ao Eixo, mas que isso só acontecia num sentido de rotação. À medida que o trabalho se foi desenvolvendo percebeu-se que a raiz do problema se encontrava numa mola de pressão danificada que ao ser substituída eliminou esses movimentos indesejados. Quando o Eixo e o espelho puderam ser considerados como um corpo único, o alinhamento dinâmico foi usado uma última vez procurando-se uma configuração do conjunto que cumprisse um nivelamento universal para todas as posições zenitais. Se necessário, o nivelamento dinâmico pode voltar a ser usado à escala microscópica usando o sistema desenvolvido apesar de se considerar contraproducente para o nível de precisão pretendido.

Um dos fatores mais importantes que levou à adoção de uma filosofia de nivelamento universal, com um grau mínimo de imperfeição, em detrimento de uma solução dinâmica, foi a perceção de que o nivelamento automático dinâmico interferia com a calibração do sistema de pontaria e vice-versa. Ao contrário do que acontece com um veio em contexto industrial, que se pretende nivelado, e a rodar a uma dada velocidade, no caso do CME o veio tem que rodar nivelado até uma determinada posição, atingi-la com uma precisão da ordem dos minutos de arco, permanecer aí mesmo que solicitado pela aragem que se propicia com a cúpula aberta, tudo isto com uma cadeia de transmissão dos anos 50. No conjunto, o nivelamento e a pontaria formavam um sistema intrincado difícil de resolver e, como tal, foi necessário partir o problema em dois para se conseguir chegar a uma solução.

A calibração do sistema de pontaria, abordado na segunda fase do restauro funcional, envolveu a criação de um referencial circular, com origem e escala, através do qual se sincroniza a inclinação da normal ao espelho do CME em relação ao horizonte, com a altura que uma determinada estrela vai tomar quando ocorrer o seu trânsito. O Eixo do CME é comandado por computador através da seleção da estrela a observar num planetário virtual e a sua altura em relação ao horizonte é obtida por transformação das coordenadas numa rotina auxiliar. A imagem da estrela é obtida por reflexão no espelho central, inclinado numa dada quantidade em relação a uma posição de referência conhecida. A definição da posição de referência passou pela montagem de um sensor fotoelétrico fixo no suporte da munhoneira Oeste e de um pivot solidário com o Eixo rotativo. Na impossibilidade de usar o espelho nadiral de mercúrio que servia originalmente de referência horizontal, o espelho teve de ser posicionado na horizontal de forma tão precisa quanto possível usando um nível de bolha, medindo depois o ângulo entre essa posição e aquela em que o pivot intersetava o sensor. Em termos de definição da escala de sincronização, para obter um posicionamento tão preciso quanto possível, foi necessário contar o número de passos de motor a que correspondia uma volta completa do Eixo, a quantos passos de encoder correspondia uma volta completa do Eixo e a quantos passos do motor correspondia uma alteração no sentido de rotação. Serviram como marcas de início e fim de medição as reflexões obtidas por autocolimação.

Ao usar o sistema de nivelamento em simultâneo com o de pontaria, concluiu-se que a pressão de contacto entre a roda de medição de piso polimérico ligada ao *encoder* e o limbo solidário com o Eixo em aço laminado, fazia alterar a relação entre número de passos de *encoder* para uma volta completa do Eixo e por este motivo adotou-se o nivelamento universal.

Finalmente, existe ainda o alinhamento do instrumento com o céu. Tendo os supracitados mecanismos a funcionar em pleno e relatórios pormenorizados das tentativas malsucedidas esta tarefa concretiza-se com relativa facilidade. Neste contexto, entende-se por alinhamento, o ajuste da orientação do instrumento como um todo ao encontro do plano do meridiano até que o trânsito de estrelas observado visualmente ocorra à hora sideral local correta. Envolveu o nivelamento da base em altura, o alinhamento das lunetas de observação, o nivelamento do Eixo e do espelho até que a conjugação de todas as variáveis encontrasse, ainda que empiricamente, o

invariante vetorial correto. O trabalho iniciou-se pela tentativa de posicionar corpos grandes na ocular, como a Lua, partindo depois para corpos mais pequenos como os planetas, as estrelas e os satélites artificiais.

Foi desta forma que se converteu um instrumento obsoleto numa relíquia funcional de divulgação de ciência. Em 21 de Novembro de 2017 o CME estava alinhado com as estrelas e o restauro funcional concluído.

Atualmente, o trabalho do astrónomo encontra-se facilitado pela possibilidade de apontar um telescópio por computador através de um planetário virtual. Um desses programas é o Stellarium que é gratuito. No projeto de restauro funcional do Círculo Meridiano de Espelho implementou-se a ligação entre o controlador de posição do espelho e o planetário virtual tornando possível apontar o instrumento para qualquer corpo celeste existente no seu catálogo. A sincronização entre a posição do espelho e o ponto do céu que se pretende observar ocupou o autor durante dois longos anos de observações noturnas e resultou na construção de uma atividade de divulgação científica na qual se determina a hora pela observação da passagem de estrelas. Esta atividade pode ser realizada visualmente (adequada a pequenos grupos) ou por intermédio de uma câmara CCD cuja imagem é projetada numa televisão de grandes dimensões. Em alternativa, é possível recriar a atividade na sala de aula ou no conforto do lar por acesso remoto utilizando a rede de fibra ótica que foi montada no observatório no decorrer deste projeto. A montagem de dispositivos multimédia para a divulgação como a televisão, a câmara CCD, e as cablagens fazem parte da terceira parte do projeto (Tabela 3).

Tabela 3: Planeamento da Elaboração de conteúdos para a divulgação científica

Parte	Fase	Título
III	1	Montagem de dispositivos multimédia para a divulgação
	2	Estudo de estratégias de divulgação

Excetuando o período durante o qual decorreram os trabalhos de remoção do mercúrio e seus óxidos, o CME permaneceu aberto ao público. As visitas decorriam às 4as feiras à tarde, em duas sessões de duas horas e realizavam-se mediante marcação prévia. Do sucesso com o público em geral resultou que também as escolas começaram a mostrar interesse pelos temas relacionados com o Universo. O público escolar juvenil

é um terreno fértil de curiosidade e ávido de cultura científica com o qual se consegue trabalhar sustentadamente para o esclarecimento continuado da população e o seu empoderamento, mas muitas vezes os interesses económicos sobrepõem-se à função social tornando mais difícil implementar programas de ciência-cidadã. No capítulo 5 abordar-se-á esta problemática dos modelos de comunicação de ciência, no âmbito do planeamento das estratégias de divulgação, partindo do modelo menos impactante para o mais participativo (Lewenstein, 2003).

2.3 Na Intervenção no Telescópio de 30''

2.3.1 Introdução

A aquisição do telescópio de 30'' decorreu em dois momentos distintos: Construído pela empresa britânica Grubb & Parsons, as componentes óticas foram adquiridas em 1969 sob a supervisão do Professor Manuel de Barros, mas a sua morte prematura em janeiro de 1971 implicou um hiato na sua finalização. Seria o Centro de Astronomia da Universidade do Porto, fundado em 1975, a adquirir as partes mecânicas e a instalar o telescópio no Monte da Virgem em setembro de 1980, no que se supunha ser uma medida temporária. ("Instalado no Monte da Virgem o mais importante telescópio do país," 1980) Porém, com o aparecimento de satélites astrométricos o interesse no telescópio desvanece-se, até que este é abandonado definitivamente no início da década de 1990. Com o passar dos anos, assiste-se a um desinvestimento gradual no observatório que se traduz na redução do quadro de pessoal e no abandono do parque envolvente. Eventualmente, o abrigo onde o telescópio se encontra é engolido por um matagal de acácias e silvas que o remetem ao esquecimento. Durante os dois primeiros anos em que o autor trabalhou no CME, a densidade de arvoredo era de tal ordem que era impossível vislumbrar o abrigo, a uns meros 40 metros de distância. A situação altera-se substancialmente durante a preparação para a inauguração do CME, quando o autor, dando-se conta do forte contraste entre a qualidade do objeto restaurado e a sua envolvente, inicia por moto próprio a limpeza do parque à força de enxada. Primeiro raspando o musgo dos cubos que circundam o CME, depois entrando pelo arvoredo até que desanimado pela obra hercúlea que tem pela frente decide pedir ajuda. A direção da FCUP reconhecendo a desvantagem em que o autor se encontrava

avança com um pedido de desmatação mecânica e foi assim que o autor descobriu o telescópio de 30''. A partir desse momento, o observatório passou a contar com uma empresa de jardinagem avençada que mantem o parque limpo.



Figura 4: Aspeto geral do Telescópio no início dos trabalhos.

O telescópio encontra-se num abrigo de betão armado e bloco que o protege tanto quanto possível da intempérie. É encimado por uma cobertura rolante cuja abertura permite observar os corpos celestes que se encontrem a alturas superiores a 23°, exceto nas posições mais setentrionais onde a cobertura recolhida subtrai 5° à altura útil. Apesar da construção robusta, ao longo de 30 anos, o ar húmido encontrou o seu caminho pelas frinchas do teto e das portas, condensando-se nas superfícies livres, corroendo a pouco e pouco as mais de 7 toneladas de aço que perfazem o instrumento. O telescópio que outrora se movia com um dedo viu as massas lubrificantes dos seus rolamentos tornarem-se duras; num ambiente escuro e húmido, os fungos proliferaram nas superfícies óticas e os circuitos elétricos sensíveis à humidade tornaram-se inoperacionais. O estado de degradação em que o Telescópio de 30'' se encontrava induzia no visitante despreparado uma perceção errada de obsolescência, tornando-o, à primeira vista, incompaginável com a prática da investigação científica moderna. Desta perceção resultou a ideia inicial de que a única alternativa era usá-lo em atividades de divulgação da Astronomia, uma aplicação menos exigente, explorando numa putativa narrativa o facto de ser o maior telescópio de Portugal qua perspetiva do autor devia ser motivo de reflexão, não de enaltecimento, sobre o seu passado glorioso que na

realidade não tem, por se tratar dum telescópio subaproveitado desde o início. Da perspetiva do engenheiro mecânico que se dedica à recuperação deste tipo de instrumentação astronómica, a utilização do telescópio circunscrita à divulgação é, à partida, uma visão redutora do seu trabalho que ele pretende subverter, buscando validação em projetos ambiciosos de investigação científica, maximizando o aproveitamento do potencial do instrumento. No entanto, a perspetiva de que o trabalho de recuperação funcional é subaproveitado se explorado somente em atividades de divulgação é fruto de um preconceito que, em retrospetiva, se pode concluir como tendo sido salutar ao cumprimento do duplo desígnio que se conseguiu.

2.3.2 Filosofia da Intervenção

Num encontro inicial com os elementos do Círculo de Amigos do CME, que também tinham trabalhado com o telescópio, o autor foi informado dos principais problemas com que tiveram de lidar e aquelas que pensavam ser as suas causas prováveis. A intervenção no Telescópio de 30'' seguiu uma abordagem motivada pela correção de problemas concretos. Esta estratégia distingue-se daquela adotada no restauro do CME sobre o qual se provara difícil obter testemunhos do seu desempenho por se tratar de um instrumento mais antigo. A identificação dos principais problemas com que os astrónomos se debateram no passado foi preponderante no processo de recuperação funcional do instrumento preparando-o para o futuro.

Poucos anos após a sua construção, os astrónomos começaram a aperceber-se do modo deficiente como a montagem fazia o seguimento de estrelas. O facto da empresa Grubb & Parsons ter encerrado em 1984, implicou que a assistência fosse prestada por técnicos de empresas estranhas à arte. Incapazes de resolver o problema, a utilização do telescópio ficou limitada a atividades que não exigissem o seguimento preciso do céu, o que ditou em parte o seu abandono. Pelo testemunho dos astrónomos e engenheiros que trabalharam com o telescópio, o problema era causado pelo forte campo radioelétrico emanado das antenas que circundavam o observatório e que interferia com os circuitos delicados que controlavam a marcha do motor polar. Os mesmos referem que chegava a ser possível ouvir a emissão de rádio no controlador do motor, facto que não é estranho ao pessoal do observatório. Ainda que nas últimas décadas se tenha assistido a uma diminuição gradual da potência dos emissores em virtude dos avanços tecnológicos que permitiram produzir recetores cada vez mais

sensíveis, continua a ser possível ouvir rádio nas colunas dos computadores estando estas desligadas. O relatório mais recente elaborado pela ANACOM no observatório comprova isto mesmo: em 2005, o campo elétrico em torno do telescópio totalizava 51,64 V/m, ultrapassando o limite estipulado pela Portaria nº 1421/2004 de apenas 24 V/m.



Figura 5: Vista geral das antenas que circundam o observatório. Nesta imagem pode ver-se a cobertura parcialmente recolhida.

Tendo em conta o serviço público que as antenas desempenham a partir desta localização estratégica, e não se perpectivando no início do projeto a transferência do telescópio para outro local, concluiu-se que a correção do problema passaria pela utilização de equipamentos blindados contra interferências eletromagnéticas exteriores. Além da interferência radioelétrica também se suspeitava da fraca eficácia com que o travão polar desempenhava o seu papel. Afirmavam que o tamanho do manípulo era demasiado pequeno para o aperto que era necessário aplicar para que a transmissão se desse de forma contínua.

A não utilização do instrumento durante mais de 30 anos produzira novos problemas, nomeadamente, a corrosão dos elementos estruturais, a secagem das massas dos rolamentos, a degradação das partes óticas, entre outros. O primeiro passo no processo de recuperação envolveu a caracterização do instrumento na medida possível dos desenhos existentes.



Figura 6: O travão polar (indicado pela seta) era atuado por um manípulo que apertava o disco motor transmitindo o seu movimento a um telescópio supostamente equilibrado. Tangencialmente ao manípulo passava um conjunto de cabos elétricos que ia enrolando no eixo polar à medida que o telescópio rodava, aumentando cada vez mais a carga sobre o motor.

Num primeiro momento do projeto de recuperação do Telescópio, iniciado em 2014, estabeleceu-se como objetivo a recuperação das valências originais do instrumento, designadamente, a pontaria manual do telescópio com um esforço mínimo para o que era necessário lavar e lubrificar os rolamentos com massa nova, a reposição do seguimento do céu por atuação elétrica que implicava uma revisão do motor polar e de todo o mecanismo de transmissão.

2.3.3 Definição Geométrica do Objeto

Definidos os objetivos, procurou-se reunir toda a documentação existente sobre o instrumento, nomeadamente o manual e os desenhos técnicos, com vista à construção de um modelo tridimensional detalhado do instrumento que permitisse, por um lado, perceber o seu funcionamento e, por outro, definir geometricamente os sistemas que o constituem formando um guia para a sua desmontagem reversível.

Para a construção do modelo tridimensional do telescópio foram recolhidos 46 desenhos técnicos, sendo que 12 eram referentes a diagramas elétricos que se provariam de pouca utilidade para a intervenção necessária.

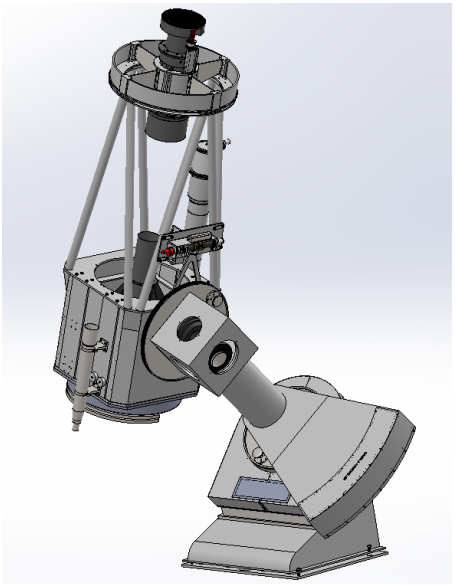


Figura 7: Modelo tridimensional global do Telescópio de 30''

Além da reduzida dimensão, a coleção sobressai pela incompletude, não existindo desenhos originais de mecanismos chave, como o mecanismo de seguimento. Também se notou a ausência de listas de peças onde devia constar a informação sobre os materiais utilizados. Estes detalhes são da maior importância para o trabalho de engenharia inversa que se veio a realizar.

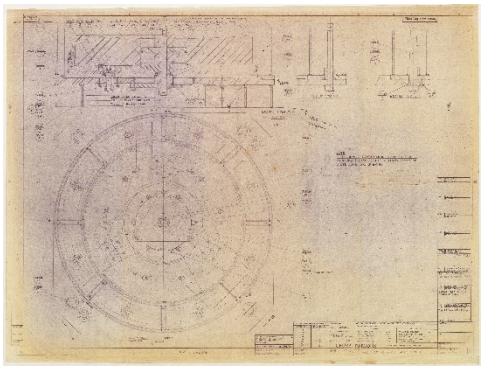


Figura 8: Desenho do conjunto de suporte do espelho primário do Telescópio de 30''

Pesquisando na internet, com o intuito de definir geometricamente todo o conjunto percebeu-se que o telescópio de 30'' do Porto não constava nas listagens disponíveis de telescópios construídos pela Grubb & Parsons (Glass). Através de contactos estabelecidos com instituições estrangeiras, nomeadamente com observatórios astronómicos da Common Wealth (Inglaterra, Austrália, África do Sul e Canadá) onde a Grubb & Parsons teve mais impacto, concluiu-se que o arquivo da

empresa se encontrava no Museu de Tyne and Wear em Newcastle-upon-Tyne, cidade de onde a empresa operara. Pelo dito museu ficou-se a saber que "a vasta coleção composta por 65 metros lineares de pastas, desenhos, fotografias e negativos em vidro" (Museum, 2008) ainda não tinha sido organizada nem digitalizada. Na impossibilidade de os obter, construiu-se um modelo tridimensional que seria completado ao longo da desmontagem.

2.3.4 Desmontagem e Reparações

A desmontagem do Telescópio de 30'' permitiu realizar ações de manutenção profunda que de outra forma não seriam possíveis, como por exemplo, a aplicação de uma proteção anti corrosão às peças em aço ou a limpeza dos discos das embraiagens. Por outro lado, permitiu também a definição dos elementos mecânicos escondidos e para os quais não havia desenhos técnicos nem nenhuma informação disponível, como por exemplo, o modelo dos rolamentos empregues em ambos os eixos, informação que se revelaria crucial ao desenvolvimento da nova motorização. Além destas, muitas outras ações foram implementadas neste momento de manutenção profunda, como por exemplo a realuminização dos espelhos, a limpeza das lentes do corretor paraboloide, a implementação de um novo sistema de gestão de cabos, entre outros.

2.3.5 Nova motorização com vista à investigação científica

Com a remontagem, inicia-se o trabalho de correção do mecanismo de seguimento das estrelas que culminou com a aquisição de uma câmara CCD. Conquanto de proporções generosas, o sensor cobria apenas 1/9 da área útil do campo fotográfico. O CCD revelaria o grande potencial do sistema ótico ao detetar imagens de satélites artificiais, confirmando a possibilidade de utilizar o telescópio no âmbito dum programa de monitorização de lixo espacial. A utilização do Telescópio num programa de rastreamento do céu faz especial sentido neste caso, tendo em conta o seu grande campo fotográfico e a sua abertura que conjugados permitem detetar muitos objetos de pequena dimensão relacionados na mesma fotografia. A obtenção de financiamento específico tornou possível a construção de uma nova motorização com vista à sua operação a partir de uma localização mais apropriada à prática da investigação astronómica moderna. Este assunto perfaz a segunda parte da intervenção.

2.4 Desenvolvimento de atividades de divulgação científica

A terceira parte deste projeto envolveu a elaboração de um conjunto atividades com vista à utilização do telescópio no âmbito da divulgação pública da astronomia. Atualmente, a operação remota é um fator preponderante para a investigação astronómica permitindo recolher imagens em locais escuros longe dos centros urbanos onde normalmente os investigadores trabalham. Apesar do inegável deslumbramento que uma primeira observação astronómica provoca nos utilizadores de um telescópio, as valências implementadas para a operação remota podem ser muito úteis no âmbito da divulgação da Astronomia, como forma de, por exemplo, uma turma inteira ter acesso ao telescópio sem sair da escola. Sendo cada vez mais frequente encontrar projetos STEM nos quais se procura criar laços entre membros da comunidade científica e o público leigo, por forma a maximizar a utilização deste telescópio o autor desenvolveu um projeto comunitário subordinado ao tema da espectrometria. De duração anual, o projeto reúne a participação de astrónomos amadores e público leigo com curiosidade sobre o tema, tutorados por astrónomos profissionais, com a possibilidade de os intervenientes participarem a partir de casa.

Nesta fase, assistiu-se não só ao planeamento das atividades de divulgação científica, mas também à criação de condições materiais para que essas atividades pudessem decorrer de forma mais confortável, tanto por quem escolhe visitar o observatório e realizar essas atividades presencialmente, como por quem decide participar desde casa. Neste sentido, salienta-se a importância da ligação por fibra ótica de todos os abrigos do observatório ao edifício principal e a criação de uma sala quente a usar nas traseiras do abrigo do telescópio.

2.5 Ligação à comunidade

È inevitável que num projeto deste tipo os intervenientes sintam necessidade de interagir com o público. Neste projeto, procurou-se desde o início criar laços com a comunidade através dos meios de comunicação social, ver (Alves & Oliveira, 2011), tendo-se produzido um esforço constante de divulgação do projeto nomeadamente através do Jornal de Notícias e de diversos projetos culturais como a Revista Punkto (Morais & Silva), no sentido de publicitar o trabalho realizado. Desse esforço resultou a marcação de visitas por parte do público em geral e mais tarde do público escolar.

Subjugadas ao tema da determinação da hora pela observação das estrelas, as visitas realizadas de dia, simulavam a passagem de uma estrela com um vídeo previamente gravado, apresentando a hora calculada num mostrador construído para o efeito. Também o movimento de inclinação do espelho através do Stellarium provocava um certo deslumbramento semelhante à abertura da cúpula, algo bastante recompensador para o autor. Mas o movimento rápido de uma estrela no ecrã aliado ao facto de não se verem estrelas no céu por ser de dia, induzia mais dúvidas do que certezas. Com a ajuda do Stellarium, explicava-se que se o Sol desaparecesse nesse momento, no céu apareceriam as estrelas, que de facto não se movem, o que se move é a Terra, tratando-se por isso de um movimento aparente. O Stellarium facilita esta interação, induz mais curiosidade, mas leva também a outros questionamentos que seriam mais facilmente respondíveis se a visita decorresse à noite. Foi desta perceção, que muitos dos visitantes fizeram aliás questão de frisar, da sua vontade e disponibilidade para visitar o CME de noite, que reforçou a ideia de proceder ao restauro funcional total do CME e que por sua vez culminou na criação de uma atividade onde se convida o público a acertar as horas dos seus relógios através de estrelas que selecionariam no Stellarium e observariam no CME com os seus próprios olhos.

3. O restauro funcional do Círculo Meridiano de Espelho

3.1 Apresentação do Instrumento

O CME destinava-se à determinação rigorosa da hora sideral local pela observação e registo do instante em que uma dada estrela de coordenadas bem estudadas atravessava o campo visual do instrumento. Ainda que as coordenadas das estrelas fossem conhecidas, porque a rotação da Terra não acontece em regime uniforme nem pode ser prevista, as estrelas nunca atravessam o meridiano à mesma hora. O que está em causa é, portanto, perceber a orientação do planeta usando os corpos celestes como pontos de referência e o meridiano local como pivot que os vai varrendo um a um, registando-se a hora local sideral a que determinado corpo cruza o meridiano. Cronometrando trânsitos sucessivos do mesmo conjunto de estrelas ao longo de um período suficientemente longo permite à comunidade científica ter noção da variação da duração dos dias siderais, da diferença entre estes e os dias solares e em virtude disso construir escalas de Tempo mais consonantes com a realidade. Ora, tal como as primeiras comunidades neolíticas sedentárias perceberam a vantagem de observar o nascimento helíacos a partir do mesmo lugar, também um círculo meridiano

deve conservar o seu alinhamento ao longo dos anos para qualquer declinação de observação. Esta necessidade implica que o instrumento tenha de ser robusto, mas, simultaneamente, de operação extremamente delicada.

O CME é composto por um conjunto ótico, através do qual se produz a visada, e uma série de sistemas que visam o seu posicionamento preciso e invariante ao longo do tempo que se descrevem de seguida, ilustrando-se cada um deles com modelos SolidWorks detalhados e o seu aspeto antes da intervenção[4].



Figura 9: Aspeto geral do CME, em 2011, antes da intervenção.

3.1.1 Sistema ótico

O CME é composto por dois tubos óticos horizontais que se encontram alinhados na direção norte-sul, entre os quais existe o espelho central montado no Eixo[5] rotativo. Os tubos óticos são designados por tubos dos colimadores de observação e na extremidade mais próxima do espelho, cada tubo tem montado uma objetiva com 200 mm de abertura e 3029 mm de distância focal. As objetivas são compostas por duas lentes -- uma plano convexa e outra plano côncava – e têm a função de focar a imagem refletida pelo espelho na retina do observador. Este conjunto é designado por par

[4] Os desenhos e modelos tridimensionais do CME encontram-se disponíveis para consulta em

https://drive.google.com/drive/folders/1UUmiv-OoTvkAO-PC2hNiWcBk9zJDwfs?usp=sharing

[5] Distingue-se aqui, para efeitos de desambiguação, a palavra “Eixo” capitalizada, indicando peça rotativa do CME no qual o espelho está montado, em oposição à palavra “eixo” não capitalizada, que se escreverá desta forma quando for necessário fazer referência à linha imaginária que se propaga no espaço segundo uma direção.

colimador. Os componentes óticos originais deste instrumento como as objetivas, o espelho e as oculares utilizadas originalmente foram fabricados em Inglaterra pela empresa Cox, Hargreaves & Thompson.



Figura 10: Tubo do colimador de observação e seu modelo virtual.

Os tubos óticos assentam em pilares de granito construídos sobre fundação do instrumento através de duas peças de ferro fundido providas de dispositivos para corrigir a orientação do seu eixo ótico, tanto em azimute como em inclinação em relação ao plano horizontal. Os tubos óticos são revestidos por um tubo exterior de chapa de cobre com vista à manutenção da homogeneidade térmica no seu interior. No extremo mais afastado do espelho encontram-se montados os micrómetros registadores com os quais se media e registava a posição de uma estrela ao longo do trânsito. O mecanismo de seguimento das estrelas montado no tripé adjacente, representado no modelo, permitia acompanhar a estrela ao longo do trânsito. No extremo mais próximo do espelho, existe um corpo triangular com malhas metálicas de diferentes densidades, comumente designado por roda de filtros, que permitem reduzir o brilho de uma determinada estrela de forma diferenciada facilitando a determinação do seu centro. A roda de filtros é operada por um manípulo à direita do micrómetro registador, naquilo que se designa por posto de observação.

3.1.2 Eixo e Dispositivo de Suspensão

O Eixo do CME, representado no modelo da Figura 11 como peça (A), é o corpo responsável pelo transporte rotativo do espelho (B). O corpo do Eixo é de aço vazado de elevada tensão limite de elasticidade com uma excentricidade entre topos inferior a 1 micrómetro. O espelho é feito de hysil[6], pesa 11 kg e tem um diâmetro de 360 mm. As

[6] Um tipo de borossilicato parecido com o Pyrex, com um coeficiente de dilatação muito baixo.

suas superfícies funcionais são planas até 1/10 do comprimento de onda da luz visível (650 nm). No âmbito das visitas de estudo diz-se que não existindo superfícies perfeitas, a distância máxima entre o pico e o vale da superfície rugosa do vidro é no máximo 65 milionésimos do milímetro.

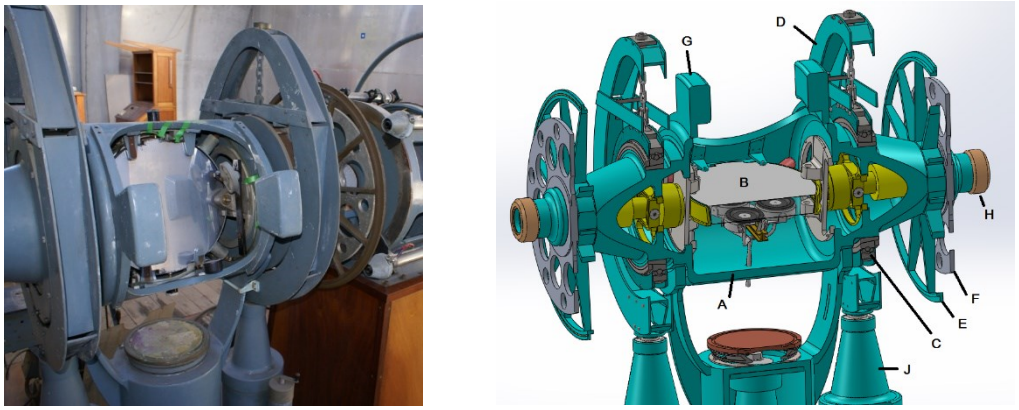


Figura 11:O Eixo real tal como foi encontrado e um corte segundo um plano paralelo ao Primeiro Vertical do modelo representativo.

O Eixo encontra-se suspenso através de um par de rolamentos (C) montados adjacentes à abertura do espelho, num par de anéis ovais (D) suportados na base pelo dispositivo de impulsão de mercúrio (J). Do centro para as extremidades, no Eixo encontram-se montados os limbos de ferro fundido que contêm embutida uma escala graduada em aço inox (E) e as rodas dentadas de alumínio (F) pelas quais se transmite o movimento rotativo. A falta de material na cavidade é compensada pelos dois contrapesos (G). Montado no interior do Eixo, existe ainda o dispositivo de fixação do espelho, representado a amarelo na Figura 11. Trata-se de uma coroa de bronze com dois contrapesos laterais articulados por cardans. Finalmente, encastrados nos topos do eixo do CME estão dois corpos de aço inoxidável (H), designados por munhões, pelos quais se realiza o guiamento de todo o conjunto segundo a orientação definida pelas bases de alinhamento. No total, o conjunto pesa aproximadamente 400 kg.

3.1.3 Bases de alinhamento

O CME assenta numa construção de blocos de granito que formam um paralelepípedo com 7 metros de largura, 12 metros de comprimento e 4 metros de profundidade, que constitui a fundação do instrumento. Entre as laterais da fundação

e o solo envolvente existe uma galeria com 1,5 metros de largura que visa isolar o instrumento das vibrações do terreno. O bloco da fundação apresenta canais horizontais que permitem a passagem de ar pelo seu interior com o intuito de homogeneizar termicamente a estrutura. Acede-se à galeria através de um alçapão no soalho que se encontra no canto nordeste da sala.

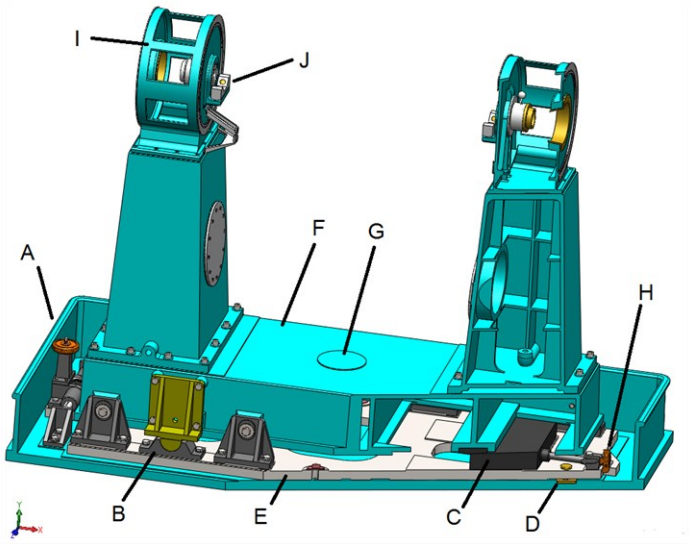


Figura 12: Modelo 3D das bases de alinhamento do CME.

O Eixo em rotação é alinhado tanto em altura como em azimute pelas chamadas bases de alinhamento (Figura 12). As bases estão imersas num tanque de óleo para proteger e lubrificar as superfícies em contacto que foram maquinadas com grande exatidão. Sobre a superfície retificada do fundo do tanque trabalha a base azimutal, representada na Figura 12 pela peça (E). Consiste numa chapa de aço com 30 mm de espessura, que pode ser rodada em torno dum fulcro de bronze vertical (D) posicionado do lado este, quando se desanda o volante (A) do lado oeste. Por cada volta do volante de azimute, a base desloca-se 25 segundos de arco permitindo um ajuste angular máximo de ± 1° 56'.

Sobre a base de azimute, encontra-se montada a base de nivelamento que é basculante segundo um eixo produzido pelas sedes hemicilíndricas (B) quando atuado o volante (H) localizado no lado este do tanque. Por cada volta do volante de altura, a base move-se 26,9 segundos de arco. A ação da cunha que se interpõe entre a base de azimute e a base em altura permite um ajuste máximo de ± 11 minutos de arco.

Sobre a superfície livre da base de altura existe um ressalto cilíndrico que serve de centragem ao mecanismo de inversão do Eixo (não representado).

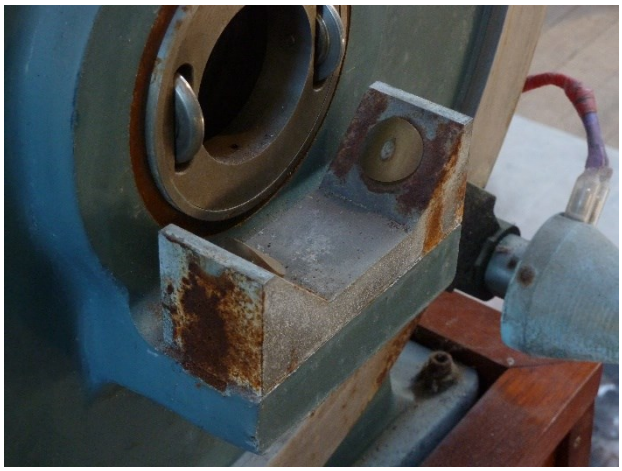


Figura 13: Pormenor de uma munhoneira com os seus dois botões de latão.

Na base de altura encontram-se montados dois pilares de ferro fundido ocos, preparados para neles circular água destinada a manter uniforme a temperatura do conjunto. Sobre estes estão montados dois corpos de forma abarrilada, designados por porta-munhoneiras (peça I na Figura 12), cuja função é suportar as peças que guiam o Eixo em rotação, as munhoneiras. O contacto entre as munhoneiras (peças J) e os munhões do Eixo é feito através de 4 botões de latão (Figura 13) que permitem um escorregamento autolubrificado graças à microestrutura globular das ligas de cobre.

3.1.4 Dispositivo de Inversão

A observação da região da esfera celeste correspondente ao meridiano local exige o cumprimento de três requisitos suscetíveis de se alterarem ao longo do tempo. Os três requisitos são:

I. O Eixo tem de estar perfeitamente nivelado com a horizontal,
II. Perfeitamente guiado na direção azimutal e
III. O espelho tem de estar montado no Eixo de tal forma que a normal à superfície refletora seja perpendicular ao eixo de rotação em todas as declinações de observação.

Acresce-se a estes, o posicionamento dos tubos de observação que pela sua construção conservam mais facilmente o seu alinhamento. Assumindo um nivelamento

do Eixo e um alinhamento geográfico convenientes, ao desalinhamento entre a normal ao espelho e o plano do meridiano, designado por erro de colimação, corresponderá um atraso ou um adianto no registo da hora do trânsito observado.

Enquanto a determinação do erro de colimação nos círculos meridianos de luneta rotativa se realiza por observação da tina nadiral por autocolimação com o tubo na vertical, orientado em duas configurações diferentes, CE e CW, no CME, porque os tubos de observação são imóveis, a determinação do erro de colimação faz-se por autocolimação diretamente ao espelho principal.

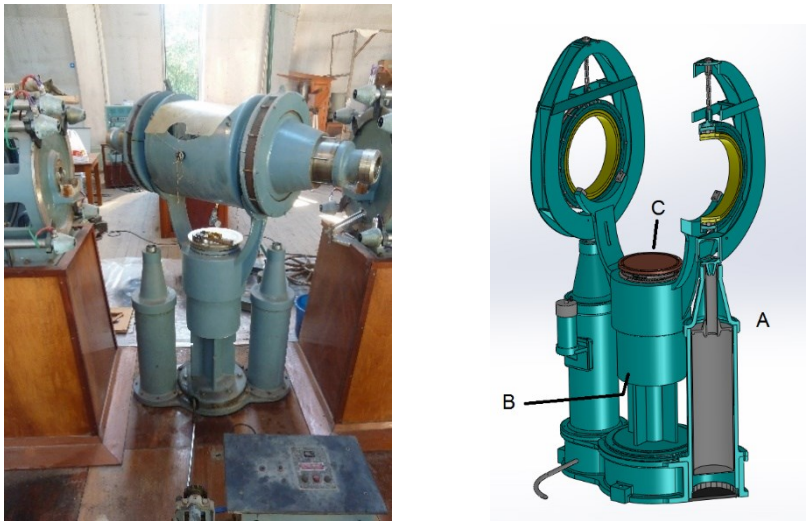


Figura 14 O mecanismo de inversão em manobra. Modelo do conjunto: A - Corte segundo um plano vertical do mecanismo de impulsão; B - mecanismo de inversão; C – Espelho nadiral.

Usando o posto sul, o observador volta o espelho para si e mede a orientação da normal ao espelho numa posição do Eixo em que o munhão Este do Eixo se encontra a Este e noutra em que o munhão Este é posto a Oeste. Para comutar a posição do Eixo utiliza-se o chamado mecanismo de inversão que eleva o Eixo até um ponto em que os munhões passam a cota das munhoneiras. O mecanismo consiste num elevador mecânico com dois braços representado no modelo da Figura 14 pela peça (B), que é acionado por um motor elétrico dotado de um contador de voltas para evitar que o fuso roscado desengate da bucha móvel no seu interior. Montado sobre a tampa do Dispositivo de Inversão encontra-se o espelho nadiral de mercúrio, representado pela peça (C), que servia de referência horizontal ao alinhamento do instrumento. Depois de subido, o Eixo é rodado manualmente 180° em torno da vertical e baixado até à posição de funcionamento. De seguida, com o sistema de pontaria bem calibrado, roda-se o Eixo

180° em torno da horizontal, de forma que se encontre novamente o alinhamento do eixo ótico. O ângulo de colimação é o semiângulo medido.

Posicionando convenientemente o Eixo e o espelho dentro deste, determinam-se os desalinhamentos residuais. O nivelamento dos tubos de observação faz-se por autocolimação do espelho nadiral montado sobre o mecanismo de inversão com o espelho principal inclinado a 45° para baixo e voltado para o lado onde se senta o observador. (Atkinson, 1946, p. 296)

3.1.5 Dispositivo de Impulsão de Mercúrio

Para que o Eixo rode conservando o seu alinhamento há que o posicionar a uma cota tal que os munhões sejam apenas guiados pelas munhoneiras, não devendo estas (idealmente) suportar qualquer carga. O movimento de rotação é transmitido ao Eixo através do pinhão motor engrenado na roda dentada correspondente à configuração pós-inversão. Para manter o pinhão em contacto com a roda, o mancal do pinhão é constantemente pressionado para cima por uma mola. Se o Eixo se encontrar demasiado baixo, com os munhões pousados nas munhoneiras, o atrito nos botões de latão será demasiado elevado para o pinhão conseguir transmitir o seu movimento. Se o Eixo estiver demasiado alto, a mola não será capaz de vencer a distância e o pinhão ficará separado da roda. Portanto, a posição de funcionamento do Eixo encontra-se numa gama de cotas dentro da qual existe uma relação de compromisso entre a transmissão e o guiamento sem carga nas munhoneiras. Uma boa forma de perceber se as munhoneiras estão só a guiar o Eixo ou se estão a suportar carga é sentir a tensão nas correntes. Se estiverem tensas essa é posição ótima do Eixo. O posicionamento preciso do Eixo em altura faz-se através do dispositivo de impulsão de mercúrio.

Tendo em conta a necessidade de conservar o Eixo alinhado pode-se dizer que a inversão é um inconveniente. Porém é aqui que mais uma vez o génio do construtor se revela. Nos círculos meridianos de luneta rotativa, o alinhamento do Eixo é conservado através de um par de braços de balança articulados com contrapesos que suportam o Eixo através de dois grandes ganchos abertos com rolamentos que permitem a sua rotação. Para inverter o Eixo, para determinar o erro de colimação entre a objetiva e a ocular, o mecanismo de inversão retira o Eixo dos ganchos e devolve-o invertido confiando que o Eixo é perfeitamente simétrico em relação ao plano do meridiano. No caso do CME, esta preocupação não existe porque o sistema de impulsão de mercúrio funciona segundo o princípio dos vasos comunicantes garantindo que qualquer que seja a configuração inercial, o Eixo irá estar sempre na horizontal.



Figura 15: O dispositivo de impulsão parcialmente desmontado com um dos êmbolos removido.

O sistema de impulsão é constituído por duas partes que se separam durante a manobra de inversão. Na parte inferior existe o dispositivo de impulsão propriamente dito que consiste em dois cilindros hidráulicos dentro dos quais existe um pistão oco cujo diâmetro exterior tem menos 6 mm que o diâmetro interior do cilindro. Esta relação de diâmetros visa otimizar a força de impulsão que é proporcional ao volume banhado, minimizando a quantidade de mercúrio necessária. A ligação ao Eixo faz-se pela parte superior da haste do êmbolo que também é oca por forma a que nela possa encaixar a base troncocónica do dispositivo de suspensão do Eixo. Enquanto o eixo é guiado em rotação pelas munhoneiras na orientação definida pelas bases de alinhamento, o peso do Eixo é suportado pelo dispositivo de impulsão de mercúrio posicionado de forma a minimizar o momento fletor do Eixo.

3.1.6 Registo das observações

O registo de observações meridianas fazia-se usando um mecanismo intrincado chamado “Micrómetro Registador” no qual o observador acompanhava a estrela ao longo do trânsito, pela bisseção de um fio vertical movido manualmente. Nas primeiras versões do instrumento, o retículo era formado por um conjunto de fios fixos verticais e outros horizontais dispostos equidistantes uns dos outros que serviam de marcadores espaciais. Quando o fio móvel se sobrepunha a um fio fixo registava-se o número do fio e a hora a que a sobreposição ocorrera. No final, a hora do trânsito era calculada pela regra dos mínimos quadrados usando os instantes associados aos diversos fios para os quais se conhecia a distância ao meridiano.

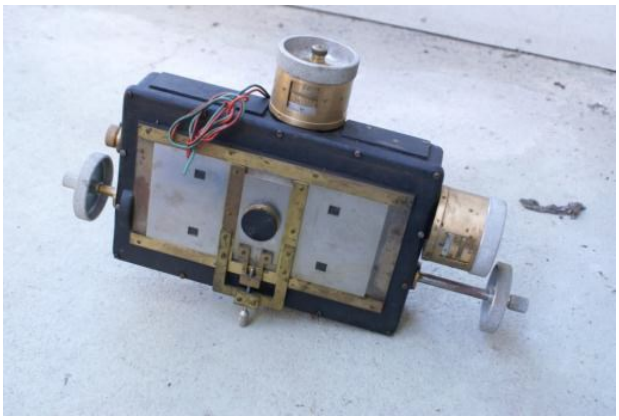


Figura 16: Micrómetro Registador de 1953

O primeiro micrómetro registador do CME (Figura 16) foi construído em 1953 e conserva o seu retículo original. Encontra-se equipado com dois nónios ortogonais que permitiam ao ajudante do observador registar periodicamente a posição do fio móvel colmatando potenciais erros decorrentes da montagem e utilização do retículo. Neste instrumento foram testadas diversas soluções com vista ao registo automático das passagens. Os desenhos técnicos encontrados sobre este mecanismo permitem concluir que a dada altura, o registo do trânsito passou a ser feito fotograficamente. Para tal, foram montados uma série de contactos elétricos ao longo da pista horizontal interior que se vão fechando à medida que o carro móvel a vai percorrendo. A cada contacto correspondia um registo fotográfico da posição dos nónios aos quais se fazia associar a respetiva hora.



Figura 17: Posto de Observação Sul. O mecanismo de seguimento de estrelas à esquerda, com o Micrómetro Registador de 1958 no centro e o comando analógico do CME entre eles. À direita, encontra-se o Processador. No centro da sala, encontra-se o espelho ladeado pelos colimadores axiais, que fazem parte do sistema ótico de calibração.

No sentido de eliminar do processo de redução das observações a diferença de destreza manual entre observadores, mas tendo em vista também o registo fotográfico do trânsito que nunca chegou a ser implementado, o Professor Manuel de Barros criou um mecanismo de seguimento de estrelas que se encontra montado em cima do tripé localizado à esquerda na Figura 17. Este mecanismo resulta dum estudo anterior realizado na Universidade de Coimbra em que se tentou adaptar uma câmara fotográfica a um instrumento de passagens. No caso do CME, este mecanismo, pensado para outra função, permite eliminar completamente o acionamento manual durante o acompanhamento da estrela, mas continua a requerer o posicionamento do fio sobre a estrela quando esta aparece no campo visual. O mecanismo de seguimento das estrelas mimetiza na velocidade do fio o movimento aparente das estrelas observadas desde a Terra: as estrelas próximas do polo celeste movem-se muito devagar e as estrelas próximas do equador celeste têm velocidades aparentes máximas. Este sistema consiste num integrador mecânico que afeta à velocidade sideral o cosseno da declinação da estrela, sendo que esta corresponde indiretamente à inclinação do espelho recebida através de um circuito analógico Transmissor/Recetor da Magslip, tecnologia muito usada nos anos 1950 e que será abordado adiante.

Numa terceira versão (Figura 18), o micrómetro registador foi redesenhado para permitir a digitização das observações[7]. No novo micrómetro foram montados dois digitizadores eletro-óticos da empresa inglesa *Hilger & Watts* (ao centro da Figura 17) que comunicavam ao processador adjacente a posição do carro móvel, tanto em ângulo horário como em declinação. Por cada estrela observada, o processador imprimia em fita perfurada o ângulo horário, a declinação e a hora sideral local correspondente a cada momento da observação. Esta informação seria mais tarde processada no computador NCR Elliot 4100 da Faculdade de Ciências, usando o método dos mínimos quadrados para determinar a hora certa.

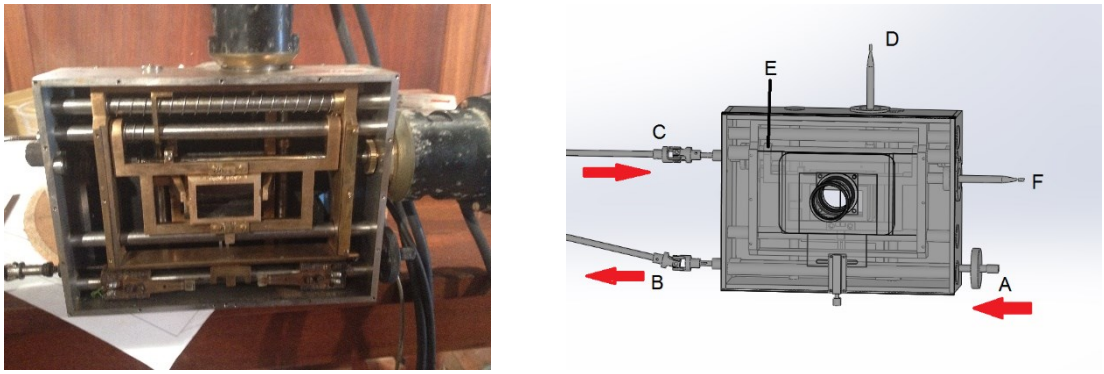


Figura 18: Micrómetro Registador de 1958 com painel frontal removido. O mecanismo do integrador mecânico permite o ajuste manual inicial da posição do carro de seguimento da estrela por ação do manípulo (A), que segue para o diferencial do integrador através do veio (B). A posição do carro (E) é alterada pelo veio (C) que o anima à velocidade regulada. A posição do carro é lida pelos parafusos (D) e (F) que se encontram acoplados aos digitalizadores (corpos negros cilíndricos na fotografia, não representados no modelo)

Neste trabalho tentou-se substituir os fios de teia de aranha por fibras sintéticas de 7 μm de diâmetro (Figura 19), gentilmente cedidas pelo Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP). Mais tarde, os fios seriam substituídos por uma ocular com retículo iluminado alternada com uma câmara CCD.

[7] O termo "digitização" aparece nas obras consultadas e refere-se à conversão de quantidades analógicas, como uma tensão variável, em palavras de bits compostas por zeros e uns. A digitização torna possível o tratamento da informação por computador. Por outro lado, o termo "digitalização", muitas vezes confundido, tende a referir-se menos ao processo de conversão e mais à estruturação dos domínios da vida social em torno da comunicação digital. Brennen, J. S., & Kreiss, D. (2016). Digitalization. In *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy* (pp. 1-11). https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect111

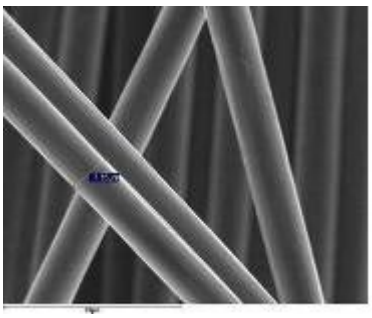


Figura 19: Microestrutura de fibras sintéticas observadas no microscópio eletrónico.

O registo das observações contemplava também o registo fotográfico da altura das estrelas observadas. Para tal, os limbos de aço laminado montados nos extremos no Eixo têm incrustados um aro de material inoxidável marcado a cada 5 minutos de grau e numerada de grau em grau.



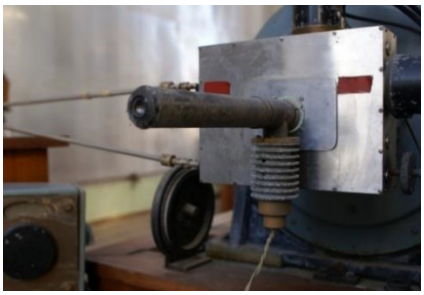
Figura 20: Máquinas fotográficas para registo da posição do Limbo, montadas na Munhoneira Oeste.

Cada registador (Figura 20) é constituído por uma câmara fotográfica de 35 mm com carregadores Robot montadas num tubo de inox com uma objetiva homocêntrica de 105,7 mm na extremidade mais próxima do limbo. Contém também um *flash* circular montado nos corpos cónicos que seriam altamente refletores para iluminar o melhor possível a escala. Nas tampas das caixas dos registadores podem ser colocadas oculares, que permitiam examinar diretamente as imagens do limbo dadas pelas objetivas (Barros, 1957).

3.1.7 Colimadores Axiais

Na direção perpendicular àquela definida pelos tubos dos colimadores de observação, existem outros dois tubos óticos horizontais alinhados com o Eixo, que se designam por tubos de colimação axial. Cada tubo de colimação axial é composto por

uma objetiva, montada dentro do suporte das munhoneiras e por um micrómetro rotativo que permite medir distâncias horizontais e verticais por autocolimação. Os tubos de colimação axial destinavam-se à medição da flexão do Eixo e à medição do deslocamento do Espelho. Ambas as tarefas realizavam-se por autocolimação servindo-se de superfícies refletoras diferentes. Para medir a flexão do Eixo montava-se um pequeno espelho circular num dos topos do Eixo e procedia-se à sua rotação medindo em cada momento o desvio em relação a uma posição de referência. Por outro lado, o deslocamento do espelho e, porventura, o efeito da flexão do Eixo no espelho, media-se por autocolimação das facetas planas espelhadas que o espelho de 36 cm contém na sua superfície lateral. As facetas espelhadas são perpendiculares à superfície refletora cuja orientação da normal se pretende medir.


Figura 21: Ocular Autocolimadora de Danjon

Os autocolimadores usados originalmente no CME foram criados para medir ângulos muito pequenos, de acordo com o desenho ótico de André Danjon (1890 - 1967), então diretor do Observatório de Paris. O princípio de funcionamento é o seguinte: uma lâmpada montada perpendicularmente à direção de referência ilumina um fio fixo cuja sombra é projetada contra uma superfície espelhada no objeto de prova. A imagem refletida, quando comparada com o fio fixo no micrómetro, permite determinar o desalinhamento da normal à superfície de prova em relação à direção de referência (Danjon, 1940). As oculares autocolimadoras de Danjon também eram usadas na determinação e correção do erro de colimação do espelho pela sua montagem no micrómetro registador tal como na Figura 21.

3.2 Recuperação do Instrumento

3.2.1 Parte ótica

O primeiro passo no processo de desmontagem foi a remoção das valiosas partes óticas, nomeadamente do espelho e das lentes dos colimadores de observação. O espelho foi enviado para Inglaterra para ser re-aluminizado (Figura 22). Esta operação envolveu a decapagem com uma mistura de ácido sulfúrico e ácido clorídrico, a

eletrodeposição do alumínio numa câmara de vácuo e a aplicação de uma camada muito fina de quartzo como medida de proteção.



Figura 22: O espelho realuminizado montado no Eixo.

As lentes dos colimadores de observação (Figura 23) foram lavadas usando uma mistura de água, detergente e álcool isopropílico para a remoção dos fungos, tal como sugerido por Sherrod e Koed (2003, p. 36). As posições de montagem foram marcadas a lápis na superfície fosca lateral do vidro e as lentes foram guardadas juntamente com a sua célula num local limpo, seco e seguro. Este é o procedimento corrente na lavagem de lentes de telescópio nas quais costuma haver um revestimento ótico por forma a melhorar a sua *performance*. Neste caso, se receio existisse que a reação exotérmica pudesse deteriorar o revestimento ótico, essa hipótese foi descartada quando se analisaram as lentes em diversos ângulos de luz incidente e se percebeu que elas não eram revestidas.



Figura 23: As lentes do par colimador desmontadas e lavadas.

O espelho nadiral consiste num prato de cobre, com uma ligeira concavidade onde o mercúrio é depositado. Quando é utilizado, o espelho é destapado ficando a superfície refletora exposta ao ar. A superfície livre apresentava-se bastante oxidada como a Figura 24 demonstra, com rosáceas características da oxidação. Atendendo à toxicidade do líquido e à necessidade de tornar o CME um espaço visitável, decidiu-se retirar todo o mercúrio e evitar assim riscos desnecessários para a saúde pública. Depois de purgado parecia que o seu peso era demasiado para o corpo de cobre em questão. Comparando o seu peso real com o que correspondia a um corpo de cobre com aquelas dimensões tal como calculado pelo SolidWorks®, percebeu-se que o mercúrio tinha



Figura 24: Aspeto do espelho nadiral com o mercúrio.

formado amálgama com o cobre[8]. Com a dupla preocupação de mostrar o objeto ao público, mas fazê-lo de forma segura, optou-se por pedir a assistência ao Departamento de Química da FCUP. No sentido de o limpar a fundo, o procedimento passou por levar o prato ao poderoso bico de Bunsen para retirar o mercúrio remanescente, operação delicada que teve lugar nos Laboratórios de Química (Figura 25). Existindo a possibilidade de a extração não ter sido total, optou-se por montar o espelho nadiral no seu lugar original respeitando alguns condicionalismos para uma apresentação segura. Para tal construiu-se uma espécie de sarcófago materializado num anel de inox com um O-ring na base e outro no topo. Para que o público o consiga ver, o conjunto foi tapado com uma placa circular de vidro que veda potenciais evaporações do mercúrio ao longo do tempo (Figura 26).



Figura 25: O prato de cobre do espelho nadiral foi sujeito ao efeito do bico de Bunsen dentro de uma hotte do Laboratório de Química da FCUP.



Figura 26: Aspeto final do espelho nadiral protegido.

[8] Na fase de escrita deste trabalho descobriu-se que a preparação do espelho de mercúrio nadiral através de amalgama cobre-mercúrio era propositado. Esta técnica era conhecida desde o final do século XIX e permitia anular perturbações sísmicas no espelho anteriormente composto por um tabuleiro de ferro no qual o mercúrio era vertido. Com a utilização do espelho amalgamado conseguiam-se melhor os resultados das observações em 30%. Ver página 184 do Appendix VI: List of Presents received during the Session of 1889-1890. (1890). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *50*, A176-A203. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1890MNRAS..50A.176.

3.2.2 Lavagem dos rolamentos do Eixo

A desmontagem prossegue com a remoção dos aros que suspendem o Eixo com vista à limpeza do par de rolamentos (Figura 27).



Figura 28: Aros de suporte do Eixo desmontados pousados no chão.



Figura 27: Pormenor de um dos rolamentos do Eixo

Em utilização há mais de 50 anos, a remoção dos rolamentos para lavagem afigurava-se como uma necessidade premente. Os rolamentos são da marca SKF®, modelo 61964, têm 56 mm de largura, um diâmetro interior de 320 mm e um diâmetro exterior de 440 mm. As esferas são transportadas no rolamento através de um anel de latão relativamente frágil que podia ser danificado durante a desmontagem. O custo da operação e o risco de dano conduziram à decisão de lavar os rolamentos no sítio. Taparam-se as pistas com fita-cola de papel e com uma escova de arame retirou-se toda a ferrugem acumulada na superfície exterior do rolamento. De seguida, com um compressor e petróleo iluminante limpou-se o rolamento por dentro e por fora. Com o compressor retirou-se o petróleo e repetiu-se a operação várias vezes. No final lubrificaram-se os rolamentos com um pincel, dando várias voltas para que a massa preenchesse o melhor possível as superfícies em contacto.

3.2.3 Sistema de fixação do espelho no Eixo

Com a remoção do espelho, foi possível aceder ao seu dispositivo de fixação (Figura 29).



Figura 29: Dispositivo de fixação do espelho

A definição radial da posição do espelho em relação à coroa é conseguida através de 4 pistões montados na sua periferia que eram atuados pneumaticamente por êmbolos de borracha virgem. Irremediavelmente danificados, os êmbolos foram substituídos por molas, representadas pela letra (C) no modelo da Figura 31, dimensionadas para produzirem a mesma força, definindo a concentricidade necessária entre o Espelho e a coroa.



Figura 30: Bomba de vácuo parcialmente desmontada.

A posição do espelho é definida axialmente (em relação à coroa) através de 3 ventosas de vácuo que puxam o Espelho para o interior do Eixo. O vácuo é produzido por uma bomba que foi reparada (Figura 30). As fugas foram eliminadas, o motor foi rebobinado e a mangueira foi substituída.

Enquanto a posição do Eixo é definida pelas bases de alinhamento, que produzem na prática o alinhamento do eixo de rotação do espelho, por intermédio do dispositivo de impulsão de mercúrio, é de igual importância para a orientação da visada, a forma como o espelho se encontra montado em relação ao e no Eixo (Figura 31). Idealmente, o eixo de rotação encontra-se nivelado com a horizontal e alinhado com a direção este-oeste e a normal ao espelho encontra-se perfeitamente perpendicular ao eixo de rotação. Só desta forma se garante que a visada se dá no plano do meridiano.

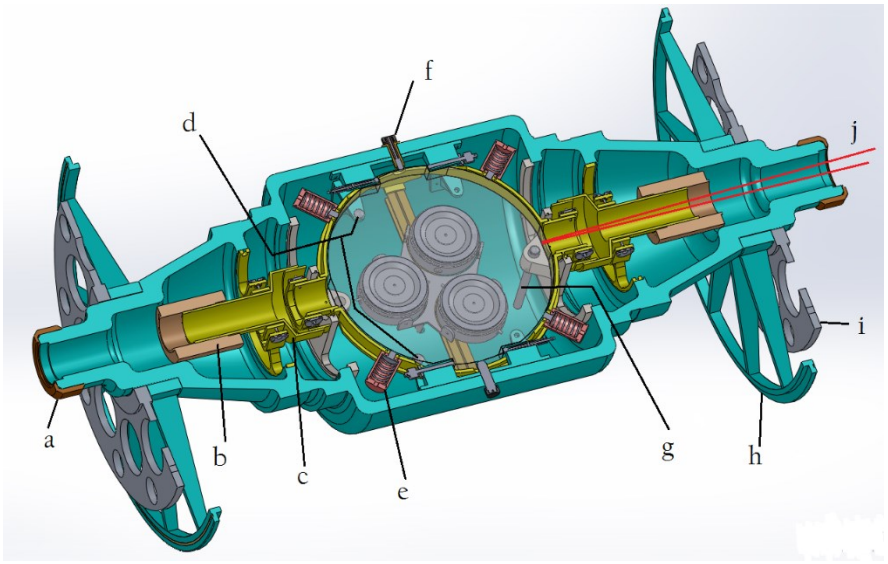


Figura 31: Corte do modelo SolidWorks® do Eixo segundo um plano paralelo ao espelho: a – munhão, b – contrapeso do dispositivo de suspensão do espelho, c – cardan do dispositivo de suspensão do espelho, d – pontos de apoio fixo do espelho, e – câmaras dos cilindros pneumáticos antigos, f – mola antagonista de reação ao travamento do espelho na direção perpendicular ao eixo de revolução do Eixo, g – parafuso de colimação, h – limbo, i – roda dentada, j – feixe de autocolimação axial.

Porque o espelho é frágil, as tensões de fixação não devem ser exageradas. A definição da posição do espelho segue uma filosofia de posicionamento sem bloqueio usando pares de parafusos micrométricos e molas antagonistas que permitem a dilatação e a contração do vidro por ação do campo térmico variável, não alterando o seu alinhamento. Os pares de parafusos micrométricos/molas antagonistas definem a posição do espelho nas três direções ortogonais. No plano intermédio entre a superfície espelhada e a superfície não espelhada, a posição do eixo é definida ao longo do eixo de rotação pelas 4 molas do sistema de fixação. Este arranjo é suficiente porque não existe carga nesta direção. No mesmo plano, mas na direção perpendicular ao eixo de rotação, a solução encontrada para a definição da posição do espelho passou pela

montagem de um parafuso micrométrico na parede do Eixo de um lado e a reação por uma mola antagonista do outro, representada pela peça (f) no modelo da Figura 31.

Na direção normal à superfície espelhada, a fixação é determinada pelo sistema que permite o ajuste angular do espelho para efeitos de colimação, isto é, o ajuste necessário à orientação da normal à superfície refletora principal no sentido de ir ao encontro da direção definida pelo eixo ótico dos colimadores. O ajuste é produzido ao longo da linha de ação do parafuso (g), cuja atuação manual permite bascular o espelho em torno da direção definida pelos dois apoios fixos esféricos representados pelas peças (d). Os três apoios formam um triângulo equilátero. A fixação do espelho na direção da normal à superfície espelhada prevê os momentos em que o espelho se encontra voltado para baixo. Normalmente à superfície espelhada, cada apoio fixo encontra, do lado oposto ao espelho, um apoio ajustável por ação de uma mola de chapa, que garantindo um contacto permanente, colmata diferenças produzidas pela dilatação/contração do vidro. De forma semelhante, também ao longo da linha de ação do parafuso (g), garante-se o contacto permanente por ação de um pivot de ponta esférica, atuado por uma mola helicoidal de curso ajustável, pelo qual se regula a carga adequada. Estes três conjuntos de parafuso/mola trabalham em simultâneo com o supracitado dispositivo de fixação cuja ideia subjacente é permitir que em qualquer posição angular do Eixo, o momento produzido pelos contrapesos mantem o espelho livre de tensões que o deformariam por ação do seu peso próprio prejudicando a visada.

Analisando com detalhe a Figura 31, existem dois conjuntos de parafuso micrométrico/mola antagonista que ainda não foram referidos. Alinhados paralelamente ao eixo de revolução do Eixo e atuando sobre os entalhes existentes no corpo do espelho, os dois conjuntos estão montados no mesmo sentido, isto é, os dois parafusos encontram-se do mesmo lado do meridiano. Este arranjo visa girar o espelho em torno do seu eixo, com o objetivo de ajustar micrometricamente a orientação das facetas laterais pelas quais se avaliava por autocolimação a influência da flexão do Eixo sobre o alinhamento do espelho usando as oculares autocolimadoras de Danjon. Como estes dispositivos tinham um campo visual muito reduzido, tornava-se imperativa a orientação precisa das facetas laterais para que se produzissem reflexões úteis no autocolimador axial.

Neste trabalho, todos os parafusos e molas foram desmontados, lavados e remontados. No caso particular das molas, o critério de substituição seria a sua falta de rigidez para cumprir a função. Nesta fase da recuperação, não havendo razões para a sua substituição estas foram mantidas. Mais tarde durante a fase de calibração do sistema de pontaria detetaram-se alguns problemas pontuais que conduziram a uma reapreciação do seu estado.

Para a colocação do espelho aluminizado no Eixo foi utilizado um dispositivo especial[9] desenhado pelo Professor Manuel de Barros que também foi restaurado. Trata-se de um mecanismo com quatro hastes telescópicas que entram pelos espaços existentes entre a coroa e o Eixo, por onde as mãos não conseguem passar. Posicionando convenientemente as extremidades do dispositivo por forma a suportar o espelho pela sua superfície não refletora, é possível baixá-lo cuidadosamente até encostar totalmente nas ventosas. Colocado na posição de funcionamento e continuando a atuar o manípulo do mecanismo as extremidades rodam 90° possibilitando a sua remoção pela periferia do conjunto.

À medida que o Eixo roda é possível que haja flutuações normais à superfície espelhada. Para as determinar existe um apalpador micrométrico fabricado pela *Societé Genevoise*, localizado perto da mola de reação do parafuso (g), que se encontrava avariado. Na Figura 22 pode ver-se esse apalpador montado no Eixo com o espelho já aluminizado. Abrindo o apalpador percebeu-se que a mola “fio de cabelo” se tinha partido e na impossibilidade de o reparar optou-se pela sua substituição por outro, menos vistoso, existente no Observatório. O apalpador é um dispositivo deveras indispensável pois permite controlar a orientação do espelho enquanto durante a rotação, isto é, saber se ela se altera ou não.

[9] https://hdl.handle.net/10405/31058

3.2.4 Dispositivo de inversão


Figura 32: Motorredutor do dispositivo de inversão

O Dispositivo de Inversão pode ser acionado por um motor elétrico ou manualmente (Figura 32), através de uma alavanca que permite embraiar o modo que se deseje. O conjunto motor da inversão é composto por um motor elétrico trifásico, uma caixa de redução, uma embraiagem e um conta-voltas, que permite posicionar a roda dentada do Eixo no ponto de engrenagem certo após a inversão. Este detalhe é importante para não sobrecarregar a cadeia cinemática de movimentação do Eixo ou para que as folgas não sejam excessivas. A transmissão entre o motor e o redutor é feita por uma correia trapezoidal que foi substituída. Mudou-se o óleo ao redutor, as ligações elétricas foram substituídas e pintou-se todo o conjunto.

3.2.5 Sistema de Pontaria

A motorização do Eixo (Figura 33) é conseguida através de uma caixa redutora onde se encontram montados os *synchros* que fazem parte do sistema antigo de controlo automático analógico do CME. A caixa redutora foi desmontada e todos os elementos foram medidos e desenhados. De seguida foram lavados com petróleo, lubrificados e remontados. Numa das aberturas existentes na caixa redutora foi montado um motor passo-a-passo que substituiu o motor antigo que estava danificado. Não foi possível substituir o motor original por outro igual porque já não existe fabrico do mesmo nem era possível a sua recuperação. No entanto, o motor antigo e os elementos de controlo foram conservados nos lugares originais. O sinal elétrico do motor antigo era fornecido por um amplificador operacional a válvulas, que foi retirado visto não ser fiável (nem necessário após substituição do tipo de motor). Uma parte importante do controlo da posição do espelho do Círculo Meridiano, que será explorado adiante, era conseguida através de um conjunto localizado a meio da cadeia de transmissão no interior do suporte da munhoneira oeste. Como o conjunto é parte integrante da transmissão não foi possível eliminá-lo. A montante do conjunto a transmissão acontece faz-se por dois cardans que foram lavados e lubrificados. A interface a montante do conjunto é conseguida por uma junta de Oldham que permite a transmissão entre elementos desalinhados axialmente. A jusante da unidade, a ligação fazia-se por um

anel de couro comprimido que estava partido. A ligação foi reposta usando um anel de polipropileno.

Por outro lado, notou-se que o engrenamento entre o pinhão e a roda dentada grande apresentava muitas folgas que não conferiam rigor ao sistema, pelo que se considerou que para obter um posicionamento de precisão do Eixo era vital montar um encoder. Para obter uma posição de referência do Eixo no início de cada sessão de observação, foi montado um detetor ótico debaixo do pinhão. Quando o instrumento é ligado, o motor roda até o detetor encontrar a marca indicativa da posição "*Home*", correspondente a uma orientação da normal ao espelho próxima do zénite. Esta manobra denomina-se por calibração do sistema de pontaria e será abordada a seguir.



Figura 33: Conjunto de motorização do CME, em reparação e no final

3.2.6 Registo de observações

O mecanismo de registo da passagem das estrelas também foi alvo de limpeza e lubrificação (Figura 34). A menos de uma mola que teve de ser substituída a limpeza foi suficiente para que o mecanismo voltasse a funcionar. No mecanismo de seguimento, as ligações elétricas do *Receiver* tiveram de ser refeitas, bem como as do motor de velocidade sideral que também foi rebobinado.



Figura 34: Micrómetro Registador aberto para limpeza.

3.2.7 Dispositivo de Impulsão de Mercúrio

Na fase final da recuperação do CME, entre 2011 e 2013, assiste-se à montagem do motor de passo no sistema de pontaria iniciando-se transição para o controlo digital do instrumento. Ao ligar o motor pela primeira vez, verificou-se que o pinhão motor saltava do engrenamento produzindo um ruído característico à medida o pinhão roda, mas o Eixo permanece imóvel. O movimento errático do pinhão é na verdade uma medida de segurança na qual a mola que empurra o pequeno mancal do pinhão contra a roda funciona como fusível mecânico evitando-se assim danificar os acoplamentos a montante. Tomando as correntes na mão concluiu-se que não se encontravam tensas e que o Eixo estava muito preso mesmo para rodar à mão. Conclui-se, portanto, que o Eixo estava a ser suportado pelas munhoneiras induzindo assim atrito excessivo. Destes sintomas deduziu-se que o sistema de impulsão de mercúrio não estava a fornecer o acréscimo de altura conveniente. Atuando lentamente os alimentadores dos cilindros hidráulicos no sentido de afastar o Eixo das munhoneiras, este permaneceu imóvel. Inspecionando os cilindros por baixo do soalho percebe-se que o mercúrio que se estava a adicionar, estava na realidade a formar pequenos aglomerados na região dos bocais de purga e sobre as faixas de contraplacado do topo do tanque que protegem o óleo de contaminantes como poeira que cai naturalmente do soalho. Removendo as faixas de proteção descobriu-se uma quantidade imensa de mercúrio no fundo do tanque formando longas manchas brilhantes, perfeitamente visíveis através do óleo translúcido.

A remoção do mercúrio das zonas secas fez-se com cuidado usando seringas de alimentação nos aglomerados maiores e, pedaços de papel e pincel, no caso das gotículas dispersas. O mercúrio recolhido foi vertido em frascos de plástico. Como medida de isolamento contra evaporação, em cada frasco acrescentou-se o dobro do volume de mercúrio em água. O material usado na recolha foi reservado num contentor de plástico em que o material ficou totalmente coberto com água. Durante o trabalho procurou-se ainda perceber que quantidade de mercúrio havia dentro dos cilindros. Ao pressionar ligeiramente um dos êmbolos para baixo, a reação no bocal foi imediata começando este logo a pingar.

Nesta fase do trabalho havia uma certa dificuldade em debater o tema do mercúrio. Não se sabia como lidar com ele nem se seria viável substituí-lo por outro sistema. A primeira reação foi, pois, tentar aperfeiçoar as ligações entre as mangueiras e os bocais dos cilindros no sentido de evitar que as fugas continuassem.

A mangueira de purga liga-se ao interior da câmara do cilindro hidráulico por um bocal de aço inoxidável roscado na parede do cilindro. O corpo do bocal contem duas estrias formando rasgos superficiais para que a mangueira aí montada vedasse convenientemente através de uma simples abraçadeira metálica. Quando o bocal foi desmontado pela primeira vez, os rasgos estavam repletos de um pó preto, o óxido de mercúrio. Também a mangueira se apresentava em muito mau estado, mas mesmo a sua substituição não foi suficiente para evitar a fuga. Desde que o CME foi desativado, por volta de 1990, o mercúrio deve ter-se escapado e depositado gradualmente no fundo do tanque até que o Eixo pousou completamente nas munhoneiras tal como foi encontrado. Em retrospetiva, o autor suspeita que a ligação da mangueira nunca terá sido perfeita, e que a fuga terá sido uma constante. Para o sistema de impulsão funcionar e para fazer face às perdas, mais mercúrio teria de ser adicionado periodicamente o que justifica a existência no Observatório de frascos de ferro fundido de reserva cheios de mercúrio.

O trabalho de melhoramento das ligações entre as mangueiras e os bocais de purga revelou-se infrutífero devido à elevada capilaridade do mercúrio. No entanto, chegados a um ponto em que se conseguia conter o mercúrio remanescente dentro das câmaras, optou-se por enveredar por uma solução temporária que permitisse rodar o eixo por ação do pinhão motor. Isto foi conseguido através da montagem de um conjunto

de uns pequenos cilindros de aço com apenas 8 mm de altura entre a tampa dos cilindros hidráulicos e a base do dispositivo de suspensão, imitando a acréscimo de altura que devia ser produzido pelo mercúrio. Os pequenos calços subiam os anéis de suspensão até um ponto tal que as correntes ficavam tensas e o pinhão já não saltava do engrenamento. Esta foi a forma encontrada na altura para que os testes no mecanismo de transmissão do CME pudessem continuar que conduziram à abertura do CME ao público.

Durante 70 anos, formou-se uma espécie de lama castanha no fundo do tanque resultante da mistura de depósitos de óleo, restos de tinta da pintura, óxidos de mercúrio e produtos da reação entre os três. Ainda que se considerasse que a evaporação do mercúrio fosse pouco provável também as propriedades lubrificantes do óleo se tinham degradado. Por forma a proteger as bases por mais 70 anos optou-se pela substituição completa do óleo e limpeza dos tanques. Baseado no modelo SolidWorks® estimou-se que existissem 700 litros de óleo no tanque. Recolheu-se uma amostra que foi analisada no INEGI[10] tendo os resultados mostrado um índice de viscosidade de 94, correspondendo ao óleo comercial ISO VG 10. Com esta referência fez-se uma encomenda à FUCHS da mesma quantidade.

A limpeza das bases do tanque iniciou-se em 2012. Na altura debateu-se a possibilidade de desmontar as bases com uma grua para se obter uma limpeza mais eficaz. No entanto, a grua teria de estacionar do lado de fora do abrigo e operar a 10 metros do local com uma largura livre limitada pelas portadas. Além disso, as partes pesadas teriam de ser removidas por cima de um dos colimadores. Parecendo desnecessário correr tal risco, optou-se por lavar o tanque sem desmontar as bases. Esta abordagem pouco prática trouxe algumas vantagens que não se conseguiam prever.

Para armazenar o óleo velho, inicialmente usaram-se garrafões de 5 litros reaproveitados de restaurante vizinho. Dada a grande quantidade de garrafões necessária, posteriormente compraram-se bidões de 65 litros. Com ainda algum óleo no tanque, a base de altura foi movida para cima e para baixo repetidamente ao encontro das posições extremas para remover o lixo presente na cunha que o move. Quando não era possível remover mais óleo, passou-se à remoção das lamas. As lamas e o mercúrio

[10] Agradece-se a B. Graça e J. Seabra pelo apoio prestado.

foram removidos manualmente, com luvas de nitrilo, respirador com filtros adequados para mercúrio e a cúpula totalmente aberta para haver circulação de ar no abrigo. As lamas recolhidas foram depositadas em frascos de plástico e cobertas com dois terços de água. No total recuperaram-se meio litro de mercúrio, 7 litros de lamas, 3 litros de óleo e 2 litros de água castanha, além dos 700 litros de óleo velho. Fez-se uma decantação no local pois a reciclagem das diferentes massas tem diferentes preços. Posteriormente uma empresa certificada recolheu os materiais e levou-os para reciclagem.

Para lavar o tanque utilizou-se um compressor para espalhar petróleo iluminante nas zonas inacessíveis procurando não atingir superfícies de contacto como os mecanismos de movimentação nos quais o lixo se poderia infiltrar. Usaram-se 10 litros de petróleo iluminante que foi recolhido usando desperdício e deixou-se secar. O tanque limpo voltou a ser cheio com 700 litros de óleo novo – a operação foi gravada e pode ser visualizada no Youtube pelo link em rodapé[11]. Para este propósito a Faculdade de Engenharia UP cedeu uma unidade hidráulica móvel. O autor gostaria de agradecer à Secção de Hidráulica e ao Professor Francisco Freitas pela cedência tão generosa.

Em 2014, uma análise química preliminar à água condensada num dos desumidificadores presentes no abrigo revelou níveis de mercúrio um pouco acima do limite de deteção do método. Por forma a perceber se se tratava de um falso positivo, i. é, se de facto havia mercúrio a evaporar implementou-se um estudo à qualidade do ar. Foi realizado um conjunto de testes de diferentes durações: um de 5 horas, um de 24, um de 48 e outro de 72 horas, usando um dispositivo laboratorial dedicado. O de 5 horas revelou quantidades de mercúrio próximas do limite de deteção. Os testes de 24 e 48 horas resultaram em praticamente no mesmo valor, mas o de 72 horas revelou uma quantidade de 37 μm^3 de mercúrio por m^3 de ar húmido, ou seja, apenas 3 $\mu m^3/m^3$ abaixo do limite legal. Os ensaios foram realizados em maio e, segundo o registo térmico, os dias relativos aos ensaios foram ficando cada vez mais quentes favorecendo a evaporação, justificando também a semelhança nos dois ensaios intermédios e aumento no mais longo. A amostragem é muito simples e consiste no bombeamento do ar ambiente para um vaso de vidro por um determinado período. A água é depois analisada por calorimetria. Os resultados mostraram que mesmo estando o mercúrio

[11] https://www.youtube.com/watch?v=PnsbscgK8oE

encapsulado dentro dos cilindros hidráulicos, o seu isolamento não era suficiente para prevenir a sua evaporação quando sujeito a temperaturas da ordem dos 30-35 °C habituais num dia de Verão dentro da cúpula. Como consequência tomaram-se medidas para a sua remoção definitiva.

As operações começaram em 2016 e a primeira tarefa consistiu em drenar todo o mercúrio dos cilindros hidráulicos pela mangueira de purga (Figura 35). O mercúrio recolhido foi depositado em frascos com água e selados.



Figura 35: Esq. - O conjunto central do espelho. O acesso à mangueira de purga faz-se removendo o painel de contraplacado central. Dir. – Os pistões ocos do dispositivo de impulsão foram removidos e depositados num contentor com água que evita a evaporação do mercúrio que se lhe encontrava agarrado. Depois foram levemente escovados e banhados com água para fixar os óxidos que se depositariam no contentor.

O modelo tridimensional obtido dos desenhos antigos (Figura 36) indica que entre o bocal de purga e o fundo dos cilindros hidráulicos distam 55 mm. Com um diâmetro interior de 176 mm existia um volume combinado de pelo menos 2,67 litros de mercúrio remanescente. Além deste, havia ainda mercúrio nas mangueiras que se encontravam cheias.

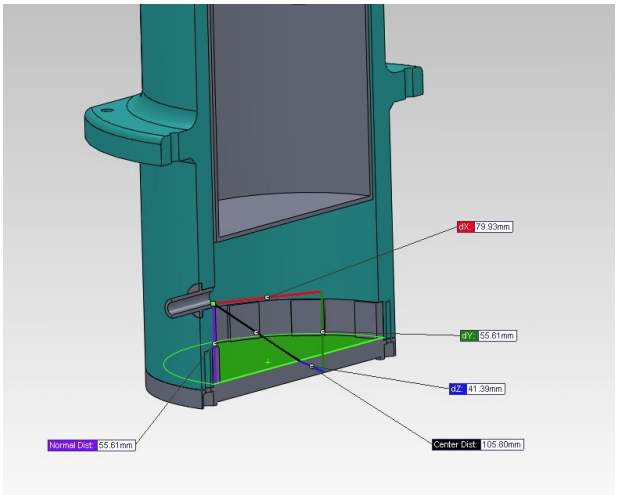


Figura 36: Fundo de um cilindro hidráulico.

A remoção dos cilindros da base onde se encontravam foi impossibilitada por não se conseguirem desapertar alguns dos parafusos. Em condições normais ter-se-ia recorrido ao seu aquecimento com tocha, mas dadas as circunstâncias esse método foi posto de parte e optou-se pela realização do trabalho *in situ*.

Os cilindros hidráulicos são peças de ferro obtidos por fundição e têm uma altura de 727 mm, que é maior do que o comprimento do braço do autor. Para evitar ter de trabalhar com a cara encostada à boca do cilindro, optou-se por adaptar um aspirador velho para este efeito. A aspiração do mercúrio por meios mecânicos é em geral desaconselhada por fomentar a sua evaporação e a dispersão dos óxidos para o ambiente. Para minimizar o dano potencial, o depósito do aspirador foi preenchido com água até metade da capacidade para captar imediatamente os óxidos à sua entrada. Para minimizar o risco de inalação dos vapores e dos óxidos de mercúrio usou-se um respirador Climax, modelo 756 com filtro gémeo HgP3. As operações foram realizadas à noite com a cúpula aberta.

Para a extração do mercúrio fabricou-se um bocal em nylon para a extremidade da mangueira do aspirador cuja entrada tinha apenas 2 mm de diâmetro de modo a produzir uma pressão muito baixa e assim aumentar o poder de captação. O mercúrio recolhido foi depositado em vinte frascos de pescoço estreito (Kartell model 1601) de 500 mL, seguindo o mesmo esquema descrito anteriormente – um terço de mercúrio puro, dois terços de água.

Depois de remover o mercúrio puro, removeram-se os óxidos de mercúrio das paredes interiores dos cilindros, dos alimentadores e dos canais de alimentação usando água e escovilhões de plástico. Como o ferro não forma amálgama com o mercúrio não havia risco de evaporações potenciais além daquelas provenientes dos resíduos existentes à superfície. No final, todas as superfícies interiores foram polvilhadas com enxofre que lentamente forma amálgama com o mercúrio precipitando num sal. Um mês depois os sais foram aspirados e depositou-se novamente outra camada generosa de enxofre no fundo do tanque que servirá como tampão para o futuro.

Ao todo foram removidos 7 litros de mercúrio que foram enviados para a Alemanha, através dos serviços da Faculdade, a fim de ser reciclado. O processo de remoção do mercúrio e limpeza do instrumento tardou em chegar em parte associado à responsabilidade que o seu manuseamento requer e também à falta de alternativas.

O Círculo Meridiano de Espelho foi todo pintado de azul, com uma tinta epóxi, tendo levado primário nas zonas onde a corrosão se manifestava.

3.3 Intervenção no abrigo

Depois dos trabalhos com o óleo e o mercúrio ficarem concluídos, procedeu-se à substituição do soalho que se apresentava bastante degradado fruto da humidade depositada ao longo de décadas. O soalho de madeira do CME foi substituído por um novo, preparado para nele conter caixas de pavimento com tomadas de energia e de rede.



Figura 37: O novo soalho de pinho tratado com uma caixa de pavimento equipada com tomadas monofásicas e de rede. Nesta foto podemos ver um dos primeiros desumidificadores utilizados no abrigo do CME.

A remoção do soalho antigo revelaria mais mercúrio espalhado na fundação de pedra que foi cuidadosamente removido. Na superfície superior da fundação, paralela ao soalho, instalaram-se novos circuitos de energia trifásica e monofásica, rede, iluminação e controlo do instrumento num esquema de tubos corrugados e diversas caixas de derivação. Entre o topo da fundação e as vigas estruturais do soalho apenas existe espaço suficiente para uma pessoa trabalhar deitada. O controlador do instrumento passou a estar localizado num alçapão à frente do colimador sul que mais tarde seria coberto por uma placa de acrílico para que os visitantes o pudessem ver. Por forma a que os visitantes pudessem ver a fundação de pedra e a galeria em torno dela foi aberta uma janela no soalho coberta com uma placa de policarbonato compacto transparente. Esta janela encontra-se no canto sudeste da sala (Figura 38).

A remoção do soalho revelou a sua estrutura de suporte que composta por vigas formam uma malha que se encontra encastrada nas paredes e que nunca tocam na fundação. Desta forma, a vibração induzida pelos passos dos astrónomos não prejudica o alinhamento sensível do instrumento. No decurso dos trabalhos algumas vigas foram reforçadas, principalmente na ligação às paredes. O soalho também é parte integrante da proteção antichoque pois é nele que desaguam as vibrações das forras de madeira que revestem os pilares. A diferença de espessura entre o soalho antigo de 22 mm e o soalho novo de 15 mm constitui um erro na recuperação funcional que o autor não conseguiu prever. Para corrigir a folga, as bases das forras terão de ser preenchidas com frisos de madeira que as elevarão na medida correspondente.



Figura 38: Abertura no soalho sobre a galeria subterrânea (esquerda) e vista global do travejamento de suporte do soalho (direita).

A cúpula do CME tem um problema histórico de estanquicidade que era conhecido desde o início dos trabalhos. Aliás um dos sinais mais importantes de degradação prendia-se exatamente com a quantidade de água encontrada dentro do quadro elétrico que no Inverno de 2011 escorria pelas paredes interiores abaixo. Usando uma grua fez-se uma avaliação global da pele exterior da cúpula. Verificou-se que a maior parte dos rebites que deviam prender as chapas umas às outras já não existiam. Os rebites foram repostos e em cada um foi aplicada uma camada generosa de Soudal “Cola e Veda”, bem como ao longo das juntas de sobreposição entre as chapas de alumínio zincado que constituem o revestimento. Ainda que desta forma se evite que a chuva entre no abrigo, esta medida não foi suficiente para evitar o aparecimento de água no soalho.



Figura 39: Impermeabilização da cúpula, onde se podem observar os cordões de silicone nas juntas entre chapas.

Na região central, a cúpula mede 7 metros de altura e a estratificação do ar húmido interior que entra pelas frinchas existentes a Norte e a Sul entre as portadas e o murete, produz condensações nas posições mais elevadas quando o ar húmido contacta com as chapas frias. A água condensada acaba por escorrer pela cúpula verificando-se o seu gotejamento nas zonas mais periféricas do soalho. No sentido de prevenir a entrada de ar húmido instalaram-se duas cortinas de borracha, uma de cada lado do abrigo, que permitem simultaneamente o normal funcionamento das portadas. Por outro lado, instalou-se um potente desumidificador de higrómetro regulável e purga para o esgoto existente nas fundações. Este liga-se automaticamente quando a humidade relativa sobe acima dos 50%.

3.4 Intervenção Elétrica

Toda a instalação elétrica do edifício foi substituída. Na fase inicial foi montado um quadro de obra que foi usado durante 3 anos tendo-se mais tarde adquirido um quadro novo de caráter permanente (Figura 40).



Figura 40: Quadro elétrico instalado na recuperação do C.M.E.

Este quadro suporta os seguintes circuitos, que se podem consultar nos esquemas em apêndice (Apêndice I):

- Iluminação interior composta por 6 projetores de iodetos de tungsténio,
- Iluminação exterior composta por 4 projetores com detetores de movimento,
- Iluminação da galeria subterrânea,
- Alimentação monofásica e trifásica a tomadas e instrumentos
- Comando e fins de curso das portadas,
- Alimentação da bomba de vácuo do Espelho,
- Comando dos aparelhos de ventilação,
- Alimentação do dispositivo de inversão,
- Alimentação do circuito de controlo do instrumento.

Procurou-se incluir os sistemas eletrónicos antigos reutilizados no circuito de controlo moderno. O circuito de controlo do instrumento articula a informação analógica dos comandos com a tecnologia digital de motorização através dum conversor analógico-digital construído para o efeito. O computador que centraliza esta informação

encontra-se numa caixa de pavimento entre o Espelho e o Colimador Norte (Figura 41), coberto por uma placa de acrílico para os visitantes o poderem ver.



Figura 41:Central de controlo do Círculo Meridiano de Espelho

No total foram usados cerca de 2 quilómetros de cabo para construir o novo circuito elétrico do Círculo Meridiano de Espelho.

3.5 Restauro Funcional

3.5.1 Intervenção sobre o sistema de pontaria

O sistema de pontaria encontrado no CME é bastante diferente daquele descrito na memória descritiva do instrumento. Tal acontece porque o sistema de pontaria original foi sendo melhorado ao longo dos anos. O facto deste sistema ter servido de base ao sistema de pontaria que se desenvolveu no âmbito deste projeto justifica a sua descrição tanto dos equipamentos usados como da filosofia de funcionamento.

O sistema de controlo automático de pontaria encontrado no CME consiste num servomecanismo baseado na tecnologia *Synchro*. Os *synchros* usados no CME foram fabricados pela empresa inglesa Muirhead. Desenvolvida nos EUA, esta tecnologia foi muito utilizada na Segunda Guerra Mundial em aplicações navais devido ao seu baixo consumo de energia e elevada precisão a longas distâncias, por exemplo, entre a cabine de comando e as antiaéreas montadas no convés de um navio de guerra. Os *Synchros* são conhecidos na Europa por “Magslips”[12] pelo facto da ligação entre rotor e estator se fazer através de um anel coletor magnético. Atualmente, esta tecnologia está quase

[12] Morfema de “magnetic” com “slip ring” – anel através do qual as escovas do estator se ligam ao rotor.

reservada a aplicações aeronáuticas e de defesa tendo prevalecido a designação americana de "*Synchro*". Desde os anos 1950, a nomenclatura dos *synchros* manteve-se praticamente inalterada a menos de um elemento em particular, basilar ao sistema em questão: os transmissores de binário de coincidência. Quando os *synchros* são usados para transmitir a diferença angular entre uma posição atual e uma posição pretendida, por exemplo, no reposicionamento do espelho entre duas observações, na denominação moderna são chamados de transmissores diferenciais enquanto na denominação antiga chamavam-se transmissores de coincidência. (Servotronic, 1951)

Enquanto elementos de um circuito elétrico, os *synchros* são transformadores de acoplamento variável que ao induzirem uma corrente entre um elemento transmissor e um elemento recetor faz com que estes rodem sincronizadamente. De acordo com um panfleto da Servotronic (1951), o servomecanismo base usando *synchros* é composto por três elementos:

- Um dispositivo que deteta o erro entre o estado regulado de um sistema e o estado desejado.
- Um amplificador.
- Um dispositivo de ajuste do sistema que anule o erro.

Do ponto de vista funcional, os *synchros* são transdutores eletromecânicos analógicos através dos quais se realiza a comunicação entre os dois comandos periféricos, um em cada posto de observação, a unidade de controlo que deteta o erro angular entre a posição atual e a pretendida e a unidade motora central que ajusta o sistema anulando o erro.

Dependendo se convertem energia elétrica em energia cinética ou vice-versa, os *synchros* têm designações diferentes. No respeitante ao seu lugar no processo comunicativo, quando os enrolamentos do rotor pelo seu movimento induzem electromagneticamente uma corrente no estator, um *synchro* designa-se por recetor. Quando o estator é alimentado por uma tensão exterior e excita os enrolamentos do rotor, o *synchro* designa-se por transmissor. Além desta categorização, os *synchros* podem ainda ser distinguidos quanto à sua função mecânica: os de binário, preparados para que sobre eles ou a partir deles se produza uma carga mecânica, e os de controlo destinados a receber ou a produzir um sinal elétrico. Os *synchros* transmissores de

controlo são designados por transformadores de controlo e todos os sistemas com amplificadores os usam. (Bomar et al., 1997). O CME é um destes casos.

3.5.1.1 Funcionamento do sistema original

O sistema de pontaria antigo encontra-se esquematizado na Figura 42. O sistema funcionava a 50 V com uma frequência de 50 Hz.

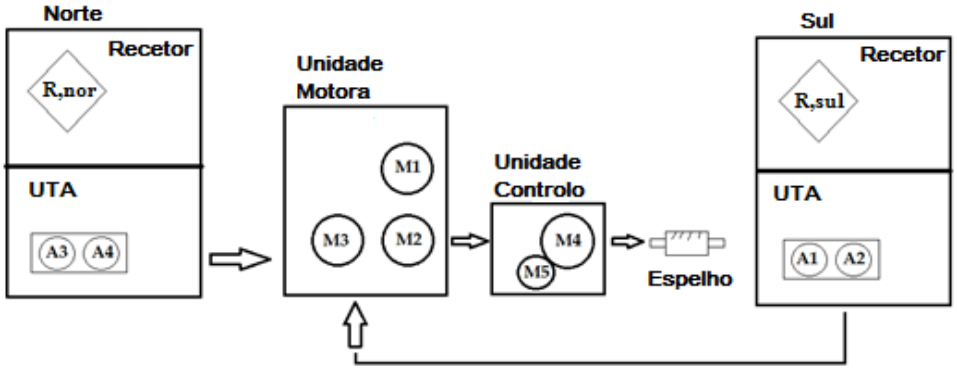


Figura 42: Diagrama do sistema de pontaria baseado na tecnologia *Synchros*.

A unidade motora encontra-se chumbada ao pilar de pedra que suporta o colimador axial oeste e consiste numa caixa redutora de 4 andares (Cat. MG021 Modelo R) na qual estão montados o *synchro* responsável pelo ajuste grosseiro da posição do Eixo (M1), o motor de indução (M2) e um tacómetro (M3). Num estágio intermédio da cadeia cinemática, dentro do suporte da munhoneira Oeste, encontra-se a parte da unidade de controlo responsável pelo ajuste fino (M5) e pela leitura da inclinação do Eixo (M4) a ser enviada aos mecanismos de seguimento Norte e Sul. No estágio final existe o pinhão motor que engrena a roda dentada de alumínio solidária com o Eixo (Figura 42).

Nos postos de observação o astrónomo tem ao seu dispor uma Unidade de Transmissão do Alvo ("Bearing Transmitter Unit" - Cat. No. MG001)[13] formado por um par de manípulos rotativos, um associado ao ajuste macrométrico e outro ao ajuste micrométrico do Eixo, que definem a inclinação desejada do espelho. Cada manípulo de comando encontra-se rigidamente ligado a um Transmissor Magslip Mk1 de 2''

[13] Neste trabalho as entradas de catálogo referem-se ao "Magslip Data Catalogue" compilado entre 1953 e 1958, disponível no Anexo I.

(modelo AP6550; OS. 614A; pg. catálogo M.D.4): A1 a A4 na Figura 42. Os manípulos associados aos transmissores encontram-se relacionados mecanicamente entre si por forma a que cada volta do comando micrométrico (A2 e A4) corresponda a 1° no comando macrométrico (A1 e A3).



Figura 43: No canto superior esquerdo podemos ver a unidade motora com os amplificadores de potência por baixo. Na foto inferior encontramos a unidade de ajuste fino montada dentro do suporte da munhoneira oeste. Nas duas fotos da direita vemos a última fase da cadeia cinemática com o pinhão a engrenar numa das rodas dentadas de alumínio.

Regulando a amplitude desejada nos transmissores Ax, gera-se um desequilíbrio de tensão com os transmissores de coincidência a controlar (TXs de coincidência, M1 e M5). O elemento M1 montado no estágio redutor principal é um Magslip Transmissor de Coincidência de 3'' (modelo AP10747) responsável pelos movimentos grosseiros (macrométricos) e M5, localizado dentro do suporte da munhoneira oeste é um Magslip Transmissor de Coincidência de 2'' (modelo AP10682) responsável pelo ajuste fino. A tensão correspondente ao erro a 50 Hz, derivado dos *Magslips* de 2'' e de 3'' quando existe um desalinhamento entre os transmissores Ax dos postos de observação e os Transmissores de Coincidência M1 e M5, gera, depois de convenientemente amplificado, a fase de controlo do motor M2 (modelo AP 10743). O motor M2 é um motor

monofásico de indução de 15 W. O feedback de estabilização é gerado pelo tacómetro M3 ligado a M2. M3 é um gerador de indução (modelo AP10877).



Figura 44: Posição dos *synchros* nas costas da caixa redutora.

A princípio corrige-se o desequilíbrio de tensão entre os transmissores de ajuste grosseiro. Quando se atinge um limiar de erro, o desequilíbrio entre os transmissores de ajuste fino é introduzido automaticamente no amplificador de controlo a fim de ser corrigido, sendo o sinal de erro grande substituído pelo movimento lento de M2. O amplificador operacional é constituído por um pêntodo EF36 que funciona como estágio pré-amplificador e um filtro RC do tipo 807 ligado ao estágio de saída que alimenta a fase de controlo do servo-motor M2 através de um transformador.

No amplificador de controlo, o canal correspondente ao Transmissor de Coincidência M1 é comutado automaticamente à entrada e substituído pelo sinal associado ao erro fino através de um relé alimentado por um tríodo 6J5 cuja grelha potencial é regida pela magnitude do sinal associado ao erro grosseiro e retificado por um díodo duplo EB34. O tacómetro que era utilizado para gerar um sinal proporcional à velocidade angular do Eixo, também servia para evitar, ou pelo menos minimizar, o *overshoot* devido à inércia do Eixo em rotação quando este se encontrava próximo da posição pretendida.

3.5.1.2 Micrómetro Impessoal

O mecanismo de seguimento das estrelas (Figura 45) baseia-se num integrador mecânico do tipo disco e esfera, com duas entradas e uma saída. Uma das entradas é relativa à velocidade sideral, sendo esta produzida por um motor síncrono que faz rodar um disco de carboneto de tungsténio a uma frequência muito precisa. Inicialmente,

quando a corrente no observatório ainda era instável chegou a haver dois motores: um, trifásico de grande binário, destinado ao arranque e outro, monofásico, destinado ao fornecimento da velocidade precisa, que era, por sua vez, alimentado pelo oscilador existente no armário adjacente ao posto de observação. Os motores encontravam-se ligados entre si por uma correia. Mais tarde, estes dois motores foram substituídos por apenas um, capaz de produzir as duas funções em simultâneo.

Com a pontaria realizada, gera-se um novo desequilíbrio de tensão entre o transmissor M4 e os *synchros* montados nos postos de observação destinados à reprodução na inclinação do espelho. Associados aos micrómetros registadores dos postos de observação, os mecanismos de seguimento substituem o observador na tarefa de seguir a estrela durante o período do trânsito que pode durar até 90 segundos. Projetado para o registo fotográfico das observações meridianas que nunca chegou a existir no CME, o mecanismo de seguimento transforma o micrómetro registador num micrómetro impessoal. A outra entrada do integrador corresponde à inclinação do espelho que é obtida por recetores *synchros* SY-L (Modelo AP 10637), R_{Sul} e R_{Nor} , que respondem quase instantaneamente ao desequilíbrio criado pelo transmissor M4 do mesmo modelo, posicionando a carruagem de esferas em relação ao centro do disco, numa distância proporcional à diferença de tensão.

Contactando com as esferas superiores da carruagem encontra-se o veio de saída, cuja velocidade angular resulta do produto entre a velocidade sideral e a distância a que a carruagem de esferas se encontra do centro do disco. Quando as estrelas a observar se encontram perto do polo celeste, a sua velocidade aparente no micrómetro é mínima o que significa que a carruagem das esferas irá tomar uma posição próxima do centro do disco. Isto é concordante com a perceção que temos de que a estrela polar não se move no céu. Pelo contrário, quando as estrelas têm declinações próximas dos 0°, isto é, quando se encontram próximas do equador celeste, a sua velocidade aparente é praticamente igual à velocidade sideral. Ao observar estrelas nesta posição a velocidade do carro do micrómetro terá de ser máxima, o que implica que se posicione a carruagem das esferas do integrador numa posição mais afastada do centro do disco, calibrada para que a velocidade de saída seja igual à velocidade sideral e não superior.

Por forma a seguir corretamente uma estrela, o mecanismo de seguimento tem de fornecer ao micrómetro impessoal, além da magnitude da velocidade aparente,

também o sentido correto do movimento. Enquanto na porção Sul do meridiano, todas as estrelas têm movimentos aparentes no mesmo sentido, de este para oeste, na porção norte do meridiano entre o horizonte e o polo, as estrelas parecem mover-se de oeste para este, enquanto as localizadas entre o polo e o zénite têm movimentos aparentes no sentido contrário. Esta diferença do sentido de rotação é produzida no mecanismo de seguimento de forma engenhosa. No primeiro engrenamento do pinhão dos recetores, a roda dentada que sobressai da parede do mecanismo contém uma pista circunferencial em alto relevo, maquinado de acordo com a latitude do observador. Ao atuar um contacto elétrico devidamente posicionado o sentido de rotação do motor de velocidade sideral é comutado. Pela razão já mencionada, no mecanismo do Sul este alto relevo não existe.

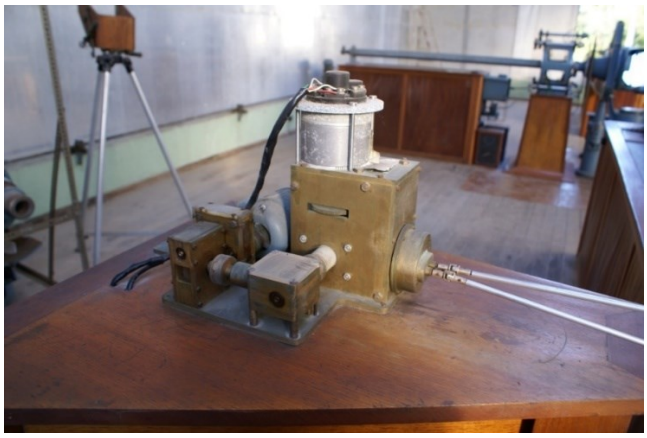


Figura 45: Mecanismo de seguimento da estrela com o recetor montado no topo da caixa diferencial.

A observação astronómica no CME baseia-se na reflexão da imagem das estrelas produzida no espelho central e por este motivo, cada sessão de observação exige um trabalho preparatório de filtragem do conjunto de estrelas que se poderão observar no posto de observação mais conveniente. No entanto, para a região do céu compreendida num círculo de distâncias zenitais até 9°, as estrelas são visíveis a partir de qualquer um dos colimadores. Na prática, os limites de inclinação do espelho, tanto a norte como a sul, são determinados pela altura da copa das árvores, a que corresponde uma inclinação mínima de aproximadamente 6°.

3.5.1.3 Novo sistema de pontaria

Reconhecendo que o estado da cadeia de transmissão não permitia por si só um posicionamento do espelho, nem preciso nem repetitivo, produziu-se a ideia de que,

mais cedo ou mais tarde, seria necessário criar um sistema de controlo da posição do espelho introduzindo um *encoder* que forneceria feedback, tornando o sistema automático. No entanto, havia a vontade de, por um lado, conservar a possibilidade de comandar o espelho usando os manípulos analógicos (Ax) e fazer andar o carro do micrómetro usando o mecanismo de seguimento recriando uma experiência mais consonante com a época em que o instrumento fora construído; e, por outro, comandar o instrumento através do computador, usando para o efeito um planetário virtual.

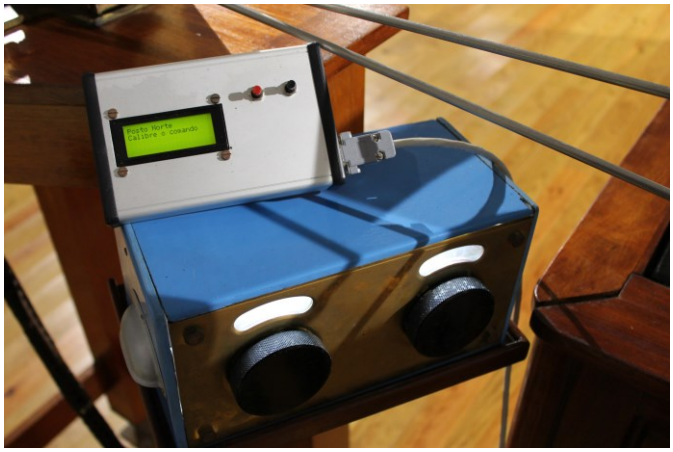


Figura 46: Solução intermédia de comando do espelho. Atuando os manípulos introduzia-se o ângulo no mostrador digital. Pressionando o botão vermelho enviava-se a ordem ao controlador que fazia o Eixo rodar. Esta solução foi abandonada quando se tornou possível comandar o Eixo pelo computador.

O processo da migração da base tecnológica a que o CME foi sujeito não é justificável sob uma pretensa obsolescência dos *synchros* como tecnologia, pois estes continuam a ser usados em aplicações da indústria naval, aeronaval e de defesa. Foi antes o estado de degradação em que estes elementos se encontravam aliado à intenção de conservar parte do sistema analógico, que conduziu à criação de dois sistemas de comando separados que se servem do mesmo sistema de controlo de base digital: um à base de *synchros*, cuja ordem é enviada ao controlador mediada por um conversor analógico-digital, e outro tendo por base elementos digitais cuja comunicação se faz diretamente.

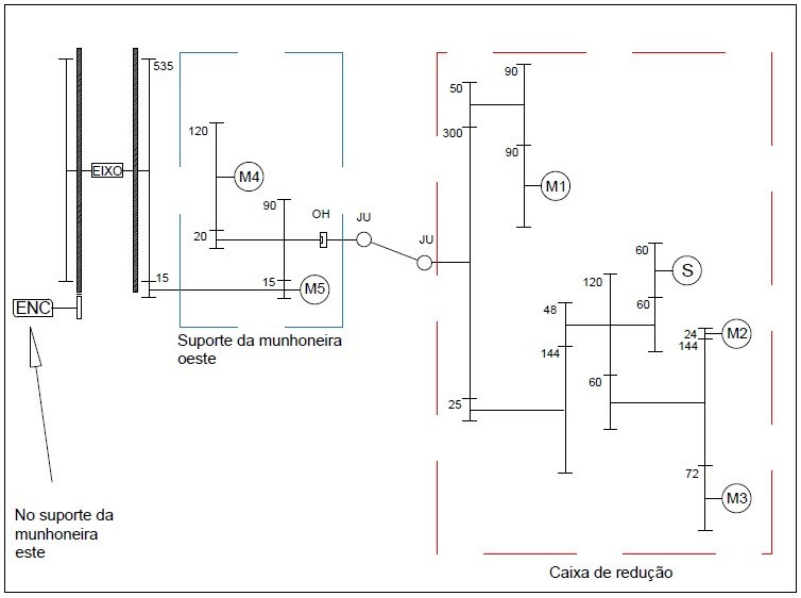


Figura 47: Diagrama mecânico da cadeia cinemática e do sistema controlo automático antigo e o novo. O sistema novo engloba o (ENC) – *encoder* e o (S) – motor de passo.

Durante a fase de recuperação, o motor M2 tinha sido desligado e na cavidade vaga ao lado de M1 (Figura 44) tinha sido montado um motor de passo[14], de binário e velocidade concordantes com a nova razão de transmissão. A razão de transmissão original do sistema de 360:1 passou a ser de 30:1. Na fase anterior, tinha sido também criada a referência de calibração assumindo que mais tarde se determinaria a que elevação exata essa posição correspondia. Durante os testes preliminares concluiu-se que a cada volta do espelho correspondiam 1728 voltas do rotor do motor. Porém, este rácio só é válido para voltas completas. As folgas nos engrenamentos, particularmente entre o pinhão e a roda dentada grande, correspondem a 11 passos de motor. A existência da folga é percetível durante mudanças no sentido de rotação em que o motor anda, mas o Eixo não se mexe. Este é um valor médio que reflete o facto de haver porções perimetrais das rodas dentadas que se encontram mais desgastadas do que outras, facto que evidencia a necessidade de montar um *encoder* que permite controlar a posição do Eixo independentemente das falhas ao nível da cadeia cinemática.

[14] Sanyo Sanmotion F Type: DB22M162S-01



Figura 48: O encoder do CME montado no seu suporte.

O sistema em anel aberto tal como foi concebido antes da introdução do *encoder*, caracterizava-se por uma baixa repetibilidade, verificada por autocolimação a partir dos colimadores de observação. Com o *encoder* digital, a posição desejada e a posição real passam a poder ser comparadas no controlador que atribui ao motor um número de passos correspondente à diferença angular calculada a 300 kHz até que essa diferença se anule. A leitura pelo novo *encoder*[15] faz-se por intermédio de uma roda de medição[16] com um piso exterior macio para que não escorregue quando fica em contacto com o aço (Figura 48). Para que a roda de medição esteja sempre em contacto com o limbo, o *encoder* encontra-se montado numa carruagem com guiamentos verticais e molas de curso regulável. Para maximizar a resolução do sistema de controlo, o *encoder* foi montado por forma a conseguir ler a posição angular da peça com maior diâmetro solidária com o Eixo, ou seja, os limbos. Usando o diâmetro do limbo e o diâmetro da roda medidora, selecionou-se um *encoder* de resolução tal que fosse capaz de medir pelo menos o deslocamento angular do limbo correspondente a um passo do motor, ou seja, 3,75 segundos de arco. Como já tínhamos definido uma posição de referência, escolheu-se um *encoder* incremental com uma resolução fixada nos 32768 pontos por volta. Assim, a cada volta do Eixo o *encoder* regista 351723 pontos de onde resulta uma resolução máxima de 3,68 segundos de arco.

[15] Baumer G0355
[16] Baumer MR752.10D

Esta forma de restauro funcional que conserva simultaneamente a estética do instrumento e a funcionalidade dos elementos que para ela contribuem, seguiu uma linha condutora, algo flexível, no que diz respeito à forma como se deixam ver elementos modernos ou se os esconde. Naqueles mecanismos, que pelo seu tamanho ou posição a aparência clássica é vantajosa, optou-se por conservá-los recuperando os componentes analógicos neles presentes, convertendo o sinal de alimentação para analógico, localmente. São exemplos, o comando analógico do espelho ou o mecanismo de seguimento onde o Recetor SY-L se encontra à vista. Naqueles casos em que é impossível disfarçar a presença de elementos modernos, estranhos à época em que o instrumento foi construído, optou-se por mostrá-los com um design assumidamente vanguardista, como é exemplo, o mostrador para apresentação da hora (Figura 49).

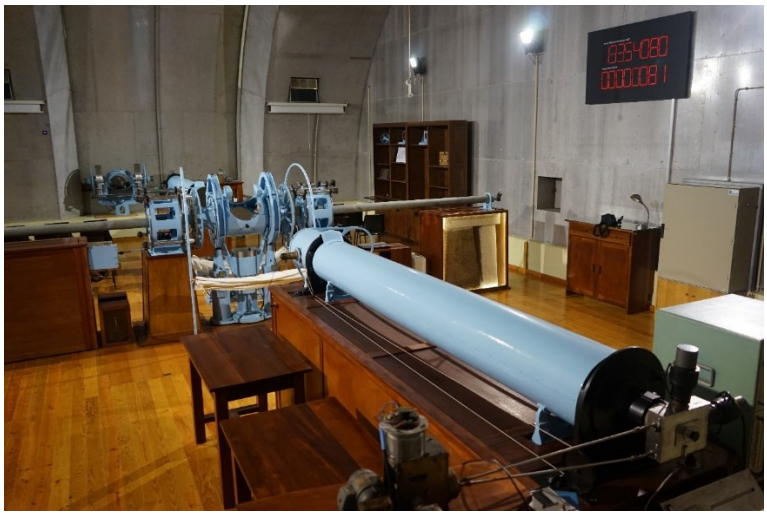


Figura 49:Painel eletrónico para indicação da hora.

Noutras situações em que há o desejo de mostrar ao público a tecnologia envolvida como são os casos específicos da caixa de controlo do instrumento, também chamado o “cérebro” do instrumento, localizada debaixo do soalho ou a unidade motora do Eixo, as suas proteções originais, de madeira ou de chapa de ferro, respetivamente, foram substituídas por acrílicos transparentes.



Figura 50: Unidade motora do eixo coberta com acrílico transparente para evidenciar a presença dos synchros antigos que funcionam em conjugação com o motor de passo moderno.

3.5.1.4 Calibração do novo sistema de pontaria

O *encoder* incremental, pela sua natureza de operação, requer uma referência que permita a sua calibração de cada vez que o sistema reinicia. A solução encontrada passou pela montagem de um sensor de infravermelhos, do lado oposto ao do *encoder*, fixado por baixo do pinhão, na linha de vista da escala dos limbos. Aí foi desenhado um traço na direção radial correspondente à posição que o Eixo toma quando o espelho se encontra voltado para o zénite. Ao reconhecer a marca, o sensor dá ordem ao controlador para que pare o motor realizando-se assim a calibração do sistema de pontaria.

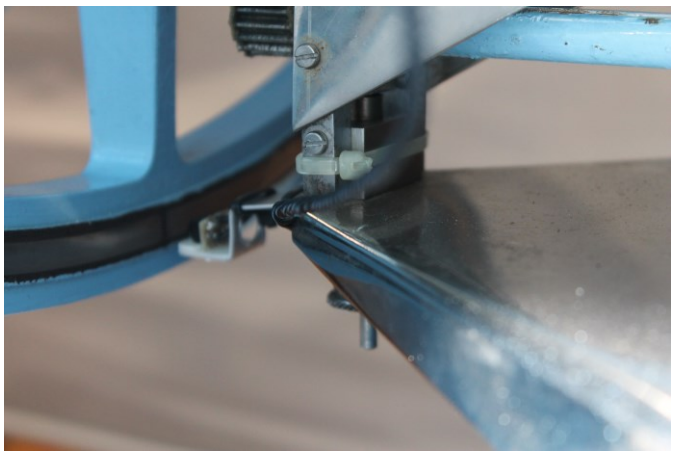


Figura 51: Detetor ótico montado por baixo do pinhão motor.

Ainda que não seja importante que o espelho aponte exatamente para o zénite, é crucial que quando calibrado, o espelho aponte sempre para o mesmo lugar no céu. Para determinar o pequeno ângulo de desalinhamento que a normal ao espelho faz com a vertical, que se denomina ângulo de calibração, roda-se o espelho para sul usando a relação conhecida entre *encoder* e motor, atribuindo um conjunto de passos de motor correspondentes a 90°. Para comunicar com o controlador do motor usou-se a aplicação Termite[17]. Por autocolimação desde o posto de observação sul, vão-se somando ou subtraindo passos ao motor até que os feixes emitido e refletido coincidam.



Figura 52: No processo de calibração, os feixes laser emitidos e refletidos são perfeitamente discerníveis na superfície frontal do par colimador. Na imagem o feixe mais largo de baixo é o emitido.

Inicialmente, são acrescentadas quantidades angulares da ordem do grau, mas na fase final o ajuste é da ordem do milésimo de grau. Durante a calibração é necessário ter em conta que em caso de *overshoot*, por cada inversão de sentido de rotação decorrem cerca de 30 segundos até que se produza um movimento novamente[18].

Assim, é desejável que a aproximação à posição de referência ditada pelo feixe emitido seja realizada sempre no mesmo sentido de rotação, adicionando pequenos incrementos. Com o autocolimador no lugar da ocular, o feixe de referência e o feixe refletido podem ser vistos na superfície frontal da primeira lente de colimação e é por

[17] Porta de comunicação COM3 com Baudrate de 115200.

[18] Este é um dos defeitos do controlo proporcional implementado. No futuro é desejável implementar um controlador PID por forma a minimizar o *overshoot* para tornar o sistema de controlo mais rápido.

inspeção visual que se faz a correção. Para uma análise mais apurada, pode-se recorrer à mira do próprio autocolimador.

Ao fim de dezenas de tentativas tornou-se aparente que o sistema de pontaria só funcionava bem para um lado, isto é, quando o Eixo era rodado de Sul para Norte pelo zénite. Estudando o problema percebeu-se que a mola de definição radial do espelho não tinha força suficiente e foi substituída por um pequeno tubo de cobre (Figura 53).

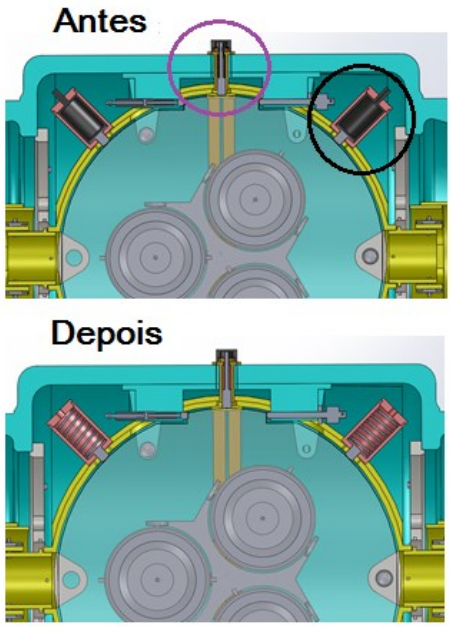


Figura 53: Alterações ao dispositivo que define radialmente a posição do espelho em relação ao Eixo.

Por outro lado, foi possível concluir também que a combinação sensor/traço não funcionava com a precisão necessária, pois durante a calibração o espelho nunca parava na mesma posição, produzindo ângulos de calibração sempre diferentes. Ficou-se com a impressão de que isto se devia ao tipo de sensor que funcionava por reflexão e que tinha um campo de visão muito largo. Ao varrer o campo em busca do traço em movimento, a deteção é aleatória como se pode perceber. Para resolver o problema substituiu-se o sensor infravermelhos por um do tipo de corte. Também a marca foi removida e à superfície lateral da roda dentada de alumínio que fica voltada para o suporte da munhoneira Oeste, foi colado um pequeno pivot de inox que corta o feixe do sensor, correspondente à mesma orientação do espelho que a documentada anteriormente. Examinando as posições de paragem por autocolimação no posto sul, após percursos variáveis de rotação (do tipo: calibra -> vai para os 10° -> vai para os 170° -> volta para os 90° -> calibra), foi possível concluir que o ângulo de calibração era estável e igual a -0,457°. No dia 12 de setembro de 2019, depois de uma tempestade com trovoada intensa, o sensor de calibração e a placa de controlo tiveram de ser substituídos. Determinou-se por autocolimação que a nova constante de calibração era -0,140°. Este valor conserva-se até hoje.

A filosofia de controlo do posicionamento angular da normal ao espelho com o horizonte norte baseia-se numa abordagem de estágios múltiplos durante o movimento

de aproximação à posição angular desejada. Para garantir uma aproximação suave, com um mínimo de *overshoot*, considerando o tempo de inversão de sentido de rotação, a inércia do Eixo e as irregularidades do sistema de transmissão, formulou-se que para cada diferença de pontos de *encoder* entre a posição atual e a pretendida, Δ, se faz associar uma velocidade de rotação de motor diferente, cada vez mais lenta. Os intervalos são os seguintes:

S1) Quando Δ é maior do que 10.000 define-se uma velocidade de arranque de 1250 Hz durante 100 milissegundos para prevenir escorregamentos e falhas de engrenamento no pinhão. De seguida, define-se como velocidade normal a frequência de rotação de 2500 Hz.

S2) Se 5.000 < Δ < 10.000 a velocidade do motor é definida em 1250Hz.

S3) Se 1.500 < Δ < 5.000 a velocidade do motor é definida em 500Hz.

S4) Se 450 < Δ < 1.500 a velocidade do motor é definida em 167Hz.

S5) Se 150 < Δ < 450 a velocidade do motor é definida em 20Hz.

S6) Se Δ < 150, a velocidade do motor é definida em 10 Hz. A esta velocidade, o Eixo roda a 0,35 rotações por minuto.

Em caso de *overshoot* o controlador opera segundo as mesmas leis. Durante a calibração, até que o sensor de infravermelhos seja cortado pelo pivot indicador, o controlador executa os estágios S4, S3, S2, S1 durante 1 segundo e depois segue com S2, S3, S4, S5, S6 como faria normalmente.

3.5.2 Sistema Eletromecânico de Nivelamento Gémeo (SENG)

3.5.2.1 Introdução

Como resposta à vontade verbalizada pelos visitantes em realizar observações noturnas com o CME, no ano de 2017 o autor decide criar a peça que faltava ao restauro funcional do instrumento: o sistema de nivelamento horizontal alternativo ao mercúrio. No entanto, havia um problema. Sem mercúrio, o alinhamento do CME tornara-se problemático porque se perderam todas as fontes de horizontalidade absoluta, por um lado, aquela obtida pelo dispositivo de impulsão que posicionava naturalmente o Eixo

na horizontal e, por outro, o espelho nadiral. O novo sistema devia ainda ser capaz de substituir o dispositivo de impulsão que tinha o papel de fornecer o acréscimo de cota necessária à manutenção do ponto de engrenamento que é critico para mover o Eixo eletricamente, apenas guiado pelas munhoneiras.

Por forma a preservar a estética e a função do velho sistema de impulsão de mercúrio, o autor desenvolveu e construiu um novo sistema eletromecânico que pudesse ser montado dentro dos cilindros hidráulicos onde outrora trabalhavam os êmbolos. Tendo em conta a altura dos cilindros e o seu pequeno diâmetro, o novo sistema consiste num par de atuadores lineares e foi desenhado mecanicamente “em linha”, i. é, o eixo do motor, os eixos de entrada e de saída do redutor e o veio roscado que levanta a carga encontram-se alinhados segundo a mesma direção vertical. O orifício do bocal de purga foi aproveitado para passar os cabos de alimentação e de controlo.

O novo sistema consiste num par de conjuntos quase idênticos que formam o chamado Sistema Eletromecânico de Nivelamento Gémeo (SENG). Cada conjunto é chamado EM (de EletroMecânico). O EM1 encontra-se montado no cilindro hidráulico do lado Este e o EM2 no do lado oeste (Figura 54).



Figura 54: Posição do EM1 e do EM2, visto do lado Sul do CME.

Os atuadores lineares consistem numa unidade motora ligada mecanicamente ao conjunto elevatório no qual um fuso roscado transforma o movimento de rotação em movimento linear.

Segundo o modelo de SolidWorks®, o Eixo completo pesa 400 kg, o que significa que cada atuador linear devia ser capaz de suportar uma carga se 2 kN. Os atuadores deviam ser capazes de cumprir dois requisitos que se viam como essenciais ao posicionamento de precisão do Eixo: devia aguentar a carga mesmo com o sistema de desligado, ou seja, deviam ser irreversíveis, e deviam ser capazes de posicionar a carga de tal forma que não houvesse nenhum retorno quando chegassem à posição final, isto é, deviam ser livres de *backlash*. Por outro lado, deviam ainda ter um curso não inferior a 200 mm. Constatando-se que os atuadores lineares comerciais disponíveis para esta aplicação não cabiam dentro das câmaras dos cilindros, optou-se por construir um sistema de raiz.

3.5.2.2 Dimensionamento mecânico

Um atuador linear é um mecanismo que transforma o movimento de rotação de um motor no movimento linear. A solução desenvolvida denomina-se "conjunto de rotação transformada em linear" (RTL) apresenta-se na Figura 55.

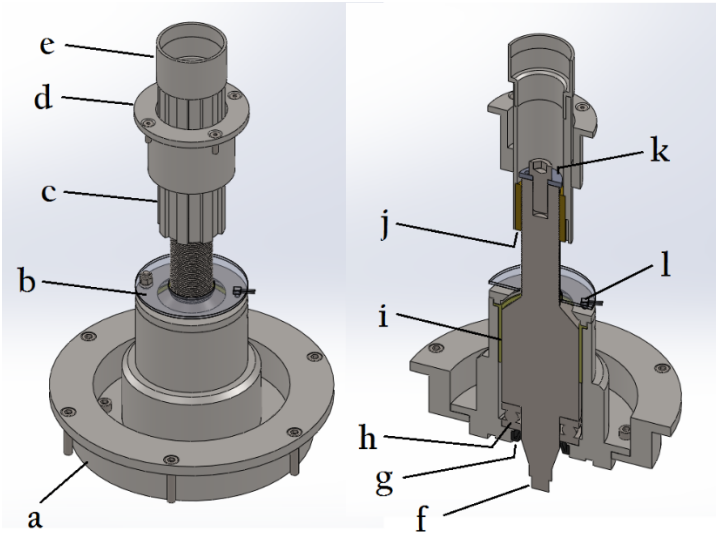


Figura 55: O mecanismo RTL (a) – base em aço, (b) – disco de aço com interrutor de fim-de-curso, (c) – tubo com estriado exterior, (d) – peça com estriado interior fixa, (e) – peça encastrada em (c) que recebe o cone do dispositivo de suspensão do Eixo, (f) – veio em aço de cromo-níquel, (g) – vedante, (h) – rolamento axial. (i) – casquilho de guiamento radial autolubrificado, (j) – castanha encastrada em (c) com rosca esquerda interior que permite o movimento vertical, (k) – disco de aço, (l) - parafuso de rosca direita.

O RTL consiste num veio vertical de aço ligado ao cromo-níquel com 400 mm de comprimento, cuja metade superior tem 30 mm de diâmetro e é roscada com um perfil ISO com passo de 1 mm. Abaixo da rosca há uma porção de 100 mm com um diâmetro de 60 mm. A inacessibilidade do sistema ditou que o veio ficasse suportado radialmente

por uma flange[19] de material auto-lubrificante substituindo rolamentos radiais que precisariam de lubrificação ao longo da vida útil. O suporte radial permite amparar o veio na eventualidade de haver um desalinhamento excessivo entre os dois lados do sistema. Para suportar a carga vertical usou-se um rolamento axial de esferas, modelo SKF 51306. Abaixo do rolamento, o veio toma novamente o diâmetro de 30 mm até que se finaliza com a espiga para acoplamento ao conjunto motor.

Como a solicitação é fundamentalmente de compressão, não descartando a possibilidade de haver carga desviada da vertical resultante do desalinhamento que se pretende corrigir, verifica-se pela lei de Euler para o encurvamento que a carga crítica é muito superior mesmo considerando, num cenário mais gravoso, o comprimento total do veio como estando sujeito a encurvadura com um diâmetro constante de 30 mm:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3)$$

Onde as variáveis tomam os seguintes valores:

$$E = 206\ x\ 10^9\ Pa$$

$$I = 5{,}1\ x\ 10^{-8}\ m^4$$

$K = 1{,}0$ (Reis et al., 2012, p.297, Fig. 61, caso b)

$$L = 0{,}400\ m$$

Do que resulta uma carga crítica de $6{,}5\ x\ 10^6 N$, muito superior à solicitação (Reis et al., 2012, p.296).

A necessidade de usar um diâmetro de 30 mm decorre da necessidade de resistência dos filetes da rosca. Optou-se por um perfil de rosca ISO (triangular) por ser aquele que é naturalmente irreversível e com o qual se consegue mais facilmente um *backlash* reduzido mesmo que para isso seja necessário um binário maior. Também contribui para a escolha o facto de ser mais fácil produzi-lo em comparação com os perfis quadrados que são mais habituais neste tipo de aplicações. Optou-se por um passo tão fino quanto possível na perspetiva de otimizar a resolução do ajuste, considerando a resistência da porção da rosca que se encontram em solicitação.

[19] IGUS iglide® J-flange JFM-6065-50

Segundo o Shigley's Mechanical Handbook os filetes da rosca não partilham a carga uniformemente. Estudos experimentais sugerem que só os 6 primeiros filetes são sujeitos à carga: o primeiro carrega 38%, o segundo 25%, o terceiro 18% e o sétimo está livre (Budynas, 2006). Por uma questão de estabilidade, tendo 7 por mínimo, desenhou-se a castanha do RTL com 40 fios.

O binário necessário para a subida e descida da carga foi inicialmente estimado usando um calculador online (Daycounter, 2016). Dessa estimativa inicial resultou a aquisição de dois motores de passo[20] com binário nominal de 5,94 Nm. Depois de montar o motor no RTL, constatou-se que o sistema não tinha binário suficiente para elevar a carga. Consultando a literatura concluiu-se que o software só contemplava sistemas de rosca de perfil quadrangular e não considerava o binário de arranque, que é percentualmente a parte maior do binário necessário à rotação de um veio parado. Para ultrapassar esta dificuldade, estudou-se a aquisição de um redutor planetário de razão conveniente a ser montado entre o motor e o RTL. O binário correto e a razão de redução foram determinados de acordo com o Shigley's (Budynas, 2006) e com os trabalhos de Mazurkiewicz "The basics of Motion Control" partes 1 e 2: (Mazurkiewicz & J., 1995) e (Mazurkiewicz & J., 1996), respetivamente.

Para calcular a razão de redução do redutor é necessário definir as condições de carga, o fator de segurança e a resposta que se pretende obter.

O motor escolhido tinha sido um motor de passo híbrido de 2 fases com 200 passos por revolução. No sentido de aumentar a resolução, os motores tinham sido escolhidos de forma a produzirem micropassos e vieram com *encoder* para operação em anel fechado. No entanto, porque se dedicaram os EMs para tarefas diferentes, também os *encoders* que lhes estão acoplados são diferentes. O EM2 foi pensado para posicionar o Eixo numa posição conveniente ao engrenamento com o pinhão. Por este motivo escolheu-se um *encoder* NOE2-24-B06 de 1000 linhas. Por outro lado, dedicou-se o EM1 ao nivelamento horizontal o que requeria maior resolução. Neste caso escolheu-se um *encoder* NOE2-05-K14 de 4000 linhas. Os dois *encoders* foram fornecidos pela Bibus e ambos são incrementais.

[20] Nanotec Nema 34 modelo ST8918M6708-A

O cálculo do binário seguindo uma filosofia de micropassos difere daquele com passos completos. Por cada micropasso há que adicionar um fator incremental na lei do binário (Micromo) que para N micropassos é

$$T_N = T_{HFS} \times \sin\left(\frac{90 \times N}{\mu_{PFS}}\right) \quad (4)$$

Onde

μ_{PFS} - Número de micropassos por passo completo

N - Número de micropassos percorridos, inteiro menor ou igual que μ_{PFS}

T_{HFS} - Binário de Retenção (Nm) correspondente a um Passo Completo

T_N - Binário incremental (Nm) para N micropassos em que N é igual ou menor que μ_{PFS}.

A Tabela 4 ilustra o impacto significativo que a divisão em micropassos provoca no binário de retenção (Micromo).

Tabela 4: Impacto do número de divisões do passo completo no binário de retenção.

Micropassos por passo completo	% Binário de retenção por Micropasso
1	100.00
2	70.71
4	38.27
8	19.51
16	9.80
32	4.91
64	2.45
128	1.23
256	0.61

Para tirar o máximo partido da resolução dos *encoders* e focando-nos unicamente no pior cenário de EM2, com um máximo de 16 micropassos por passo completo (16 x 200 = 3200 micropassos por volta) seria possível usar apenas 9,80% do binário de retenção do motor, o que representaria uma quebra drástica da capacidade

do sistema. No entanto, visto ser difícil verificar esse pequeno movimento[21] em termos de resposta da posição do Eixo optou-se por implementar apenas a possibilidade de contar meios passos e quartos de passos que têm associados binários de 70% e de 38%, respetivamente, em relação ao binário de retenção do motor.

A conversão do movimento rotativo em translação vertical no RTL consegue-se através de uma fêmea de latão roscada no veio e que se encontra encastrada na parte inferior do tubo cuja parede exterior tem 6 carris verticais. O guiamento do movimento vertical faz-se através de uma flange de aço alojada no topo da tampa dos cilindros hidráulicos, cuja parede interior tem 6 carris verticais concordantes com os da peça móvel. A cada volta do veio, a fêmea produz uma translação vertical de 1 mm. O conjunto no qual a fêmea está montada pode rodar em torno da vertical num ângulo muito pequeno correspondente à menor das folgas entre carris. Tanto o tubo, no qual a fêmea se encontra montada, como a flange estriada superior, são de aço CK-45 e foram galvanizados *a posteriori* como medida de proteção contra a corrosão. A folga entre carris, que já originalmente era pequena, encurtou-se ainda mais com a camada de zinco.

O contacto entre a fêmea e o veio roscado é lubrificado, caracterizado por um coeficiente de fricção situado entre 0,10 e 0,16 (Budynas, 2006). O fluido de lubrificação é o Würth HSS que lubrifica depois de seco e adere bem às superfícies em rotação. Definiu-se um coeficiente de fricção de 0,16 como o caso mais gravoso.

Por forma a evitar o desengate da fêmea do veio na posição limite superior que resultaria na queda do Eixo, criou-se um fusível eletromecânico que envolveu por um lado maquinar a rosca no sentido retrógrado, ou seja, a rosca é esquerda e, por outro, apertar-se no topo do veio uma anilha com 33 mm de diâmetro exterior com um parafuso de rosca direita. Deste modo, quando a parte móvel, cujo diâmetro interior é de 30 mm, se aproxima da anilha, a fêmea irá tentar apertar a já bem apertada anilha produzindo um aumento de corrente no controlador que eventualmente levará ao corte de energia por sobrecarga.

Seguindo o procedimento de cálculo apresentado na seção 8-2 do *Shigley* (Budynas, 2006), o binário necessário à subida e à descida da carga pode ser

[21] Os dois atuadores estão afastados de 600 mm. Dividindo cada passo em 16 frações, a cada micropasso corresponde uma variação angular de 0,107 segundos de arco

determinado usando o perfil de rosca típico nestes casos (quadrado e direito) para de seguida adaptar o cálculo ao perfil aqui usado.

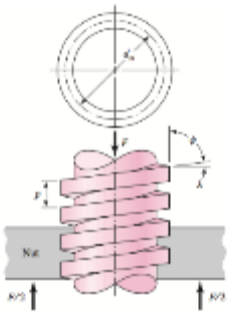


Figura 56: Parte de um parafuso de potência com rosca trapezoidal sujeita a uma carga de compressão (Budynas, 2006)

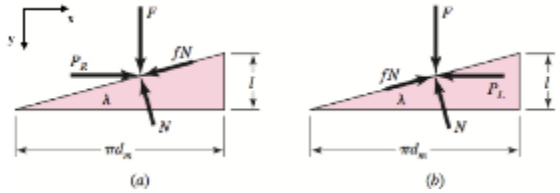


Figura 57: Diagrama de forças correspondentes à subida (esquerda) e à descida da carga (direita). (Budynas, 2006)

Na Figura 56 encontra-se representado um parafuso com um perfil de rosca trapezoidal com um diâmetro nominal d_m, passo *p*, ângulo de entrada λ, e ângulo de hélice Ψ carregado com uma força axial, *F*. Para determinar o binário de subida e descida da carga imagina-se uma volta da rosca do parafuso completamente planificada onde o comprimento do fio forma a hipotenusa do triângulo retângulo cuja base é a circunferência do diâmetro médio da rosca e a altura é o seu passo. Na Figura 57 representa-se esse triângulo com todas as forças aplicadas na rosca. Para levantar a carga aplica-se a força P_R para a direita. Em oposição, para a descida da carga aplica-se a força P_L para a esquerda. A força de fricção, fN, é o produto do coeficiente de fricção com a força normal N, que é contrária à direção de rotação. Considerando o sistema de coordenadas da Figura 57, escrevem-se dois sistemas de equações de equilíbrio, um para cada movimento.

Para levantar a carga escreve-se:

$$\sum F_H = P_R - N\sin\lambda - fN\cos\lambda = 0$$
$$\sum F_V = F + fN sin\lambda - N\cos\lambda = 0 \qquad (5)$$

Para descer a carga escreve-se:

$$\sum F_H = -P_L - N\sin\lambda + fN\cos\lambda = 0$$
$$\sum F_V = F - fN\sin\lambda - N\cos\lambda = 0 \quad (6)$$

Resolvendo os sistemas (5) e (6) obtém-se P_R e P_L independentes da força normal:

$$P_R = \frac{F(\sin\lambda + f\cos\lambda)}{\cos\lambda - fsin\lambda}$$
$$P_L = \frac{F(f\cos\lambda - \sin\lambda)}{cos\lambda + f\sin\lambda} \quad (7)$$

Dividindo-se os numeradores e os denominadores por $\cos\lambda$ e usando a relação $\tan\lambda = l/(\pi\, d_m)$ do triângulo da Figura 57, em que *l* é o passo da rosca porque esta só tem uma entrada, reescreve-se (7):

$$P_R = \frac{F\left[\left(\frac{p}{\pi d_m}\right) + f\right]}{1 - \left(\frac{fp}{\pi d_m}\right)}$$
$$P_L = \frac{F\left[f - \left(\frac{p}{\pi d_m}\right)\right]}{1 + \left(\frac{fp}{\pi d_m}\right)} \quad (8)$$

Os binários obtidos pelo produto da força por metade do diâmetro médio da rosca são:

$$\mathrm{T_R} = \frac{\mathrm{F d_m}}{2}\left(\frac{p + \pi \mathrm{f d_m}}{\pi \mathrm{d_m} - \mathrm{f}p}\right)$$
$$T_L = \frac{F d_m}{2}\left(\frac{\pi f d_m - p}{\pi d_m + fp}\right) \quad (9)$$

O conjunto de equações foi escrito para o caso em que a força normal à rosca é paralelo à direção da carga. No entanto, nas roscas ISO a força normal ao plano do contacto entre parafuso e fêmea encontra-se inclinado em relação à direção da carga na quantidade de $2\alpha = 60°$, aumentando a força de fricção (Figura 58). Assim, os termos de fricção das equações têm de ser divididos pelo $\cos\alpha$, ou multiplicar pela secante.

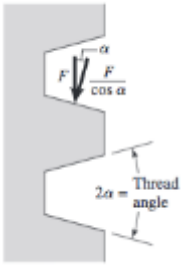


Figura 58: Ângulo da rosca de 2α do perfil ISO.

De forma a contemplar possíveis desalinhamentos axiais entre o corpo e tampa do sistema antigo no qual o novo sistema ia ser montado e para fazer face ao acréscimo esperado das forças de fricção resultantes da galvanização dos carris de guiamento que se agravam quando existe desalinhamento no Eixo em relação à direção horizontal, introduziu-se um coeficiente de segurança de $n = 3$. Também, porque as direções de rotação são opostas às do exemplo, pelo facto da rosca do veio ser esquerda, as equações do binário têm de ser multiplicadas por -1. As equações ficam:

$$T_R = -\frac{F d_m}{2}\left(\frac{l + \pi f d_m \sec\,\alpha}{\pi d_m - f l \sec\,\alpha}\right)\cdot n$$
$$T_L = -\frac{F d_m}{2}\left(\frac{\pi f d_m - l\,sec\,\alpha}{\pi d_m + f l\,sec\,\alpha}\right)\cdot n \qquad (10)$$

Introduzindo os parâmetros do problema concreto

$F = 2000\,N;\ d_m = 30\,mm;\ f = 0{,}16;\ l = 1\,mm;\ n = 3;\ \alpha = 30°.$

Os binários são:

$$T_R = -17{,}62\,Nm$$
$$T_L = -13{,}27\,Nm. \qquad (11)$$

A perda de binário disponível durante o modo de micropasso deve ser verificado para o caso mais gravoso, isto é, usar 4 micropassos por passo completo. Neste caso, é expectável que só 38% do binário de retenção do motor esteja disponível resultando num novo valor de binário de retenção de 2,26 Nm. Para este caso, a razão de redução teórica de *i = 7,8* é suficiente mesmo desprezando o rendimento de 97% do redutor.

Constatando-se no sítio online da Nanotec® que o preço dos redutores da série GPLE80 na gama de razão de redução entre 2 e 10 são semelhantes, optou-se por um com $i = 8$. O GPLE80 escolhido tem um binário de saída nominal de 50 Nm, sendo que

o máximo que somos capazes de produzir com o motor já comprado é de 46 Nm ($= 5{,}94\ x\ 8\ x\ 0{,}97$) podendo desta forma o sistema funcionar sem limitações ou perigo de danificar o redutor. Além da multiplicação por 8 do binário disponível, a utilização do redutor produz também um acréscimo na mesma medida em resolução. Como principal desvantagem assinala-se o *backlash* torsional, que no caso dos GPLE80 é no máximo de 7 minutos de arco (Nanotec) a que corresponde um erro de 0,3 μm no curso vertical do nosso atuador. No entanto, com a utilização do autocolimador digital o *backlash* torsional deixou de ser um problema como veremos de seguida.

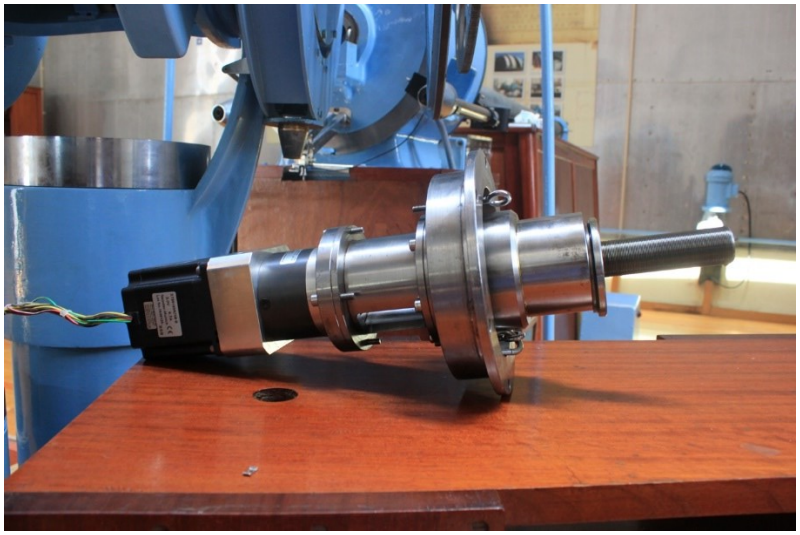


Figura 59: Um dos EM antes de ser montado dentro da câmara dos cilindros hidráulicos.

3.5.2.3 Conclusão

A substituição do mercúrio pelo SENG é um exemplo de como a preservação estética é possível preservando simultaneamente a funcionalidade.

Existem outros casos em que é impossível esconder certos elementos funcionais da vista do público. Na opinião do autor, o ganho de funcionalidade deve ser comparado com as implicações que a presença de um elemento estranho impacta a estética e na mensagem que se pretende transmitir. Sem nos esquecermos do objetivo principal, o de criar um museu vivo, pretende-se preservar a forma como o tempo era medido no passado, usando a tecnologia do passado, permitir que o observador aponte para uma posição no céu, acompanhe uma determinada estrela e compare a hora calculada aquando do trânsito com a hora no seu telemóvel ou relógio de pulso. É a opinião do

autor que a estética importa seguramente como primeira impressão, mas, no final, é a funcionalidade que deve ser recuperada a todo o custo.

3.5.3 Alinhamento do CME

Na secção anterior descreveu-se o desenvolvimento do sistema eletromecânico substituto ao sistema de impulsão de mercúrio com o qual se elevava o Eixo de forma a garantir simultaneamente o engrenamento e o guiamento do Eixo. Nesta secção descreve-se o raciocínio que conduziu ao posicionamento preciso do CME, para que a uma dada estrela selecionada aparecesse no centro do campo visual a uma hora sideral local igual à sua ascensão reta. Para tal acontecer, há que cumprir 3 requisitos:

1) O eixo de rotação do Eixo tem de estar alinhado com a horizontal e com a direção Este-Oeste;
2) O eixo de rotação do espelho tem de ser coincidente com o eixo de rotação do Eixo;
3) Os eixos óticos dos dois tubos de observação têm de estar alinhados um com o outro, na direção Norte-Sul.

O alinhamento do CME só é verificável por observação astronómica. Assim, como os erros das iterações iniciais eram grandes, a abordagem passou por tentar observar visualmente objetos cada vez menores começando pela Lua, na posição e hora fornecidas pelo Stellarium. A quantidade de luz refletida permite-nos perceber se nos encontramos na sua vizinhança e para que lado do campo nos temos de mover para ir ao seu encontro. Neste procedimento utilizou-se uma ocular Meade MA-40 de baixa ampliação com um barril de 0,965'' de diâmetro. Esta ocular tem uma distância focal de 40 mm e um campo aparente de 40°. Em conjugação com a distância focal do tubo colimador, produz-se uma ampliação de apenas 75x. Originalmente, o micrómetro registador do CME só permitia usar oculares com este diâmetro de barril. Por serem difíceis de encontrar no mercado, optou-se por maquinar um adaptador para oculares de diâmetro de 1,25'', mais comuns, com o qual se usou o autocolimador e o laser Howie Glatter, elementos que se revelariam de grande importância no alinhamento aqui descrito.

Apesar da baixa ampliação utilizada, da calibração correta da pontaria, do posicionamento do Eixo tal que o engrenamento fosse possível e de um nivelamento

horizontal aproximado do Eixo e do espelho dentro dele, as primeiras tentativas resultaram infrutíferas. Daqui resultou o desenvolvimento de um racional de alinhamento mais apurado onde o objetivo foi o de encontrar uma configuração de orientação entre os três blocos que constituem o instrumento -- o colimador sul, o Eixo com o espelho e o colimador norte -- de tal forma que a linha imaginária do meridiano se posicione no centro dos campos visuais dos dois micrómetros registadores simultaneamente, ou seja, deseja-se o alinhamento total do instrumento.

Sabia-se à partida que o sistema eletromecânico nunca poderia mimetizar completamente as valências do sistema de mercúrio, mas procurou-se desenhá-lo da melhor forma possível. Um dos detalhes construtivos do sistema de impulsão por mercúrio que mais dúvidas suscitou prendia-se com a razão pela qual os dois cilindros hidráulicos se encontravam interligados pelo chamado circuito de purga onde as duas mangueiras se juntavam formando um só canal de descarga. Dada a capilaridade conhecida do mercúrio, se o objetivo era a purga então devia-se ter procurado fazer um circuito o mais direto possível sem usar junções. Ao estarem interligados, os dois cilindros hidráulicos comportavam-se segundo o princípio dos vasos comunicantes, o que teoricamente seria suficiente para produzirem “naturalmente” o tão almejado nivelamento horizontal do Eixo. Esta hipótese era posta em causa pelo facto de cada cilindro ter o seu alimentador. Seria apenas para aumentar a capacidade de enchimento disponível? Podiam os cilindros ter funcionado separados e cada alimentador ter a sua função niveladora?, ou teria sido apenas por facilidade de fabricação já que os cilindros foram fabricados por fundição e seria mais fácil fazer apenas um molde do que dois diferentes? Estas perguntas ainda não têm resposta. Porém, o que é facto é que os cilindros estavam ligados e este facto suscitou a questão importante: Seria o sistema de impulsão usado para colmatar pequenos desalinhamentos da base de altura? Não havendo uma memória descritiva que retratasse o procedimento de alinhamento do CME, nem de desenhos ou peças que indicassem terem sido usadas no nivelamento da base de altura, o autor foi levado a crer que sim, e que com a retirada do mercúrio se perdera uma importante mais-valia do sistema de impulsão que era a produção natural da horizontalidade absoluta do Eixo. Uma vez que o sistema eletromecânico era por si só incapaz de gerar essa orientação, afigurou-se necessário envolver no processo alinhamento um dispositivo independente com o qual se pudesse medir o

desalinhamento angular do Eixo em relação a uma direção de referência e atuar o SENG convenientemente no sentido de anular esse erro.

Inicialmente, considerou-se a possibilidade de voltar a usar os autocolimadores de Danjon montando um espelho auxiliar num dos topos do Eixo. O desalinhamento tinha de ser estimado nos micrómetros existentes e convertido em passos de motor por forma a corrigir a sua posição. Porém, os autocolimadores de Danjon provaram-se extremamente difíceis de usar. Por um lado, era necessário recolocar o fio vertical que produziria a imagem de referência. Ultrapassado esse obstáculo, verificou-se que o peso da nivela, que definia a direção de referência, era suficiente para alterar o seu próprio alinhamento, o que em retrospetiva devia ter alertado para a inconsistência do método, porque se não podia ser usado naquele momento também não devia ter sido no passado. Por outro lado, os autocolimadores de Danjon são instrumentos muito limitados em termos de campo ótico de onde decorre que são instrumentos completamente desadequados para primeiras iterações onde os erros são grandes. Mas então, como fazer para nivelar o Eixo? Foi neste sentido que se desenvolveu um autocolimador baseado num feixe Laser mais robusto e de dimensões bastante mais generosas.

O novo autocolimador foi maquinado a partir de um bloco de alumínio paralelepipédico aberto nas 4 faces retangulares e nos dois topos quadrangulares formando um corpo oco. Um dos topos foi maquinado de forma a alojar um laser Howie Glatter. Na face oposta maquinou-se um cilindro de diâmetro correspondente ao diâmetro interior dos tubos de colimação no qual o autocolimador seria fixado por 4 parafusos. Na superfície traseira do autocolimador onde o laser se encontra montado foram abertos dois rasgos, um horizontal e um vertical, por forma a que o caminho dos feixes pudesse ser observado diretamente. Numa das faces planas do autocolimador montou-se o nível da marca C. Stiefelmeyer com uma precisão de 0,02 mm por metro.



Figura 60: O autocolimador laser montado no tubo de colimação axial este com o nível pousado na superfície superior.

A ideia passava por usar o SENG de modo a posicionar o Eixo numa posição horizontal de partida usando o novo autocolimador no posto de colimação axial oeste controlando a posição angular de um dos espelhos auxiliares previamente montado no munhão correspondente. Para tal, ambos EMs subiriam de igual forma o Eixo, partindo de uma posição de repouso em que os dois munhões estavam pousados nas munhoneiras, até que o munhão oeste apenas tocasse suavemente na sua munhoneira. Neste ponto, o EM2 posicionaria a roda dentada grande de forma a haver engrenamento e o EM1 provocava a subida ou descida dessa parte do Eixo numa quantidade tal que o Eixo ficasse nivelado por avaliação no autocolimador oeste. De seguida, nivelar-se-ia o espelho principal com o parafuso de regulação (peça g) enquanto estivesse apontado para o zénite, usando o nível Stiefelmayer de 0,02 mm/m pousado sobre o espelho e alinhado com a direção este-oeste. Quando o Eixo fosse posto em rotação, a posição do espelho podia ser avaliada por autocolimação usando a faceta do espelho correspondente como superfície de controlo e que serviria como posição de referência. Eventualmente, chegar-se-ia a uma posição em que não seria necessário ajustar o SENG nem a posição do espelho e o sistema estaria perfeitamente nivelado.

Os primeiros ensaios revelaram que o feixe refletido desenhava uma forma irregular centrada num ponto à esquerda do alvo que se interpretou como devendo-se por um lado, à falta de perpendicularidade entre a faceta de controlo e o feixe de referência e, por outro, à falta de guiamento das munhoneiras.

Na análise das posições tomadas pelo feixe refletido, considerando o autocolimador nivelado com a horizontal, montado a 3 metros do espelho e assumindo

uma situação em que o feixe refletido não se encontra sobre o centro do alvo, a projeção da distância entre a reflexão e o orifício de saída do feixe de referência no eixo vertical ordenado é o erro que se pretende anular. O erro é resultante de três desalinhamentos diferentes[22]. Considerando o espelho voltado para o zénite, os desalinhamentos são: o desalinhamento da faceta espelhada em relação ao plano do meridiano (Figura 61), o desalinhamento da normal ao espelho em relação ao meridiano no plano do primeiro vertical também conhecida por colimação e, por último, o desalinhamento do Eixo em relação à horizontal.

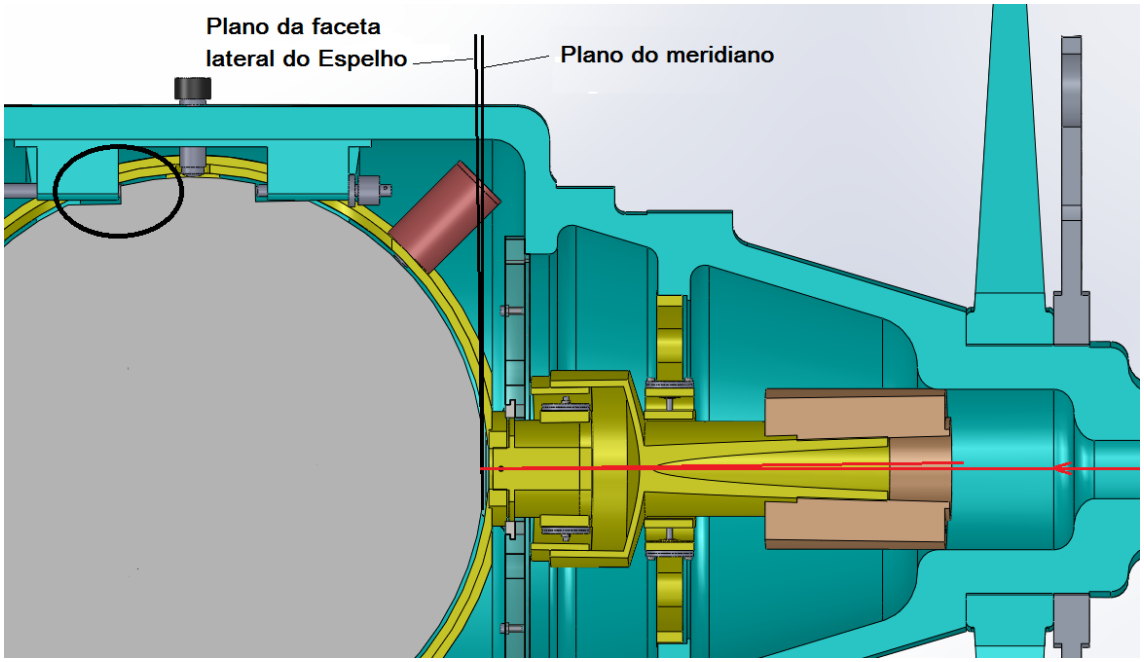


Figura 61: As facetas laterais espelhadas do espelho principal têm de ser montadas perfeitamente paralelas com o plano do meridiano, algo impossível de fazer sem autocolimação e guiamento azimutal. No canto superior esquerdo da imagem encontra-se assinalado um dos 4 chanfros existentes no corpo do espelho que se encontra em contacto com a peça que suporta o parafuso que permite o seu ajustamento em torno do vertical quando este aponta para o zénite. Do SolidWorks podemos calcular que as facetas do espelho podem ter um desalinhamento máximo ±1° em relação ao meridiano, a que corresponde um círculo centrado no feixe laser de referência (linha vermelha com seta) desenhado pelo feixe laser refletido de aproximadamente 52 mm de raio no alvo do colimador axial este, isto é, a uma distância de 3 metros.

Observando aquele que se considerava na altura como o princípio de funcionamento do sistema de impulsão, pensou-se que devia ser possível nivelar o espelho indiretamente através da atuação do SENG na posição do Eixo, para qualquer posição da base de altura e para qualquer posição do espelho dentro do Eixo. Desprezando a projeção horizontal do erro no alvo do autocolimador e trabalhando

[22] Neste trabalho, assumiu-se que a base azimutal estava bem alinhada ainda que se tivesse estudado uma forma de alinhar no caso de ser necessário.

apenas no sentido de corrigir o afastamento na vertical entre o feixe refletido e a referência, garantia-se que o espelho se encontrava sempre na horizontal qualquer que fosse a declinação da estrela. Desta tentativa de nivelar a posição do espelho dinamicamente nasceu o projeto de "Nivelamento submicrométrico automático de um veio em rotação por autocolimação" desenvolvido pelo autor e pelo mestrando David Araújo Pereira. Esta estratégia implicava que o processo fosse baseado num sistema de controlo automático que nivelasse o eixo de rotação do espelho segundo uma filosofia dinâmica, isto é, com o Eixo em rotação. Para este propósito usar-se-ia a faceta espelhada lateral do espelho (Figura 61) como superfície a controlar por autocolimação desde o posto de colimação Este.

Para cumprir este desígnio o autocolimador foi modificado. Por forma a poder maximizar o erro detetável numa primeira iteração, criou-se um alvo com quase o mesmo diâmetro que o tubo de colimação no qual está montado. Desta forma é possível detetar erros angulares de ± 0,76° (40 mm de raio a 3 metros). No sentido de usar o autocolimador como dispositivo capaz de fornecer feedback foi-lhe adaptada uma câmara CCD com uma objetiva macro numa posição lateral em que não perturbem o feixe de saída nem o feixe refletido. O novo sistema de aquisição de imagem transforma o autocolimador visual num autocolimador digital onde a posição relativa dos dois feixes é captada em tempo real e é enviada ao computador para processamento. Aí, a distância pixelizada é convertida em milímetros e sucessivamente numa tensão correspondente ao número de passos necessários a serem executados pelo motor do EM1 para anular o erro. O autocolimador digital era o elo que faltava circuito de controlo automático para o nivelamento horizontal automático do espelho.

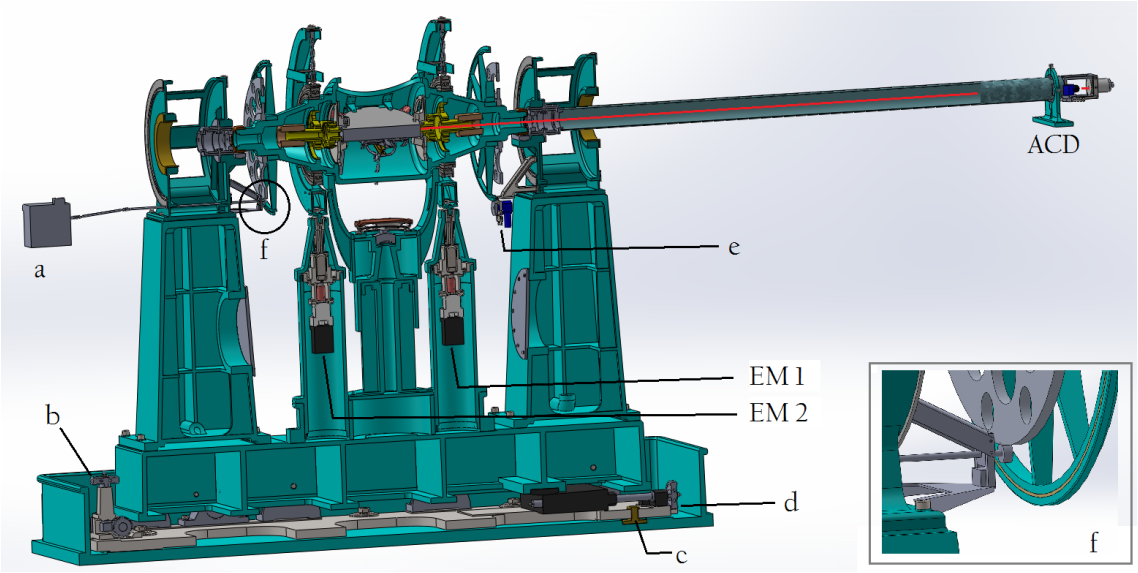


Figura 62: Corte pelo primeiro vertical do modelo SolidWorks do CME: a – motorredutor, b – volante da base azimutal, c – fulcro da base azimutal, d – volante da base de altura, e – *encoder*, f – pormenor do engrenamento motor, ACD – autocolimador digital.

Após muitas tentativas frustradas concluiu-se que não era possível nivelar o espelho sem nivelar a base de altura. Ainda que fosse verdade que o sistema de impulsão a funcionar segundo o princípio dos vasos comunicantes produzia por gravidade uma orientação horizontal absoluta, isso não invalida a necessidade de nivelar a base de altura pois, se dessa não se produz mais alinhamento horizontal do que aquele conseguido pelo sistema de impulsão, é através dela que se propaga ao Eixo o justo guiamento azimutal, definido pela base na qual a de altura está montada, que é necessário ao Eixo quando este é solicitado pelo motor de pontaria. De outra forma, e como foi verificado, quando o sistema de pontaria é ativado, se dois dos quatro botões de latão das munhoneiras não se encontrarem em contacto com o respetivo munhão do Eixo, produzir-se-á um movimento oscilatório em torno do vertical provocado pelo ataque irregular do pinhão à roda dentada grande em movimento, tanto mais amplo quanto maior for o afastamento entre uns e outros. Porém, se a base de altura estiver nivelada convenientemente e o desalinhamento entre esta e o Eixo for de ordem micrométrica (nos EMs), a vibração torna-se impercetível, podendo obter-se um nivelamento satisfatório de perfeição proporcional ao afastamento da fonte de referência horizontal em relação ao alvo e para o qual o SENG é especialmente adequado dada a sua alta resolução.

A ideia de controlar o nivelamento do espelho dinamicamente culminou na construção do chamado ACD – Autocolimador Digital a laser que viria a fechar o anel de controlo automático que se apresenta na Figura 62. Ao fim de muitas tentativas concluiu-se, no entanto, que apesar do sistema de controlo automático funcionar perfeitamente para a eliminação do desalinhamento com a horizontal, a falta de guiamento azimutal durante o movimento de rotação era intolerável, o que acabava por interferir no próprio movimento de pontaria ao alterar a relação entre voltas do Eixo e voltas do *encoder*. Estabeleceu-se, portanto, que no procedimento de alinhamento do CME se devia começar por nivelar a base de altura. Foi ao analisar as fotografias antigas do círculo meridiano de Ottawa que surgiu a luz. No canto inferior direito da Figura 63, pode-se ver um corpo cilíndrico de topos brilhantes escondido na sombra.

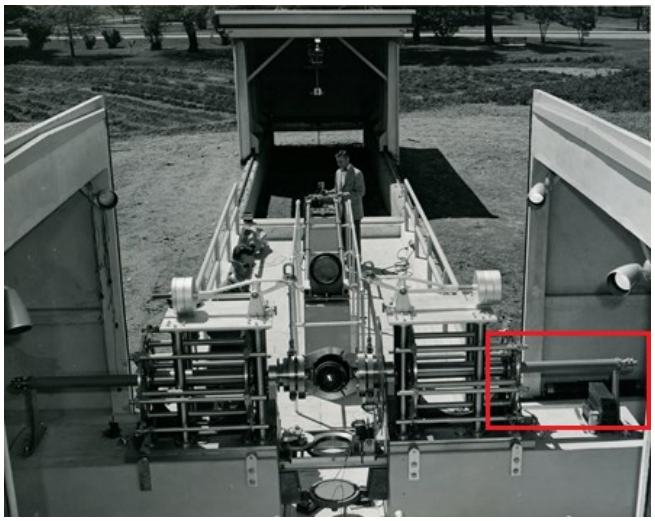


Figura 63: O círculo meridiano de espelho de Ottawa.

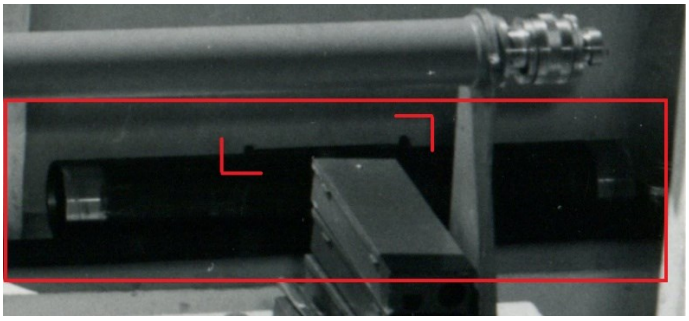


Figura 64: Pormenor da figura anterior em que se pode ver claramente um tubo que terá sido para alinhar as munhoneiras do círculo meridiano de Ottawa.

Ampliando a imagem pode-se ver o que parece ser um tubo já ferrugento em que os topos parecem ter sido fabricados em material inoxidável e mais tarde

encastrados no corpo principal. Na parte enquadrada pelos ângulos retos vermelhos, no centro do tubo parece haver um suporte plano ligeiramente alteado que se coaduna perfeitamente com uma superfície para a receção de um nível. Esta peça é muito parecida com outra que terá existido no OAMB mas que não foi encontrada. O seu desenho técnico existe no Repositório Temático da UP e encontra-se intitulado como "Peça para alinhar as munhoneiras" (Barros, 1963). Quando pousado sobre os 4 botões das munhoneiras no espaço ocupado normalmente pelo Eixo, o tubo tanto serve para alinhar uma munhoneira com a outra, como pode ser usado para nivelar a inclinação dos suportes do Eixo, o que é o mesmo que dizer, nivelar a base de altura. No tubo do desenho disponível no repositório online da UP não existe nenhum suporte para receber um nível como parece acontecer no tubo da Figura 64 nem foi encontrada na literatura nenhuma menção à sua utilização no nivelamento da base. Em todo o caso, a ideia de usar um tubo maquinado com precisão pousado entre as munhoneiras para nivelar a base afigurou-se como uma excelente forma de recomeçar o nivelamento.

De seguida descreve-se o mais fielmente possível o procedimento que se empreendeu no alinhamento do CME:

i. Nivelamento da base de altura.

Inspirado no modelo do observatório de Ottawa e no desenho da "Peça de alinhar munhoneiras" o nivelamento da base de altura passou pela construção de um calibre de aço com 1340 mm de comprimento maquinado a partir dum tubo de parede espessa. A geometria do calibre foi simulada pelo método dos elementos finitos onde se procurou minimizar a flexão por ação do peso próprio. O desenho de fabricação seguiu um esquema apertado de toleranciamento geométrico de cilindricidade entre os topos cujo desvio máximo devia ser de 0,002. Os topos do calibre são chanfrados da mesma forma que os munhões originais por forma a que os travões laterais das munhoneiras possam centrar o Eixo em relação ao conjunto.

Para montar o calibre nas munhoneiras, o Eixo tem de ser apontado para o nadir (AM=270°)[23], levantado pelo dispositivo de inversão até uma altura conveniente e rodado 90° em torno do vertical de forma que o Eixo fique alinhado com as lunetas de

[23] Considere-se para efeitos de orientação da normal ao espelho o referencial criado no âmbito deste trabalho (ver Tabela 7) designado por AM – Referencial de Altura Modificada.

observação. O calibre que pesa 28,6 kg pode então ser montado nas munhoneiras e travado lateralmente.

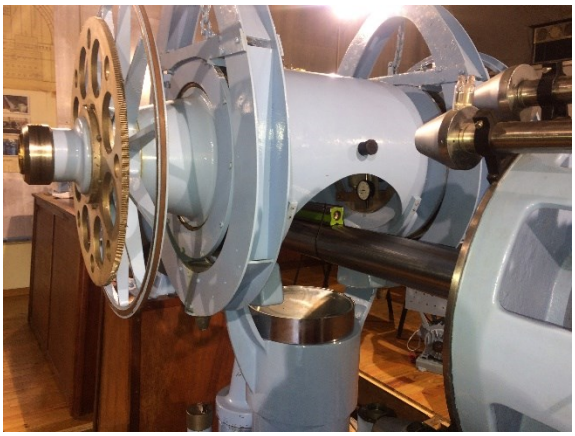


Figura 65: Depois de ser levantado pelo mecanismo de inversão, o Eixo do CME foi rodado em torno do vertical. Na imagem podemos ver o calibre montado entre munhoneiras com o nível (corpo verde) em posição.

A meio da superfície cilíndrica exterior foram maquinadas duas superfícies planas de qualidade ∇∇ e opostas uma à outra. A superfície superior, destinada ao nível de bolha C. Stiefelmeyer com precisão de 0,02 mm/m para alinhamento ao longo do este-oeste foi alinhada com o nível na direção norte-sul e posicionada convenientemente nesta direção. À superfície inferior colou-se um espelho voltado para o nadir, imediatamente por baixo do qual se criou um artifício de nivelamento redundante ao nível. Sobre a tampa de vidro do sarcófago do espelho nadiral montou-se uma base nivelante dotada de um nível de bolha redondo. Dentro desta montou-se o laser Howie Glatter apontado para o zénite, distando entre este e o espelho cerca de 100 mm. Seria conveniente aumentar esta distância, mas a construção do instrumento não o permite. Como o espelho nadiral se encontra montado sobre o mecanismo de inversão que por sua vez se encontra montado sobre a base de altura, para cada movimento da base de altura há que renivelar a pequena base nivelante.

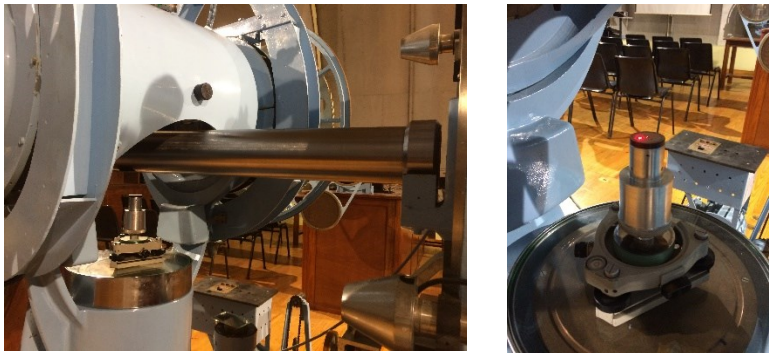


Figura 66: Esquerda – O calibre encontra-se montado na posição habitual do Eixo que se encontra subido e alinhado na direção Norte-Sul com a cavidade do espelho principal voltada para baixo. A uma das superfícies retificadas do calibre colou-se um pequeno espelho auxiliar com a superfície refletora voltada para baixo. Na superfície superior montou-se uma nivela de bolha que se podia observar por reflexão no espelho principal. Direita - Montado na base nivelante faz-se incidir o laser Howie Glatter no espelho auxiliar. Se houver movimento da base de altura, tanto a nivela da base nivelante como a nivela superior revelerão alterações. Neste caso, a base nivelante terá de ser nivelada novamente até que as duas coincidam com a posição horizontal pretendida.

Para movimentar a base de altura é necessário desapertar os parafusos M24 que a bloqueiam contra a base de azimute e que se encontram debaixo do nível de óleo. Com a base desbloqueada atua-se o volante Este que a fará bascular. Rodando o volante no sentido do aperto, isto é, de Sul para o zénite, o lado Este da base desce devagar. Após algumas voltas sem efeitos notórios, as bolhas dos níveis começam-se a mover. Corrige-se a posição da base nivelante pelos pernos roscados do seu tripé e continua-se a rodar o volante até que a bolha do nível Stiefelmeyer se encontre centrada e o feixe refletido do laser coincida com o emitido. Como o espelho principal se encontra voltado para baixo é possível ver por reflexão as alterações a decorrer nos dois níveis ao mesmo tempo. Após duas horas para acomodação das cargas, os níveis são novamente verificados e a operação fica terminada com o reaperto dos parafusos de bloqueio.

ii. Nivelamento da base azimutal.

Durante o processo de limpeza das bases um elemento do Grupo dos Amigos do CME que tinha trabalhado com o instrumento recomendou ao autor que não movesse a base azimutal já que isso não traria vantagens apreciáveis em termos de limpeza, mas que por outro lado dificultaria bastante o processo de realinhamento. O autor gostaria de agradecer ao Dr. Jorge Carneiro por este conselho tão sábio. No entanto, a descrição do processo de alinhamento do CME não ficaria completa sem uma menção ao procedimento de alinhamento da base azimutal que poderá ser útil no futuro.

O alinhamento é indireto e deve ser feito à noite. Em primeiro lugar há que voltar o espelho para o nadir, levantar o Eixo com o dispositivo de inversão e rodá-lo 90° em

torno do vertical até atingir a mesma configuração que aquela obtida no nivelamento da base de altura. Do abrigo da mira leste, onde existe uma fonte de luz branca e uma lente colimadora com 70 metros de distância focal, emite-se um feixe de luz que entra na cúpula pelo postigo e que se foca num alvo cuja posição é definida por 4 pernos chumbados no pilar oeste, localizado atrás do conjunto motor do Eixo. O feixe, que atravessa as duas munhoneiras e passa por baixo da cavidade do espelho, projeta-se no alvo que consiste de uma folha de vidro o mais fino possível. Esta constitui a direção Este-Oeste de referência pela qual se alinhará a base em questão. Com a luz que é transmitida através do alvo alinha-se um autocolimador montado no posto de colimação axial oeste. Para este procedimento o autocolimador pode ser do tipo Cheshire (ocular de Cheshire) e o seu alinhamento consiste em fazer passar o feixe de referência pelo furo do colimador e daquele emitir um feixe que cruze o ponto projetado no alvo. Com a direção de referência transportada para dentro do abrigo principal, a base de azimute pode começar a ser alinhada. Para tal, monta-se no topo Oeste do Eixo um dos pequenos espelhos auxiliares e posiciona-se o Eixo do CME com os munhões completamente encostados às munhoneiras. A orientação correta da base azimutal será conseguida por autocolimação tendo o espelho auxiliar como superfície de controlo. Para mover a base azimutal é necessário desbloquear os parafusos que a bloqueiam contra o fundo do tanque. O volante oeste pode agora ser atuado até que os feixes emitido e refletido coincidam no autocolimador. Finalizado o procedimento, estes serão novamente apertados.

iii. Pousar o Eixo completamente nas munhoneiras;
iv. Nivelar o espelho com o nível (tanto segundo a direção Norte-Sul como segundo a direção Este-Oeste)
v. Montar o ACD de forma que o ponto do feixe emitido e o refletido coincidam. Verificar a posição do ACD com o nível.
vi. Levantar o Eixo com o SENG, atribuindo igual número de passos aos dois lados, até ao ponto em que as correntes fiquem tensas,
vii. Verificar que não há bamboleamento. Se houver retiram-se alguns passos ao SENG dos dois lados baixando um pouco o Eixo.
viii. Verificar que o engrenamento e o movimento de rotação não sofrem de sobrecarga por atrito nas munhoneiras. Se for necessário sobe-se

ligeiramente até encontrar uma relação de compromisso entre este e o número anterior.

ix. Usar o ACD para refinar a orientação da normal ao espelho no plano do primeiro vertical, com o espelho virado para o zénite, atuando o parafuso de colimação do espelho.

x. Pondo o espelho a rodar com o sistema de pontaria, usando o ACD juntamente com o SENG corrigem-se de modo muito fino os desalinhamentos remanescentes de nivelamento do espelho. Deste modo, consegue-se produzir um nivelamento submicrométrico do conjunto central do CME.

xi. Nivelamento e alinhamento dos colimadores de observação.

Com o espelho bem posicionado para todas as distâncias zenitais, a orientação correta das lunetas é facilmente encontrada por autocolimação. Como o autocolimador digital tem um diâmetro muito maior do que a polegada e um quarto do adaptador do micrómetro registador, usou-se um autocolimador comercial. Neste caso, tal como se pôde comprovar na calibração do sistema de pontaria, os feixes emitido e refletido a partir dos micrómetros registadores são facilmente visíveis na superfície frontal do par colimador pelo que não é necessário olhar para dentro dos tubos para ver os caminhos dos feixes.

Para alinhar o tubo colimador sul, monta-se o autocolimador comercial no micrómetro registador sul e orienta-se o espelho com a normal para sul (AM=180°). Para alinhar o colimador norte, monta-se o autocolimador no micrómetro registador norte e orienta-se o espelho para AM=0°. O alinhamento dos tubos de observação faz-se ajustando os parafusos existentes nos seus suportes. Para alinhar um colimador com o outro utilizou-se o laser do autocolimador digital montado no micrómetro registador sul, o autocolimador comercial no posto Norte. Para permitir a passagem do feixe pelo bloco central, o espelho tem de ser voltado para o nadir (AM=270°) e o Eixo tem de ser levantado pelo dispositivo de inversão separando o dispositivo de suspensão do SENG. A forma da cavidade do Eixo foi feita originalmente de tal forma que os dois micrómetros registadores pudessem ser verificados por autocolimação mútua. O procedimento de alinhamento das lunetas separadamente e em conjunto tem de ser repetido até se encontrar um alinhamento comum. Se isso não for possível é necessário revisitar todos os passos anteriores.

xii. Verificar o correto alinhamento entre cada luneta à vez, a calibração do sistema de pontaria, a colimação do espelho principal e o nivelamento do Eixo.

Esta era uma das utilidades do espelho nadiral. Sem mercúrio procuraram-se outros compostos químicos menos tóxicos com os quais se pudesse reconstruir um espelho líquido com a precisão necessária para a investigação astronómica[24] (Yogev & Efrima, 1991). Entre as várias alternativas consideradas encontram-se as suspensões com nanopartículas de prata (Gingras et al., 2006), as ligas de gálio líquidas à temperatura ambiente, como o Galistan, e o gálio puro (Borra et al., 1997). Destes o Galistan era a opção mais certeira, mas o seu valor comercial de €2000/kg demoveu-nos da sua aquisição. Como forma de ensaiar a utilidade real de um espelho líquido usou-se a superfície livre da água parada num copo. Para tal inclinou-se o espelho principal a AM=225° e desde o micrómetro registador fez-se incidir o laser no espelho, onde o feixe refletiu e se encaminhou verticalmente para a água. No trajeto de regresso, o feixe refletido ficou perfeitamente visível na lente do par colimador acertando em cheio no campo do autocolimador.

[24] Sobre espelhos astronómicos líquídos à base de mercúrio destacam-se os trabalhos de Borra, E. F., Content, R., Girard, L., Szapiel, S., Tremblay, L. M., & Boily, E. (1992). Liquid Mirrors: Optical Shop Tests and Contributions to the Technology. *The Astrophysical Journal*, *393*, 829. https://doi.org/10.1086/171550 , Hickson, P. (1998). Large Zenith Telescope project: a 6-m mercury-mirror telescope. In G. A. H. Walker (Ed.): Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1998. e Feder, T. (2003). Mercury Telescope Spins Up [Article]. *Physics Today*, *56*(11), 24-25. http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=a9h&AN=11275647&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site



Figura 67: Com o espelho inclinado para baixo e para Sul, o feixe laser emitido desde o posto de observação sul reflete perfeitamente num espelho de água parada.

xiii. Verificação pelas estrelas.

Usando o controlador do CME via Stellarium, aponta-se o espelho para a distância zenital correspondente ao trânsito de uma dada estrela. Observando o céu desde o posto sul, aguarda-se o trânsito que deverá ocorrer quando a 2ª linha do mostrador igualar a ascensão reta da estrela. Para que o alinhamento seja perfeito é conveniente montar no micrómetro registador sul uma ocular com retículo iluminado cujo centro se posicionará iterativamente no lugar correspondente ao meridiano. Findo este processo a ocular com retículo iluminado foi substituída pelo CCD, usado no autocolimador, que se ligou à televisão. Desta forma, o mesmo trânsito pode ser observado em tempo real por mais do que uma pessoa. O micrómetro registador do posto norte foi alinhado da mesma forma, com a diferença de que neste caso se deu prevalência a observação visual. Estes modos de observação podem ser alternados.

3.6 Seleção da estrela

No sentido de mostrar os trânsitos perante uma plateia de visitantes, o posto sul foi adaptado à gravação de imagem através da montagem de uma câmara CCD, deixando o posto norte reservado à observação visual. De uma forma geral, o observador tem de preparar a lista de observação consoante o posto que vai usar, norte ou sul. No entanto, por funcionar segundo uma lei de reflexão, existe uma região do céu

em torno do zénite que pode ser observada por qualquer um dos postos. Esta região está compreendida por um círculo de distâncias zenitais inferiores ou iguais a 9°, ou seja, o observador consegue ver um pouco mais além do primeiro vertical. Usando o planetário virtual Stellarium como catálogo, espera-se que o visitante selecione a estrela que pretenda observar. A estrela selecionada tem de ser selecionada antes de ter transitado, o que é facilmente discernível com uma curta explicação: no posto norte, têm de faltar alguns minutos para as 24 horas de ângulo horário e no posto sul têm de faltar alguns minutos para as 12 horas. Os minutos que faltam será o tempo que se irá ter de esperar para se observar o trânsito. Quanto mais afastado o objeto estiver da linha do meridiano, mais tempo ter-se-á de esperar. Além disso, é necessário que a estrela esteja a pelo menos 5 minutos de passar no meridiano para permitir uma estabilização do sistema de pontaria. Para acrescentar uma estrela alvo à lista de observação, o observador faz CTRL+1 com a estrela selecionada sendo automaticamente armazenada a seguinte informação, com vista à determinação da altura do trânsito:

- Nome da estrela no formato HIP XXXXX;
- Ascensão reta na data;
- Declinação na data.

Ainda que no Stellarium seja fornecida uma hora de trânsito TUC (Tempo Universal Coordenado) prevista de trânsito no formato hh:mm, a ideia subjacente à utilização do CME, e mais concretamente à da atividade aqui projetada, é poder determinar a hora ao segundo, ao décimo de segundo e ao centésimo de segundo para acertar relógios e mostrar como se fazia no passado e por isso apresenta-se a hora GMT (Tempo Médio de Greenwich) determinado astronomicamente como se fazia no passado e que o TUC veio substituir. O tempo determinado é apresentado ao público no mostrador montado na parede este da cúpula (Figura 49). Se o utilizador pretender determinar a hora visualmente pode sentar-se no posto norte, esperar que a estrela passe e no momento certo carregar no interrutor e a hora aparecerá no mostrador. Se o grupo for grande, pode-se escolher uma estrela do lado sul do meridiano, esperar pelo seu aparecimento e quando no momento certo espera-se que todos os visitantes pressionem os diversos botões. Esta abordagem é comparável à multiplicação de observações que se fazia no passado, observando as mesmas estrelas ao longo de várias noites.

No mostrador são apresentadas duas horas em duas linhas de números. Na primeira linha apresenta-se a hora GMT é a hora que o público irá usar para acertar relógios. A segunda linha contém o tempo local sideral, igual à ascensão reta da estrela quando esta cruza o meridiano e é usada para determinar a hora GMT.

3.6.1 Determinação da culminação

A altura que uma determinada estrela toma quando cruza o meridiano denomina-se por culminação. Neste momento a estrela toma a sua posição mais elevada no céu.

Durante os ensaios de pontaria, a culminação era determinada de forma rudimentar, mas sistemática, usando um ficheiro Excel auxiliar. O procedimento passava por acelerar o relógio do Stellarium até que a estrela se encontrasse sobre o meridiano. Nesse momento, escrevia-se manualmente a altura no ficheiro Excel que convertia a amplitude angular em formato de graus, minutos e segundos para o formato decimal, dividia por dois (por ser uma reflexão), ajustava o valor ao sistema de referência de altura adaptado para o CME (ver secção 3.6.2) e adicionava-se o ângulo de calibração. Esse valor era então introduzido no Termite sendo enviado ao controlador para inclinar o Espelho na inclinação correta. Antevendo-se a impraticabilidade deste procedimento na perspetiva do visitante utilizador, criou-se um programa em Python que determina a culminação de qualquer estrela selecionada no Stellarium, sem precisar de acelerar o relógio, e que no instante do trânsito mostra o trânsito em tempo real pela câmara CCD em simultâneo com o trânsito no Stellarium. Como a altura de culminação não é uma quantidade gerada automaticamente pelo planetário virtual, é necessário usar as coordenadas equatoriais da estrela selecionada, processá-las externamente e depois enviá-las ao controlador. Para calcular a culminação, o autor criou um algoritmo que é dedicado ao CME. Como termo de comparação, usemos as culminações obtidas pelo Stellarium pelo método do relógio até que a diferença seja mínima.

A expressão (12) permite calcular a culminação de uma estrela através da transformação das coordenadas equatoriais, obtidas do Stellarium, em coordenadas alt-azimutais.

$$\sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos HA \qquad (12)$$

Onde

$$h - altura$$

$$\varphi - latitude\ local$$

$$\delta - declinação\ da\ estrela$$

$$HA - ângulo\ horário$$

A latitude do centro do espelho do CME é:

$$\varphi = 41° 06' 24.4'' = 41 + \frac{6}{60} + \frac{24.4}{3600} = 41.106778° \quad (13)$$

Quando uma estrela cruza o meridiano, o seu ângulo horário pode tomar os seguintes valores:

- 24 horas, se o trânsito ocorrer entre o polo celeste e o horizonte norte;
- 12 horas, se o trânsito ocorrer entre o horizonte Sul e o polo celeste.

Em graus, o ângulo horário (HA) tomará o valor de 0 ou de 180, no instante do trânsito e, portanto, o cosseno de HA será 1 ou -1, respetivamente. Assim, a expressão (12) reduz-se a:

$$h_{calc} = [sin^{-1}(0.65746439 \sin\delta \pm 0.75348562 \cos\delta)] \quad (14)$$

- Se $HA \geq 12\ horas\ (trânsito\ ocorre\ a\ sul\ do\ polo) \rightarrow sinal$ é $+$
- Se $HA < 12\ horas\ (trânsito\ ocorre\ a\ norte\ do\ polo) \rightarrow sinal$ é $-$

No sentido de comparar os resultados obtidos pela expressão (14) com as alturas de culminação fornecidas pelo Stellarium, h_{stel}, determinaram-se as alturas de 5 estrelas localizadas em 4 regiões de interesse do céu que passavam no meridiano no dia 29 de agosto de 2019. As estrelas são:

- Diphda – localizada entre o horizonte sul e a eclítica, $\delta = -17.877417°$;
- Hamal – localizada entre a eclítica e o zénite, $\delta = +23.556111°$;
- YCas – localizada entre o zénite e o polo celeste, $\delta = +60.824444°$;
- Kochab – localizada entre o polo celeste e o horizonte norte, $\delta = 74.074028°$;
- Dubhe – localizada entre o polo celeste e o horizonte norte, $\delta = 61.643722°$;

Tabela 5: Comparação entre as alturas calculadas e as alturas obtidas indiretamente pelo Stellarium

Estrela	Sinal em (14)	h_{calc}	h_{stel}	$h_{calc} - h_{stel}$, em graus
Diphda	+	31.015806	31.043333	-0,0275274
Hamal	+	72.449333	72.454639	-0.0053056
YCas	+	70.282333	70.288333	-0.0060000
Kochab	-	25.180806	25.215944	-0.0351384
Dubhe	-	12.750500	12.821250	-0.070750

Os resultados obtidos (Tabela 5) revelam uma discrepância considerável que se prende com o facto de as alturas fornecidas pelo Stellarium já virem corrigidas para a refração atmosférica. Mas será necessário corrigir para a refração atmosférica num exercício deste tipo?

No posto de observação sul, o CCD utilizado é um Dalsa M2020 com um sensor de 1536 x 2048 pixéis, em que cada pixel mede 3,45 μm de lado. Conjugado com o sistema ótico do colimador de observação, com 200 mm de abertura e uma distância focal de 3029 mm, o CCD cobre um campo de vista de 0,1° x 0.13°. Sendo o sensor retangular há que escolher a sua orientação de montagem. Orientando o lado maior do sensor na vertical para acomodar erros de pontaria, sem correção atmosférica a probabilidade de acertar no alvo é de

$$\epsilon = 1 - \frac{0.070750}{0.13} = 46\%, \qquad (15)$$

um valor manifestamente inaceitável.

De acordo com Saemundsson (1986), a altura calculada pode ser corrigida para a refração usando (16):

$$R = \frac{1.02}{60}\cot\left(h_{calc} + \frac{10.3}{h_{calc} + 5.11}\right) \qquad (16)$$

Onde R é a refração atmosférica em graus. A altura corrigida toma o valor de

$$h_{CCR} = h_{calc} + R \qquad (17)$$

Refazendo os cálculos e comparando os resultados tendo em conta a refração, os resultados são mais animadores. As diferenças em segundos de arco (Tabela 6) revelam que a correção da refração atmosférica é suficiente para objetos a observar no campo de visão de 0,1° x 0,13° do CME, com um erro máximo de 0.8%. Com correção atmosférica, o lado maior do sensor pode ser montado na horizontal para que o observador veja o trânsito durante um período maior.

Tabela 6: Alturas corrigidas para o efeito da refração atmosférica comparadas com as alturas fornecidas pelo Stellarium.

Estrela	R	h_{CCR}	$h_{stellarium}$	$h_{CCR} - h_{stellarium}$ **(arcsec)**
Diphda	0.027959	31.043765	31.043333	1.554
Hamal	0.053333	72.454667	72.454639	0.099
YCas	0.006047	70.288380	70.288333	0.171
Kochab	0.035608	25.216413	25.215944	1.690
Dubhe	0.071763	12.822263	12.821250	3.647

3.6.2 Definição do referencial local do sistema de pontaria

Na criação do novo sistema de pontaria procurou-se construir um referencial pelo qual fosse possível definir uma posição no meridiano por apenas uma coordenada. Esta necessidade advém do facto de a pontaria do CME envolver a rotação do espelho segundo apenas um eixo. A coordenada em questão é a inclinação da normal do espelho em relação ao horizonte. Porém, nenhum dos sistemas de coordenadas existentes fornece uma solução para o problema.

No sistema de coordenadas horizontais, o horizonte é o plano fundamental que vem definido por um versor z-z apontado para o zénite, também designado por vertical do lugar, e os planos que passam pelo vertical do lugar designam-se por planos verticais. A direção do eixo dos x-x, orientado para Sul, define o plano perpendicular ao meridiano que se denomina por Primeiro Vertical. Quando uma estrela se encontra no plano do meridiano, neste sistema de coordenadas a posição de uma estrela é definida pela sua altura em relação ao horizonte, cujo complemento é a distância zenital. Como se depreende, dois lugares diferentes do céu podem ter a mesma distância zenital, se estiverem de lados opostos do vertical do lugar. A distinção faz-se pela introdução de uma segunda coordenada, o azimute. O azimute corresponde ao ângulo medido no

sentido retrógrado entre o Sul e a projeção da posição da estrela no plano fundamental. As estrelas que passam na porção sul do meridiano têm um azimute de 0°, enquanto as estrelas que passam na porção norte têm um azimute de 180°.

No sistema equatorial de coordenadas, o problema é semelhante. No sistema equatorial local, a origem do sistema é a posição do observador. O eixo dos z-z encontra-se orientado para o polo norte celeste que define o equador celeste como plano fundamental. O eixo dos x-x fica orientado para a interseção do ponto mais alto do equador com o plano do meridiano. No plano do meridiano, a posição de uma estrela define-se pela sua declinação que consiste no afastamento angular em relação ao plano do equador, contado de 0° a +90°, no polo norte, voltando a zero na porção não visível do equador. As posições abaixo do equador celeste tomam valores de declinação negativos e no polo sul celestial a declinação é de -90°.

O sistema equatorial de coordenadas conhece duas variantes: o sistema local e o sistema celestial, que diferem na forma como se define uma posição no plano fundamental. No sistema local a posição de uma estrela é definida pelo ângulo horário, contado de 0 a 24 horas, no sentido retrógrado, isto é, do meridiano para oeste. No sistema celestial, a posição de uma estrela é definida pela ascensão reta, contada de 0 a 24 horas, desde o ponto vernal. O ponto vernal é a interseção da eclítica com o equador celeste em que a declinação do Sol é nula e a partir do qual é crescente. Quando o ponto vernal cruza a porção sul do meridiano dá-se o equinócio da Primavera.

Como vimos, tanto no sistema de coordenadas horizontal como no sistema equatorial, quer seja local quer seja celestial, as coordenadas pelas quais se define a posição de um astro no plano do meridiano podem tomar o mesmo valor, quer em magnitude como em sinal, em duas posições equidistantes da origem dessa coordenada e, como tal, é impossível definir a posição de uma estrela com apenas uma coordenada usando os sistemas existentes.

O novo sistema de referenciação de posições do CME devia contemplar três aspetos da observação intimamente relacionados com a atividade de divulgação científica que se pretendia implementar. O novo sistema devia ser capaz de definir univocamente uma posição do céu, para ser interpretada pelo controlador, devia incorporar implicitamente o lado do céu em que a estrela ia passar e devia fornecer informação sobre o tempo que falta para o trânsito ocorrer. Se o sistema horizontal era

o candidato mais óbvio no que diz respeito à inclinação do espelho, a verdade é que o azimute não fornece diretamente o tempo que falta para o trânsito ocorrer. Por outro lado, o sistema equatorial local fornece o tempo que falta, mas a declinação é em muitos casos pouco intuitiva.

No novo referencial local implementado para organizar as observações no CME, que se denominou Altura Modificada, a coordenada da altura do sistema horizontal foi adaptada de forma a torná-la unívoca para os dois lados do meridiano. Contando-se a orientação do espelho a partir do horizonte norte, a inclinação da normal do espelho toma os valores dispostos na Tabela 7.

Tabela 7: Orientação da normal do espelho no sistema de Altura Modificada.

Orientação	Inclinação da normal ao espelho
Norte	0°
Zénite	90°
Sul	180°
Nadir	270°

Por outro lado, utiliza-se a coordenada “ângulo horário” do sistema equatorial local para distinguir o lado do meridiano e fornecer, simultaneamente, o tempo que falta para o trânsito acontecer. No posto de observação sul, por exemplo, uma estrela com um ângulo horário de 23 h 56 m 47 s demora cerca de 3 m 13 s a cruzar o meridiano. Por outro lado, no posto norte, uma estrela com um ângulo horário de 11 h 25 m 56 s irá cruzar o meridiano em 24 minutos e 4 segundos.

Uma vez que a observação através dos colimadores se realiza por reflexão no espelho, a inclinação do espelho em relação à horizontal, independentemente do lado que se observe, é metade da altura da culminação corrigida para a refração a que se soma o ângulo de calibração (18).

$$h_n^* = \frac{1}{2}[h_{CCR,n}] + \Delta_{corr} \quad (18)$$

No sistema de altura modificado a inclinação do espelho é transformada para o lado do meridiano em questão. No contexto desta atividade julga-se razoável limitar a observação do trânsito de estrelas que estejam a meia hora sideral do seu trânsito. Distinguindo 4 regiões características do céu em função da declinação de uma estrela

n , δ_n, e do ângulo horário que falta para se registar o trânsito, HA_n, determinam-se as leis pelas quais o sistema de controlo se regerá para calcular a inclinação apropriada do espelho, I_n, respeitando a orientação unívoca do sistema criado:

- Se $\delta_n < 0 \rightarrow I_n = 180^{\circ} - h_n^*$; (Sul)
- Se $(0 < \delta_n < \varphi \wedge 23{,}5 < HA_n < 24) \rightarrow I_n = 180^{\circ} - h_n^*$; (Sul)
- Se $(\varphi < \delta_n < 90 \wedge 23{,}5 < HA_n < 24) \rightarrow I_n = h_n^*$; (Norte)
- Se $(0 < \delta_n < 90 \wedge 11{,}5 < HA_n < 12^h \rightarrow I_n = h_n^*$ (Norte).

Com HA_n calculado dinamicamente a partir do Tempo Local Sideral, TLS, e da ascensão reta da estrela, α, obtida do Stellarium, por

$$HA = TLS - \alpha \quad (19)$$

3.6.3 Algoritmo para a construção da lista de observação

O cálculo do ângulo horário de uma estrela depende da hora sideral e tem de ser calculada sempre que é necessário introduzir uma nova estrela na lista de observação. Para determinar o ângulo horário é necessário saber o Tempo Local Sideral (TLS) e subtrair a ascensão reta (na data) da estrela em questão, que é um valor fixo e fornecido pelo Stellarium. O TLS pode ser gerado pela aplicação “astroclock-master” baseado no Tempo Sideral Médio de Greenwich (TSMG) através da expressão:

$$TLS = TSMG - 0.57262973(3) \text{ horas} \quad (20)$$

O algoritmo proposto para a lista de observação é o seguinte:

Mostrar a mensagem: “Iniciar atividade?”

Se Sim → Gravar TAI e continuar

Se Não, Espera

Para cada estrela selecionada no Stellarium através de CTRL+1 o programa recebe (HIP, α, δ).

Definir $n \in \mathbb{N}$

Converter α e δ em formato decimal.

Obter TLS e converter em formato decimal.

Determinar HA_n obtido na base decimal.

Se $HA_n \geq 12 \rightarrow sinal +$ no cálculo de h

(significa que o trânsito irá acontecer entre o horizonte norte e o polo norte celeste)

Se $n = 1 \wedge 24^h - HA_n < 0.0833 \rightarrow$ Recusar pedido e escrever a mensagem "A estrela demora menos do que 5 minutos a cruzar o meridiano. Escolher outra estrela."

Se não → Adicionar estrela à lista.

Atualizar TLS.

Atualizar HA para todas as estrelas da lista.

Verificar se alguma estrela na lista já cruzou o meridiano, isto é, se $0 < HA_n < 12$. Em caso afirmativo, bloquear a estrela para efeitos de listagem. Escrever na lista a TLS a que o trânsito ocorreu. Fazer o seguinte:

- $\Delta t_{sideral} = TLS_{transit} - \alpha$;
- Determinar UT1 baseado na $TLS_{transit}$ e gravar sem mostrar;
- Determinar UT1-TAI e mostrar. TAI é o Tempo Atómico Internacional dado pelo PC ligado à internet.

Se não, Continuar.

Ordenar as estrelas de acordo com o HA em ordem crescente.

Se $HA_n - HA_{n-1} < 0.08333 \rightarrow$ Sinalizar as estrelas na lista e escrever: "Que estrela pretende observar?"

Senão, Continuar.

Determinar h;

Determinar I;

Se $36 < I < 45$ → Escrever: "É possível observar o trânsito via CCD ou Visualmente. Qual prefere? Escolha C para CCD e V para Visualmente."

Se C → $I = 180 - I$;

If V → $I = I$;

Se $135 < I < 144$ → Escrever: "É possivel observar o trânsito via CCD ou Visualmente. Qual prefere? Escolha C para CCD e V para Visualmente."

Se C → $I = I$;

Se V → $I = 180 - I$;

Se não → $sinal -$ no cálculo de h

Se $n = 1 \wedge 12^h - HA_n < 0.08333$ → Recusar pedido e escrever a mensagem "A estrela demora menos do que 5 minutos a cruzar o meridiano. Escolher outra estrela."

Senão → Adicionar estrela à lista.

Atualizar TLS.

Atualizar HA para todas as estrelas da lista.

Verificar se alguma estrela da lista já cruzou o meridiano, i.e., se $12 < HA_n < 24$. Em caso afirmativo, bloquear a estrela para efeitos de listagem. Escrever na lista a TLS a que o trânsito ocorreu. Fazer o seguinte:

- $\Delta t_{sideral} = TLS_{transit} - \alpha$;
- Determinar UT1 baseado no $TLS_{transit}$ e gravar sem mostrar;
- Determinar UT1-TAI e mostrar à frente da entrada da estrela da lista.

Se não, continuar.

Determinar h;

Determinar I;

Se $36 < I < 45$ → Escrever: "É possível observar o trânsito via CCD ou Visualmente. Qual prefere? Escolha C para CCD e V para Visualmente."

Se C → $I = 180 - I$;

Se V → $I = I$;

Se $135 < I < 144$ → Escrever: "É possível observar o trânsito via CCD ou Visualmente. Qual prefere? Escolha C para CCD e V para Visualmente."

Se C → $I = I$;

Se V → $I = 180 - I$;

Depois de transcorrida uma hora em TAI mostrar na segunda linha do Mostrador a hora em TLS calculada por:

$$TLS(astroclock) + \overline{\Delta t}_{sideral},$$

Em que $\overline{\Delta t}_{sideral}$ é a média dos erros dos vários trânsitos.

Usar a nova hora em TLS para determinar UT1 = GMT e mostrar na primeira linha do Mostrador. A determinação da UT1 baseada na nova hora em TLS é apresentada na próxima secção.

3.6.4 Determinação de UT1 baseada na nova TLS

Os círculos meridianos podem ser usados para determinar UT1 a partir da hora sideral local a que o trânsito de uma estrela conhecida ocorre. Para tal é necessário saber a data Juliana e a ascensão reta da estrela. O TLS, é por sua vez determinado a partir do Tempo Sideral Médio de Greenwich (TSMG) quando afetado da longitude do local de observação em relação a Greenwich pela expressão (21) que é equivalente a (20). Nos observatórios astronómicos é frequente encontrar relógios de marcha sideral que conservam o TLS, e que por sua vez são acertados por observação nos círculos meridianos.

$$TSMG = TLS + (longitude\ a\ oeste\ de\ Greenwich) * \left(\frac{24}{360}\right) \quad (21)$$

As coordenadas geográficas do CME são

Latitude = 41.106779° N

Longitude = 8.589446° W.

UT1 pode ser determinado usando as expressões seguintes

$$\mathrm{TSMG} = 18.697374558 + 24.06570982441908\,D \quad (22)$$

$$D = DJ - 2451545.0 \quad (23)$$

A Data Juliana[25], DJ, representa o número de dias decorridos entre as 12h do dia 1 de janeiro de 4713 a.C. e o dia do trânsito e pode ser calculada por

$$DJ = 2451544 + 365(Y - 2000) + N + L - 0{,}5 \quad (24)$$

Onde *Y* é o ano corrente, *N* é o número de dias desde o início do ano e *L* é o número de anos bissextos desde o ano 2000 (P. Y. Bely, 2003).

Exemplo de determinação de UT1

Na noite de 4 de Dezembro de 2018, observa-se o trânsito da estrela Diphda (HIP 3419) com o intuito de determinar UT1. Esta estrela tem uma magnitude de observação confortável de 2.00. Como qualquer estrela da esfera celeste, Diphda tem as suas coordenadas equatoriais definidas em termos de ascensão reta e declinação pelo par (α, δ). As coordenadas de Diphda são (0h44m33.05s; -17°52'53,5'').

Quando a estrela cruza o meridiano, no relógio do observatório lê-se:

TLS = 00 h 44 m 34.1 s

Para proceder ao cálculo de UT1, o TLS tem de ser convertido para a base decimal:

[25] O calendário Juliano pode ser consultado em https://landweb.modaps.eosdis.nasa.gov/browse/calendar.html
As datas Julianas podem ser obtidas diretamente de https://aa.usno.navy.mil/data/docs/JulianDate.php

$$TLS\ (base\ decimal) = TLS(hh) + \frac{TLS(minutos)}{60} + \frac{TLS(segundos)}{3600} \quad (25)$$

Que resulta em

$$TLS = 00\ h\ 44\ m\ 34{,}1\ s = 0{,}742805556\ horas.$$

O Tempo Sideral Médio de Greenwich (TSMG) é determinado por (21):

$$TSMG = 0.742805556 + 8.589446 * \left(\frac{24}{360}\right) = 1.315435289\ horas$$

Para obter a hora em Tempo Universal é necessário determinar DJ_0, isto é, a data Juliana às 0 horas de tempo universal do dia da observação. Para usar a expressão (24), usam-se os seguintes valores:

Y = 2018;

N = 338 dias desde o início do ano;

L= 5 anos bissextos desde 2000 (2000, 2004, 2008, 2012, 2016).

Da expressão (24) obtemos $DJ_0 = 2458456.500000$. De seguida, usa-se a expressão (22) que como se percebe só funciona no sentido em que está escrita. Se soubéssemos de antemão "D", o resultado de TSMG seria um número grande que teria de ser reduzido à base $0^h - 24^h$. Como não conhecemos "D", precisamos de determinar o valor inteiro apropriado para TSMG. Para o fazer, determinamos um TSMG para o mesmo dia às 0 horas de UT1, isto é, $TMSG(D_0)$. Da equação (23) determina-se D_0:

$$D_0 = DJ_0 - 2451545.0 = 6911.5$$

Da equação (22) vem que

$$TSMG(D_0) = 166348.85082603047142\ horas$$

Reduzindo $TSMG(D_0)$ para a base $0^h - 24^h$ obtemos:

$$Resto = Mod[TSMG(D_0); 24] = 4.85082603047142\ horas \quad (26)$$

Que é útil para verificar se o trânsito ocorreu a uma hora TSMG depois de UT1=0 ou antes.

Neste caso temos $TSMG(D) = 1.315435289\ horas$

E $$TSMG(D_0) = 4.850826031\ horas$$

Que não pode acontecer.

Subtraindo o resto ao $TSMG(D_0)$ não reduzido, calculado previamente e dividindo por 24, obtemos o número Φ de vezes que teremos de adicionar 24 horas a $TSMG(D)$ para que a equação (22) também funcione no sentido contrário. Se $TSMG(D) < TSMG(D_0)$ teremos de adicionar um dia extra a Φ, já que o trânsito não pode acontecer antes de começar o dia, ou seja, $TSMG(UT1 = 0\ horas)$. Assim,

$$\Phi = \frac{[\,TSMG(D_0)\ não\ reduzido - Resto]}{24} + 1 = 6932.0 \qquad (27)$$

E

$$TSMG(D) = 6932.0 * 24 + 1.315435289 = 166369.3154352890\ horas$$

Das expressões (22) e (23) obtém-se que:

$$D = 6912.350363833370;\ DJ = 2458457.350363830$$

Finalmente, a hora a que o trânsito ocorreu em Tempo Universal deduz-se a partir da Data Juliana em comparação com a data Juliana do início do dia em que ocorreu o trânsito:

$$UT1 = DJ - DJ_0 = 0.850363833364099\ UT\ dias$$
$$= 20\ horas\ 24\ minutos\ 31.43520266\ segundos$$

.

4. Restauro funcional do Telescópio de 30''

4.1 Introdução

O Telescópio de 30'' baseia-se num sistema ótico do estilo Cassegrain em que o espelho primário tem um diâmetro útil de 757 mm e uma distância focal de 3044 mm. O furo central no espelho primário, característico dos sistemas Cassegrain, permite a sua utilização em duas configurações distintas. No sentido de cumprir o desígnio para o qual foi adquirido, a reflexão no espelho primário encaminha a luz para um corretor de Wynne (1972, p. 146) de 4 elementos, designado por corretor paraboloide, onde se corrigem as aberrações de von Seidel (Rutten et al., 1988).

Originalmente, o registo fotográfico era feito através de chapas de vidro impregnadas com brometo de prata que eram montadas à saída do corretor cujo círculo iluminado mede 117 mm de diâmetro. No conjunto, o espelho primário e o corretor paraboloide de Wynne produzem um sistema ótico de razão focal de 4,063 permitindo a captura de uma região de céu correspondente a um diâmetro de 2°, com uma dispersão máxima de aberrações de 2 segundos de arco ao longo de todo o campo. O desenho ótico deste corrector foi também usado no grande telescópio de 200 polegadas do Monte Palomar e no telescópio Isaac Newton localizado na ilha de La Palma, nos quais se produz uma dispersão de meio segundo de arco ao longo de 25 e 40 minutos de arco de diâmetro do foco primário, respectivamente, numa gama espetral entre os 365 nm e os 1014 nm de comprimento de onda. Os três telescópios foram construídos pela Grubb & Parsons e os três corretores foram projetados pelo Prof. Wynne e construídos pela empresa Optical Surfaces Ltd.

O segundo esquema ótico possível constitui-se com a interposição de um espelho secundário à entrada do corretor paraboloide, interrompendo-se o caminho da luz atrás referido. A luz passa a ser refletida no sentido do espelho primário atravessando o seu furo central, formando-se a imagem atrás dele. Nesta configuração, o sistema ótico passa a ter uma razão focal de 12,18 o que permite a utilização do telescópio em atividades nas quais se pretenda a observação de corpos celestes individualmente ou onde seja necessária a montagem de equipamentos de até 300 kg, como por exemplo, um espectrógrafo profissional.

Montadas no tubo ótico existem duas lunetas refratoras auxiliares: o buscador e a luneta de guiagem. O conjunto encontra-se montado numa estrutura a que se dá o nome de “montagem” que permite compensar o movimento de rotação da Terra e, no caso presente, esse movimento consegue-se através da rotação do conjunto ótico em torno do eixo polar. Uma montagem que acompanha o movimento do céu através da rotação segundo apenas um eixo designa-se por montagem equatorial onde o eixo de rotação se encontra alinhado paralelamente ao eixo de rotação da Terra. A carga produzida sobre o motor devida ao peso do tubo ótico é compensada por ação de um contrapeso e por este motivo a montagem equatorial diz-se assimétrica. A montagem equatorial assimétrica é ainda apelidada de “alemã”, quando o lado do eixo polar oposto ao mecanismo de seguimento não se encontra apoiado (P. Y. Bely, 2003).

Originalmente, a pontaria do Telescópio de 30’’ era feita manualmente e o procedimento fazia-se do seguinte modo. A primeira aproximação à posição de um astro fazia-se pelo buscador. O alvo era fixado no campo fotográfico pela atuação manual do travão de declinação bloqueando o movimento do tubo, segundo o eixo de declinação, em relação ao eixo polar. O movimento do telescópio segundo o eixo polar era travado em relação à Terra pela atuação manual do travão polar. Para que a pontaria não se alterasse entre o momento da visada e o momento em que o observador atuava os diversos travões, impunha-se que o telescópio estivesse perfeitamente equilibrado. A partir do momento em que o telescópio se encontra bloqueado em relação à Terra, ligava-se o mecanismo de seguimento do céu e procedia-se à centragem de uma estrela de referência que se sabia próxima do objeto a fotografar, no retículo da luneta de guiagem. O ajuste fino em ângulo horário faz-se pela aceleração momentânea do motor do mecanismo de seguimento. Por outro lado, o ajuste em declinação resulta da atuação

elétrica de um fuso roscado existente no tubo ótico cuja reação o faz mover em relação ao cubo do eixo polar.

O sistema de controlo implementado originalmente visava manter a velocidade de rotação do telescópio (velocidade sideral) ao longo do período de exposição e consistia na correção da diferença entre a velocidade de rotação do motor polar, obtida por um encoder, e a marcha sideral teórica gerada por um oscilador. A variação da marcha do motor polar provocada por pequenas flutuações na tensão da rede ou induzida pela interferência radioelétrica, aliada a desalinhamentos na orientação da montagem, a desalinhamentos relativos entre componentes mecânicos e devidos a pequenos erros geométricos decorrentes do processo de fabricação (erros periódicos) produzem um desfasamento entre o telescópio e o céu que se agrava com o tempo. Durante o período de funcionamento do Telescópio de 30'', a correção da pontaria durante o seguimento fazia-se pela monitorização visual da estrela de referência ao longo da exposição. Desta forma procurava-se minimizar a dispersão fotónica que limitava o registo de objetos mais ténues.

Na era do registo fotográfico em placas de vidro impregnadas com brometo de prata, o seguimento revestia-se de especial importância dado que a sensibilidade do suporte rondava os 1%. O suporte apresentava um comportamento não linear e a sua eficiência dependia do tamanho do grão. Quando hipersensibilizadas imediatamente antes da sua utilização, em fornos de atmosfera controlada, a eficiência quântica equivalente poderia atingir 2.5%, na melhor das hipóteses. Os primeiros CCDs apareceram nos anos 1970 e embora, inicialmente, de pequenas dimensões, apresentavam sensibilidades da ordem dos 60%. No final dos anos 1980, os maiores sensores tinham um tamanho de um milhão de pixéis, mas a revolução na imagiologia astronómica tardava-se pela inexistência de tecnologia capaz de processar a quantidade de informação produzida por um sensor com a mesma área que uma chapa standard. A título de comparação, nas placas Kodak 14''x 14'' (35 x 35 cm) usadas no telescópio Oshin de 48'' do Monte Palomar cabiam $5\ x\ 10^9$ pixéis.

Atualmente, os CCD podem atingir eficiências da ordem dos 96% e os sistemas digitais substituíram completamente as chapas fotográficas tanto no registo como no acompanhamento visual das estrelas de controlo. Distinguem-se três formas de manter o telescópio sincronizado com o céu. A forma mais conservadora de o fazer consiste na

montagem de um sensor na luneta de guiagem com a qual se monitoriza a posição do centróide da estrela de controlo em relação a um pixel de referência. Neste sistema, o desalinhamento relativo entre a luneta de guiagem e o sistema ótico principal pode originar erros diferenciais, cujo efeito é função da declinação do objeto. Há, por outro lado, sistemas de guiagem que se servem do trem ótico pelo qual se fotografa o objeto de interesse, utilizando estrelas localizadas na parte mais periférica da imagem. Nestes sistemas, conhecidos por sistemas fora de eixo ou "off-axis", a parte da imagem da borda do círculo iluminado é transmitida por um prisma a um sensor montado perpendicularmente ao sensor principal. Por último, existem os sistemas de autoguiagem ("self-guiding"), um esquema desenvolvido pela SBIG ® para câmaras de dimensões superiores ao full-frame, nos quais o sensor de guiagem aparece montado na periferia do sensor, formando um corpo monolítico de registo/guiagem (Holmes & Longmire, 1996). Esta solução requer, no entanto, sistemas óticos com um círculo iluminado com um diâmetro tal que o sensor de guiagem, que se encontra na orla exterior do sensor principal, fique uniformemente iluminado.

Uma vez que o sistema ótico do Telescópio de 30'' produz em foco primário um círculo iluminado de 117 mm de diâmetro, no sentido de o aproveitar com o orçamento disponível, adquiriu-se uma câmara SBIG, modelo STX 16803, com um sensor quadrado de 52 mm de diagonal e que comporta o último esquema de guiagem referido. Esta solução usa apenas um terço do campo disponível, mas permite manter a luneta de guiagem livre para outras aplicações.

O Telescópio de 30'' foi restaurado funcionalmente com vista à sua utilização em atividades de divulgação e de investigação científica. O projeto pode ser dividido em três partes conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Planeamento do projeto de restauro funcional do Telescópio de 30''

Parte	Fase	Descrição
I		Recuperação
	1	Construção do modelo virtual 3D
	2	Planeamento da desmontagem e seleção do esquema de pintura
	3	Reparações e remontagem
	4	Novo sistema de gestão de cabos
	5	Montagem de encoders de posicionamento e teste do sistema
	6	Requalificação do edifício
II		Reapetrechamento com vista à investigação científica
	7	Projeto e montagem do sistema de aquisição digital de imagem
	8	Projeto e montagem de nova motorização e controlo
III		Planeamento de atividade para a divulgação científica
	9	Espectrometria astronómica

4.2 Recuperação do instrumento

Os “travões” do telescópio pelos quais se comuta entre a pontaria manual e o ajuste fino ou, no caso polar, o seguimento, consistem numa pinça solidária com a parte movida que ao “morder” um disco de inox solidário com a parte motora recebe o movimento imposta por esta. A designação de “travão” resulta do estado de bloqueio em que as duas partes se encontram quando aquele é atuado. Porque o último andar da cadeia cinemática, tanto no eixo polar como no de declinação, se faz de forma irreversível, o travão confere ao operador segurança em caso de desequilíbrio. No caso do eixo polar, a irreversibilidade consegue-se por um parafuso sem-fim que está engrenado numa roda de coroa com 720 dentes solidária com o prato de inox. No caso do eixo de declinação, é um fuso roscado numa bucha solidária com o prato que uma vez travado nenhum movimento é possível a não ser aquele imposto propositadamente pelos respetivos motores. Por este motivo, todas as operações de manutenção, a desmontagem de contrapesos e equipamentos devem ser realizados com os travões atuados pois o binário resultante do desequilíbrio não se reflete num movimento indesejado do telescópio, pelo menos até ao ponto em que o binário crítico decorrente do aperto dos travões é atingido. Por outro lado, é o travão polar que garante a boa



Figura 68: O travão polar desmontado. À esquerda pode-se ver o disco repleto de manchas negras. À direita, os calços negros impregnados de óleo.

transmissão entre o mecanismo de seguimento e o telescópio. No início de cada longa exposição, os dois travões devem encontrar-se atuados e em perfeitas condições. Os travões têm assim a tripla funcionalidade de pararem o telescópio em caso de emergência, conservarem-no numa posição segura para realizar operações de manutenção e conservarem o alvo imóvel no campo fotográfico, mantendo a configuração interaxial durante o seguimento numa dada noite de observação.

A intervenção no Telescópio de 30'' foi motivada inicialmente pela recuperação do seguimento sideral como valência indispensável à sua utilização no âmbito de atividades de divulgação. Na companhia de astrónomos mais experimentados foram feitas algumas observações noturnas onde se pôde concluir claramente que o telescópio era incapaz de conservar o alvo. A primeira suspeita recaiu sobre o estado do motor polar, marca PML, modelo G9M4T. Desde a última utilização tinham passado 30 anos, o local era extremamente húmido e só isso bastaria para o degradar. Testado na oficina de eletrónica da FCUP, com um *encoder* montado no veio de saída a fim de medir a velocidade para uma tensão e corrente pré-determinadas, concluiu-se que não só não atingia a velocidade nominal como esta oscilava. Como o motor era blindado, era pouco provável que a razão do seu mau funcionamento fosse ambiental o que levou a concluir que, a dada altura o motor teria sido esforçado.

No relato dos astrónomos figurava outro apontamento relevante. Segundo eles o manípulo dos travões, principalmente o do travão polar, era demasiado pequeno para a força que era necessário aplicar. O travão (Figura 68) é formado por um par de patins cuja função é morder o disco de inox para que a parte movida seja transportada com o disco motor. A interface com o disco faz-se pelo contacto de dois pequenos retângulos de um material têxtil que se encontravam impregnados de óleo. O disco que os patins

deviam bloquear estava repleto de marcas circunferenciais formando um rasto pastoso de resíduos. O contacto que devia ser limpo e seco encontrava-se lubrificado de tal forma que o bloqueio nunca seria possível nos moldes definidos pelo fabricante.

Se os calços dos travões podiam ser substituídos com facilidade, o mesmo não se pode dizer dos discos, cuja limpeza e correção conveniente do problema, implicava a desmontagem do telescópio.

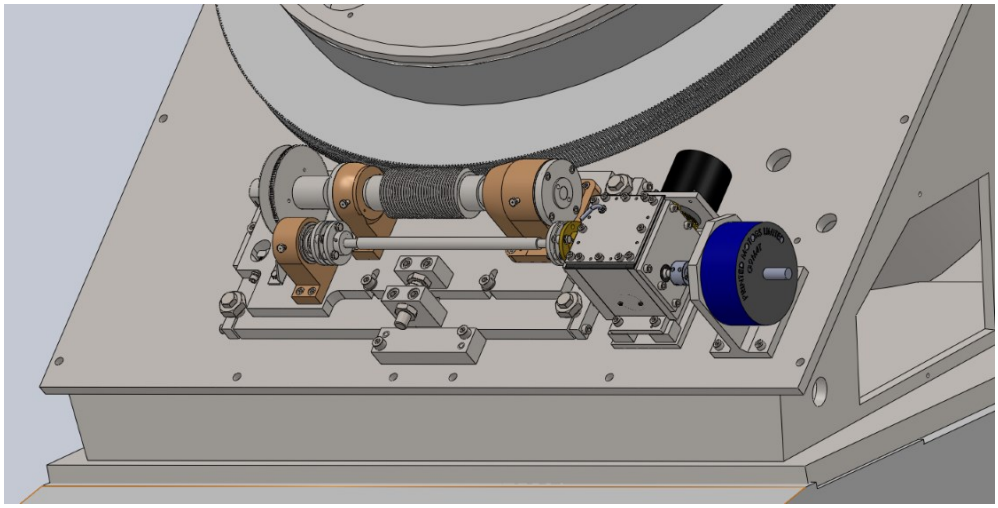


Figura 69: Modelo tridimensional do mecanismo de seguimento. O motor é ilustrado pelo corpo azul à direita..

O motor danificado foi substituído por um motor de corrente contínua de características similares ao original, bastante económico e cuja facilidade de operação o tornavam ideal para os testes que se avizinhavam. Ao manípulo do travão polar foi soldado um braço de 30 cm através do qual se conseguia exercer um aperto superior. Para avaliar o impacto da intervenção inicial decidiu-se comparar o movimento da roda motora com a roda movida através da marcação das duas rodas com um traço. Ao fim de trinta minutos tornar-se-ia evidente que a transmissão se continuava a fazer de forma bastante imperfeita. Não só o afastamento entre traços era perfeitamente percetível, como também se produziam estalidos metálicos de forma periódica que se concluiu serem originários do disco de inox a libertar energia durante carregamentos cíclicos fruto do desequilíbrio do telescópio.

A ideia de desmontagem foi ganhando força à medida que o trabalho se foi desenvolvendo. Por um lado, o telescópio apresentava sinais importantes de corrosão que deviam ser tratados e aquela era a altura perfeita para o fazer. Por outro lado, havia a intenção de desengordurar os discos da transmissão para a melhorar, mas não só.

Outra peça importante no relato dos astrónomos era que, no passado, talvez no início, o telescópio era tão leve que se conseguia apontar com um dedo. Pela força que era preciso fazer para o mover estava mais que na hora para fazer uma revisão profunda e aproveitar para retirar as massas secas dos rolamentos, lavá-los e lubrificá-los de novo, com a vantagem de se ficar a conhecer a sua marca e modelo e assim conseguir definir melhor as partes mecânicas do telescópio. Da visibilidade pública que o observatório foi ganhando com a abertura do Círculo Meridiano de Espelho, produziram-se contactos com algumas empresas que mostraram interesse em participar neste projeto. Uma delas foi a IDEMEL que decapou, metalizou e aplicou o esquema de pintura indicado pela CIN, onde se enfatiza a quantidade de camadas protetoras contra a corrosão:

1) Decapagem Grau Sa 2 ½
2) Metalização a 40 µm
3) Aplicação de 1 demão primário 7k-200 C-Poxprimer ZP 200 HB
4) Aplicação de 1 demão intermédio 7L-140 C-Pox S140 Mio
5) Aplicação de 2 demãos acabamento 7P-610 C-thane S610 Sat.

A desmontagem do telescópio permitiu determinar com maior segurança a forma das peças, definindo-as completamente a nível geométrico no modelo tridimensional[26]. No entanto, seria só depois das peças serem decapadas, metalizadas e pintadas, que estas seriam pesadas individualmente para assim se dotar o modelo tridimensional de uma distribuição fidedigna das massas envolvidas. Desta forma, pôde-se determinar qual seria a disposição ideal dos vários contrapesos por forma a fazer coincidir a posição do centro de gravidade da parte do telescópio que roda em declinação e do centro de gravidade do conjunto que roda em torno do eixo polar, sobre os respetivos eixos de rotação, minimizando-se o impacto sobre o motor. O modelo tridimensional fidedigno permitiu preparar duas configurações inerciais equilibradas do telescópio, uma para a sua utilização em foco primário (com CCD) e outra para utilização visual em foco Cassegrain.

[26] Os desenhos e modelos tridimensionais do Telescópio de 30'' encontram-se disponíveis para consulta em

https://drive.google.com/drive/folders/11kECA0lxVMlkvjLDo0mhG-Fwp4-9QonM?usp=sharing

A propósito da desmontagem do telescópio procedeu-se também à realuminização dos espelhos primário e secundário e a limpeza do corretor parabolóide. Os espelhos foram enviados para o observatório de Calar Alto, em Almeria, Espanha, onde existe uma câmara de eletrodeposição de alumínio suficientemente grande para o espelho de 76 cm de diâmetro. O corretor parabolóide foi limpo na empresa Macrozoom no Porto.

A correção do problema do seguimento envolveu a consulta de literatura da especialidade e vários ensaios no local que permitiram concluir que o problema se devia a uma distribuição errada das massas produzindo um desequilíbrio na montagem. A distribuição correta da carga é fundamental numa montagem equatorial porque o controlo automático é desenhado para um sistema perfeitamente equilibrado em que a corrente nominal do motor é definida em função do binário de arranque que é por sua vez calculado pelo produto do momento de inércia do objeto a mover pela aceleração angular inicial. Os desequilíbrios acarretam a necessidade de acelerar o conjunto conforme a marcha medida pelo encoder que é tão mais difícil de controlar quanto maior a inércia. Na cadeia cinemática da parte polar da montagem as cerca de 1000 rpm do motor polar são divididas pela razão de transmissão (i = 1 289 520) no sentido de se obter a velocidade sideral para efeitos de seguimento. À saída, o binário disponível é muito maior do que o necessário e corresponde ao produto da razão de transmissão pelo binário do motor descontados os rendimentos das engrenagens. Uma reconfiguração inercial mal feita na alternância de sistema ótico, ou posicionamento incorreto das lunetas, etc., produz um estado em que o telescópio, com o excesso de binário disponível, continua capaz de rodar, mas fá-lo aos solavancos, precisamente pela incapacidade do controlador em corrigir as oscilações originadas pelos desprendimentos de energia no disco de inox da transmissão.

Além da substituição do motor polar e da intervenção sobre os travões, a recuperação do seguimento envolveu também a substituição da cablagem do telescópio por cabos isolados contra o campo radioelétrico emanado pelas antenas que circundam o observatório, por se considerar que este interferia nos sistemas eletrónicos. Esta medida vinha ao encontro da análise efetuada pelos peritos da ANACOM cujos resultados foram confirmados de forma independente por medições feitas pelo pessoal do observatório. Assim, procedeu-se a substituição dos cabos por outros revestidos com malha metálica.

Para o teste do mecanismo de seguimento, antevendo discrepâncias muito pequenas entre a roda motora e a roda movida, adquiram-se dois *encoders*, um para cada roda a medir. Os *encoders* são do tipo incremental da marca Baumer, modelo G0355, com 80.000 pulsos por revolução, acoplados a rodas de medição (Baumer MR752.10A) com um diâmetro de 97.02 mm que ficam encostadas às faces laterais das rodas a medir. A relação entre as rodas de medição e a roda movida é de 1:7.8849, o que produz uma resolução de medição de 2 segundos de arco por passo de *encoder*. Para a montagem dos *encoders* foi construído um par de suportes ajustáveis em altura e na direção radial. A intervenção revelou-se bem-sucedida na medida em que os estalidos metálicos deixaram de existir e as diferenças nas contagens dos *encoders* eram nulas de forma sistemática. No entanto, persistia uma certa oscilação de velocidade que se atribuiu, por um lado, ao facto de não ter sido feito um *tuning* do controlador tão refinado quanto era desejável e, por outro, à existência de cargas móveis cujo impacto tinha sido ignorado até então, devidos à disposição desorganizada dos cabos elétricos cuja posição se ia alterando à medida que o telescópio se movia e que prejudicavam o equilíbrio da montagem.

Para facilitar a pontaria do telescópio ligeiramente desequilibrado, os travões manuais foram substituídos por travões elétricos, acrescentando-se deste modo uma mais-valia importante à operacionalidade do instrumento. A alteração nos dispositivos dos travões consistiu na substituição dos manípulos, outrora pequenos em diâmetro, por um motorredutor cujo curso angular do veio de saída é ajustável por um par de pivots de fins de curso. Os travões elétricos foram desenvolvidos pelo autor no observatório. Garante-se desta forma o aperto suficiente para uma boa transmissão de movimento, sem haver esmagamento excessivo do prato de inox, conservando simultaneamente a possibilidade de escorregamento se se aplicarem mais do que 5 kg na extremidade do tubo, condição de segurança definida pelo fabricante.

Se a introdução dos travões elétricos facilitou a pontaria, o facto de se acrescentar mais cabos ao telescópio agravou o problema do desequilíbrio para efeitos de seguimento. Isto motivou o planeamento e implementação de um novo esquema da cablagem que percorre as partes móveis do telescópio sem que interfiram com a configuração inercial do telescópio.

O tema da substituição da cablagem no Telescópio de 30'' reveste-se de alguma complexidade. Além das cargas que se podem considerar fixas num telescópio em rotação, como os contrapesos, as lunetas auxiliares ou o corretor, cuja posição pode ser ajustada, existem outras cuja posição é alterada inadvertidamente no decurso do movimento do telescópio, por ação da gravidade ou do vento, e que se consideram móveis. Antes da intervenção, os cabos elétricos formavam uma carga móvel cujo centro de gravidade do conjunto variava consoante a configuração interaxial. Por opção do construtor, o caminho de cabos fazia-se pela orla exterior do instrumento e, à medida que o telescópio ia rodando, o setor que fazia a ligação entre o bastidor e o cubo ia-se enrolando à volta do eixo polar aumentando a carga sobre o motor. Por outro lado, o sector que fazia a ligação entre o cubo do eixo polar e o tubo ótico formava uma laçada que ficava a oscilar ao vento. Dependendo da posição do alvo, os cabos ora ficavam totalmente suspensos, ora parcialmente pousados no chão, alterando a carga sobre o motor. P. Y. Bely (2003, p.245) destaca a cablagem como uma fonte de perturbação comum ao bom seguimento. Com o intuito de minorar a influência dos movimentos erráticos dos cabos sobre a marcha delicada do telescópio, adotou-se uma nova configuração da cablagem que passou por fazer seguir todos os cabos por dentro do eixo polar. Com a previsão de ter de desmontar o telescópio e transportá-lo para uma localização remota, o caminho de cabos foi dividido em três setores, ligados entre si por fichas de múltiplos condutores. Os 3 setores considerados são:

1) Entre o bastidor e a caixa de derivação inferior;
2) Entre a base do eixo polar e o cubo, formado pelos cabos de torção;
3) Entre o cubo e o corretor parabolóide na extremidade do tubo ótico.

A separação entre o primeiro e o segundo setores faz-se por fichas de parede montadas na caixa de derivação que podem ser facilmente desligadas. Parte dos cabos seguem para o mecanismo de seguimento entrando na montagem pela lateral. Os cabos destinados ao mecanismo de ajuste fino do eixo de declinação e sistemas do tubo ótico separam-se dos anteriores na caixa de derivação inferior e são encaminhados pelo interior do eixo polar. Como neste sector há uma solicitação de torção, os cabos encontram-se fixados nas extremidades. Se tal não acontecesse, também o primeiro e terceiro setores seriam sujeitos a torção para o que não estão preparados. A ligação entre o segundo e o terceiro setor faz-se dentro do cubo do eixo polar que é oco. Dado o reduzido espaço existente dentro deste, a tampa que fica no alinhamento do eixo

polar, foi substituída por um suporte de tal forma robusto que lhe pudessem ser fixados os cabos de torção, mas que também servisse de apoio ao *encoder* de posicionamento do eixo de declinação. O *encoder* é do tipo incremental, da marca Baumer com 80.000 pontos. O suporte consiste numa chapa de aço metalizado de 12 mm de espessura, com três rasgos pelos quais se faz o ajuste da distância entre os eixos da roda de medição do *encoder* e a tampa dos rolamentos do eixo de declinação que é a roda cuja posição se pretende medir. O ajuste da posição do *encoder* na direção axial é feito numa carruagem de inox finamente maquinada com pistas em latão e parafusos de ajuste e bloqueio. Na tampa onde a chapa de suporte se encontra soldada foi aberta uma janela quadrangular por onde passam os cabos que formam o início do terceiro setor, depois de terem sido convertidos em cabos normais através de conetores metálicos. A transição entre o cubo do eixo polar e o tubo ótico faz-se agora de forma organizada através da utilização de uma calha articulada. Na solução implementada, uma extremidade da calha encontra-se solidária com o cubo, mais propriamente montada no prato que contém a escala do eixo de declinação, enquanto a outra "viaja" com a parte traseira do tubo ótico formando uma laçada que se move com o telescópio. Para amparar a calha articulada nas inversões do eixo polar, isto é, naquelas posições em que o tubo passa para cima do cubo e a calha tem tendência a ficar suspensa, foi construído um braço de suporte no qual a calha desliza. Quando chegam ao tubo, parte dos cabos ficam na parte traseira (aqueles destinados à iluminação dos retículos das lunetas e alimentação de 220V) e o resto segue pelos braços da treliça rumo à caixa de derivação do corretor servindo o motor do corretor, o motor da cortina, e a câmara CCD para a qual há que contar com a alimentação, um cabo USB e um cabo RJ45 usados alternativamente. A meio caminho, uma parte dos cabos serve o mecanismo fino de declinação com o seu motor e fins de curso.

O passo seguinte consistiu no alinhamento das partes óticas. Para este efeito, o autor pode contar com a orientação do Professor Doutor Rui Agostinho, diretor do Observatório Astronómico de Lisboa a quem muito agradece. O processo foi o seguinte:

1) No focador montado na célula do espelho primário montou-se um laser Howie Glater com saída de feixe linear. Num primeiro passo é necessário garantir que o laser entra justo no focador e que este se encontra perpendicular em relação à célula. Para tal, roda-se o laser e observa-se se

o ponto vermelho muda de posição no espelho secundário. No nosso caso mudava e foi necessário fabricar um casquilho de ajuste.

2) O segundo passo consiste no posicionamento do espelho secundário. Para tal, troca-se a saída do laser por uma de anéis concêntricos. Projetando o laser ao espelho secundário, procura-se centrar o espelho com os anéis atuando os pernos de ajuste fino movimentando o espelho no plano perpendicular ao eixo ótico.
3) O terceiro passo consiste em centrar a imagem refletida pelo espelho secundário no espelho primário, para o que se ajustam os parafusos da célula do espelho secundário inclinando-o em relação ao plano definido pelo eixo ótico. Quando os anéis aparecem centrados com o espelho primário passa-se à fase seguinte.
4) O último passo consiste em centrar a imagem refletida pelo espelho primário na sombra da obstrução gerada pelo suporte do espelho secundário, numa parede branca, por ajuste dos parafusos da célula do espelho primário.

A partir do momento em que se podiam fazer observações, o telescópio foi incluído no plano de visitas guiadas diurnas durante as quais se podia observar a Lua quando esta aparecia. No que diz respeito às observações noturnas, estas aconteciam de forma informal para pequenos grupos de entusiastas em que se oferecia a possibilidade de observar a Lua, os planetas Vénus, Marte, Júpiter e Saturno, a nebulosa de Orión e outros objetos celestes cuja posição no céu fosse facilmente identificável. Também se fizeram algumas sessões de astrofotografia para cedo nos depararmos com um problema. Como o telescópio possui uma grande capacidade coletora de luz, os objetos facilmente identificáveis, por serem os mais brilhantes, saturavam o sensor mesmo que se usasse o período de exposição mínimo de 0,2 segundos. Por outro lado, aqueles objetos que não o saturariam, não se conseguiam localizar facilmente. Noutra época, a observação dos objetos celestes implicava um trabalho prévio de cálculo de coordenadas com base em catálogos e os astrónomos experientes manobravam o telescópio ao seu encontro usando as escalas. Atualmente, uma montagem robótica comercial ligada a um planetário virtual, como o Stellarium, consegue encontra qualquer objeto existente no catálogo. Esta era experiência prática do autor enquanto astrónomo amador e a outra hipótese parecia ter tanto de laboriosa para o autor como de maçadora para o público no momento da verdade. Foi, portanto, a vontade de criar sessões

noturnas públicas voltadas para a astrofotografia, durante as quais o telescópio pudesse ser apontado para vários alvos sequencialmente sem criar tempos mortos, que motivou a criação de um programa de pontaria baseado nas posições fornecidas pelo planetário virtual, ainda que na prática as manobras tivessem de ser feitas à mão. Na prática, o programa comparava a posição do alvo fornecida pelo planetário virtual e a posição do telescópio fornecida pelos *encoders* incrementais referenciada ao polo celeste. Para se saber se o telescópio estava longe do alvo, se se estava a aproximar e se tinha chegado à posição correta, o autor criou um sistema de semáforos, um para cada eixo, que se iluminavam com vermelho, amarelo e verde, respetivamente. Esta interface original, criada pelo autor para não ter de ler números pequenos num monitor ao longe, acabou por cativar o interesse do público para a forma como se apontava um telescópio, servia muitas vezes como iniciador de conversa e tornava a relação entre o público e o autor mais informal.

O Telescópio de 30'' restaurado funcionalmente foi inaugurado no dia 2 de Julho de 2016 numa cerimónia que contou com a presença do Sr. Presidente da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia, Professor Eduardo Vítor Rodrigues, e da Sra. Secretária de Estado para a Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, Dra. Maria Fernanda Rollo, entre outras personalidades da Academia.

4.3 Reapetrechamento com vista à investigação científica

O programa de pontaria semi-automático assistido por computador estabeleceu as bases tecnológicas para a robotização com vista à deteção de lixo espacial. O projeto de robotização envolveu o desenvolvimento de uma nova motorização dotando o telescópio de um sistema de pontaria automático.

O lixo espacial é o conjunto de objetos artificiais que orbitam a Terra. O Telescópio de 30 polegadas, dadas as suas grandes dimensões, permite observar objetos de pequena dimensão (~20 cm diâmetro num local escuro) mesmo na órbita geoestacionária, que é particularmente importante. Os objetos que se situam em órbita geoestacionária aparecem estáticos ao observador. Tomando a deteção e o registo do lixo espacial geoestacionário como objeto de estudo, o esforço desenvolvido no aperfeiçoamento do mecanismo de seguimento do telescópio parece inútil à primeira vista, mas não é o caso. Na realidade, o mecanismo de seguimento reveste-se de grande utilidade na perspetiva da precisão com que o posicionamento do campo

fotográfico é realizado. A monitorização de lixo espacial envolve, por um lado, o acompanhamento de objetos conhecidos, normalmente de grandes dimensões, com o intuito de verificar a sua órbita, e, por outro, fazer o varrimento do céu noturno na busca de objetos desconhecidos. A rotina idealizada para o varrimento a implementar no telescópio de 30'' envolve o movimento ao longo de linhas de distância zenital constante, deslocando o telescópio de este para oeste e vice-versa, formando um ziguezague no céu, discretizando a região compreendida entre o equador celeste e os -6° de declinação em secções de 2 graus quadrados. Por limitações impostas pela altura das paredes do abrigo onde o telescópio se encontra montado, as observações abrangem apenas a região compreendida entre as 3 horas a leste e as 3 horas a oeste do meridiano local.

O tempo de exposição depende de fatores como a razão focal do sistema ótico, da eficiência quântica do sensor, do brilho do objeto, entre outros. Estipulou-se um período de exposição mínima de um décimo de segundo. Este CCD em particular demora 10 segundos a descarregar uma imagem na qualidade máxima e é nesse intervalo que se procede ao reposicionamento do telescópio para iniciar um novo registo. Com sensores mais modernos pode baixar-se estes valores.

No desenvolvimento de uma nova motorização para um sistema pré-existente há que fazer escolhas quanto à arquitetura mecânica que se pretende implementar, balizada na maior parte das vezes pelo atravancamento e pelo orçamento disponíveis, e quanto aos regimes dinâmicos que se pretendem impor.

A nova motorização devia ser compacta, de alta precisão e com uma gama dinâmica tal que fosse possível movimentar o telescópio tanto à velocidade sideral ($\omega_{sid} = 0.0042\,°/s$) como a velocidades de pontaria de até $9\,°/s$ com um único motor por eixo. Se se adotasse uma arquitetura eletromecânica que não implicasse a utilização de redutores, a precisão sairia favorecida, mas o preço aumentaria inevitavelmente. Após uma aturada prospeção de soluções técnicas concluiu-se que o sistema ideal comportaria apenas um motor do tipo *direct drive* que se encontram no mercado em configurações planas de grande diâmetro e pequena espessura utilizados com grande êxito nas montagens alt-azimutais da PlaneWave (ver por exemplo a montagem CDK 500) e configurações mais compactas como os Kollmorgen da série DDR. Uma vez que a montagem de um motor *direct drive* plano no eixo polar envolveria alterações de fundo na estrutura do telescópio, desde logo, a substituição da roda de coroa pelo motor, a

segunda opção apresenta-se como mais vantajosa. No entanto, sendo ambas as opções bastante dispendiosas e arriscadas do ponto de vista da montagem, optou-se por desenvolver a nova motorização de forma que se aproveitassem os sistemas de ajuste fino já existentes. No caso do eixo polar, optou-se por desenvolver dois sistemas novos que se acoplaram, um de cada lado, ao parafuso sem fim do mecanismo de seguimento original. Os novos sistemas de motorização são usados à vez e a transmissão ao telescópio faz-se pelo bloqueio do travão polar. Esta motorização de grande gama dinâmica foi desenvolvida de tal forma que não houvesse o perigo da posição do telescópio se perder na fração de segundo em que os dois sistemas estão desembraiados porque existem os *encoders* que medem a sua posição em todos os momentos. O mecanismo de seguimento original teve de ser substituído por outro designado por sistema polar lento por forma a acomodar a embraiagem eletromagnética responsável pela sua separação em relação ao sistema responsável pelos movimentos rápidos.

No caso do eixo de declinação, a nova motorização distingue-se da sua congénere polar no facto de não partilharem o mecanismo original. A nova motorização rápida atua diretamente o tubo do telescópio através da tampa dos rolamentos cujo diâmetro interior foi alterado de 230 mm para 50mm para aí poder ser montada uma manga de aperto. Com a nova motorização acoplada diretamente ao tubo do telescópio, o travão de declinação tem de estar aberto para a motorização funcionar. Ao invés, para que a motorização de ajuste fino possa realizar o seu movimento, o travão de declinação tem de ser bloqueado, enquanto se abre a embraiagem eletromagnética da motorização rápida.

No dimensionamento de uma nova motorização há também que definir os novos regimes de funcionamento que neste caso estão subjugados ao programa de varrimento do céu. Um regime de funcionamento implica a definição da velocidade que se pretende atingir, da duração da rampa de aceleração, do percurso angular a efetuar e da duração total do ciclo. Estipularam-se três regimes de funcionamento para cada eixo.

Tabela 9: Regimes de funcionamento da nova motorização por eixo

Regime	Função	Eixo	Percurso angular (graus)	Velocidade nominal (rpm)	Duração do ciclo (segundos)
Muito rápido	Posicionamento entre a posição de descanso e a posição de referência	Polar	90	1.528	10
		DEC	90	0.6685	23
Rápido	Posicionamento grosseiro	Polar	2	0.21965	1.5
		DEC	2	0.33425	1
Lento	Posicionamento fino e seguimento (em ângulo horário)	Polar	Contínuo	0.000696	Contínuo
		DEC	-	-	-

O binário resistente de um sistema rotativo em aceleração (28) é composto pelo binário resistente associado a efeitos viscosos nos rolamentos e pelo binário associado à aceleração da carga que será tanto maior quanto a inércia do sistema.

$$B_{arr} = I \cdot \alpha + B_{rol} \quad (28)$$

Em regimes de velocidades baixas, como é o caso presente, o binário resistente imposto pela fricção nos rolamentos verá a sua intensidade praticamente inalterada durante todo o movimento qualquer que seja o regime que vigore. Por outro lado, o efeito do binário de aceleração desvanecerá à medida que o sistema se aproxima do regime uniforme.

O binário resistente imposto pelos rolamentos foi determinado experimentalmente. Para tal, usou-se uma chave dinamométrica aplicada diretamente sobre cada um dos eixos de rotação. Esta operação realiza-se através da regulação da chave até atingir o ponto em que o telescópio começa a rodar. Estimou-se que o binário resistente imposto pelos rolamentos do eixo polar era de 40 Nm.

O mecanismo de seguimento original baseava-se num motor *pancake* G9M4T acoplado a um conjunto de redução de 4 andares. O primeiro e segundo andares de redução, 2:27 e 1:34, respetivamente, eram produzidos numa caixa alimentada pelo motor original, fornecendo ao veio de saída uma velocidade 459 vezes menor do que a velocidade do motor. Acoplado ao veio de saída do primeiro andar de redução havia um *encoder* responsável pela leitura da velocidade. O terceiro andar de redução multiplica a velocidade por 51:199 e, no quarto andar, materializado pelo conjunto parafuso sem-fim / roda de coroa, a velocidade é dividida por 720. A redução total era de 1:1 289 520.

A construção da nova motorização comporta, por um lado, a substituição dos dois primeiros andares de redução por uma caixa redutora planetária, um novo motor e uma embraiagem eletromagnética e, por outro, o acoplamento de um sistema similar, designado por sistema polar rápido, à roda SF.X1 da Figura 70.

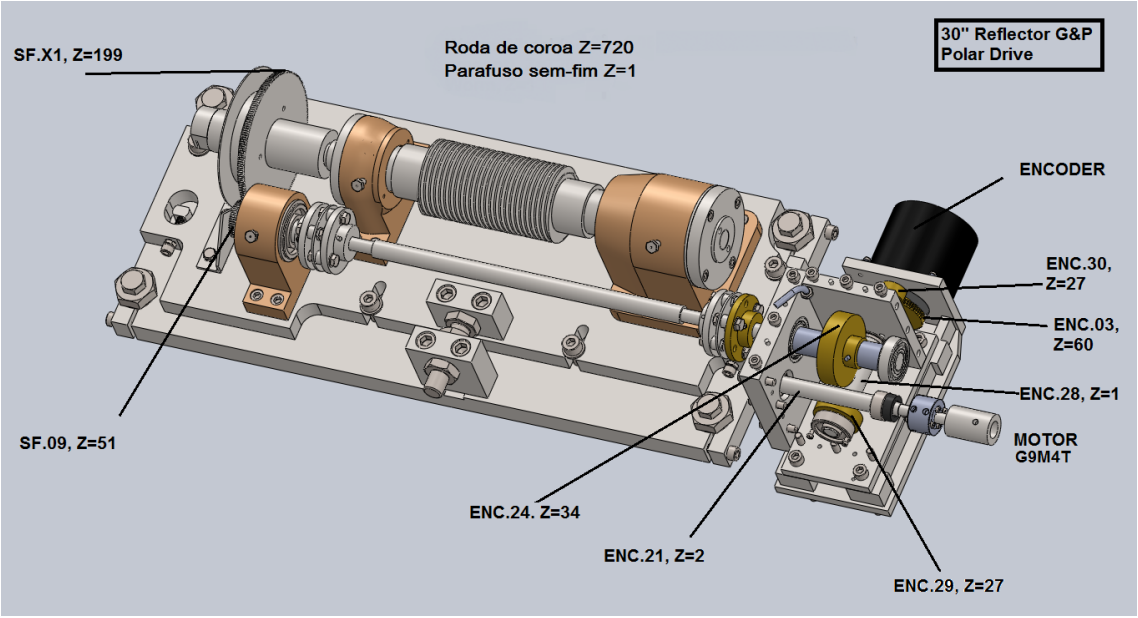


Figura 70: Mecanismo de seguimento polar original. O mecanismo ENC forma o 1º e 2º andares de redução. As rodas de SF.09 e SF.X1 formam o 3º e a roda de coroa (não se encontra representada) e o parafuso sem-fim formam o 4º.

Num mecanismo composto por um parafuso sem-fim/roda de coroa, o dente da roda de coroa que está em contacto com o filete do parafuso é o elemento mais suscetível de dano, já que os filetes são geralmente mais espessos. A ação do filete do parafuso sobre o dente da roda traduz-se num esforço normal que está sujeito ao efeito de duas inclinações, uma devida ao ângulo da hélice do parafuso, β, e outra devida ao ângulo

de pressão normal, α_n. O esforço normal pode ser definido relacionando o esforço axial sobre a roda, T, e as características geométricas do parafuso segundo a expressão (29) (Henriot, 1966):

$$F = \frac{T}{\cos\beta \cdot \cos\alpha_n} \quad (29)$$

O esforço axial sobre a roda é igual e de sinal contrário ao esforço tangencial sobre o parafuso (par ação-reação) que decorre diretamente de uma força que lhe é imposta a uma distância r do ponto de contacto, formando um binário. No dimensionamento da geometria do dente é necessário conhecer a componente tangencial da força normal ao dente da roda, no plano do engrenamento, W, que se pode definir da mesma forma:

$$W = T \cdot \tan\beta \quad (30)$$

Finalmente, a tensão de flexão no dente é calculada pela adaptação de Buckingham da equação de Lewis (Budynas, 2006, p.789) em que se relacionam o passo diametral normal da roda, p_n, o fator de forma de Lewis, y, e a espessura da roda, F_r, por (31).

$$\sigma_{dente} = \frac{W}{p_n F_r y} \quad (31)$$

O dimensionamento é feito no sentido de obter uma configuração na qual a tensão de flexão no dente seja inferior à tensão limite de cedência do material. Na impossibilidade de conhecer as características geométricas e materiais dos elementos constitutivos do mecanismo existente ao qual se acoplou o sistema rápido, o novo regime de funcionamento foi desenhado tendo por base uma aceleração angular máxima calculada a partir daquela fornecida pelo motor polar original. Desta forma, garante-se que os componentes não são sobrecarregados.

A aceleração angular produzida no motor de seguimento foi calculada tendo em conta o binário nominal do motor original e o momento de inércia equivalente (32).

$$\alpha_{motor\ de\ seguimento} = \frac{Binário\ nominal}{I_{cargas\ vistas\ pelo\ motor}} \quad (32)$$

O momento de inércia de massa equivalente do mecanismo de seguimento polar original (Figura 70) visto pelo veio do motor original com base no modelo tridimensional é calculado da seguinte forma:

$$I_{carga\,no\,motor} = \left\{\left[\left(\frac{I_c}{{i_4}^2} + I_{sf}\right)\cdot\frac{1}{{i_3}^2} + I_{SF.09} + I_{ENC.24}\right]\cdot\frac{1}{{i_2}^2} + I_{ENC.28}\right\}\cdot\frac{1}{{i_1}^2} + I_{ENC.21} + I_{motor} \quad (33)$$

Onde,

I_c: $Momento\ de\ inércia\ da\ carga = 3290\ kg.m^2$

I_{sf} : $Momento\ de\ inércia\ do\ veio\ do\ parafuso\ sem - fim\ juntamente\ com\ a\ roda\ SF.X1 = 0.814\ kg.m^2$

$I_{SF.09}$: $Momento\ de\ inércia\ do\ veio\ solidário\ com\ SF.09 = 0.000072\ kg.m^2$

$I_{ENC.24}$: $Momento\ de\ inércia\ do\ veio\ solidário\ com\ ENC.24 = 0.000920\ kg.m^2$

$I_{ENC.28}$: $Momento\ de\ inércia\ do\ veio\ solidário\ com\ ENC.28 = 0.00141\ kg.m^2$

$I_{ENC.21}$: $Momento\ de\ inércia\ do\ veio\ solidário\ com\ ENC.21 = 0.00197\ kg.m^2$

I_{motor} : $Momento\ de\ inércia\ do\ rotor\ do\ motor = 0.000565\ kg.m^2$

$$i_4 = 720\ ;\ i_3 = \frac{199}{51}\ ;\ i_2 = 34\ ;\ i_1 = \frac{27}{2}.$$

$$I_{carga\,no\,motor} = 0.00254\ kg.m^2$$

A aceleração imposta pelo motor de seguimento original é

$$\alpha_{max} = \frac{Binário\ nominal\ -\ Binário\ fricção}{I_{carga\,no\,motor}} = \frac{0.44\ -\ 0.032}{0.00254} = 160\ rad/s^2 \quad (34)$$

Entre o motor polar de seguimento original e o novo motor polar rápido há uma relação de transmissão de $i = 29{,}4$. A aceleração angular do novo motor polar rápido considerando apenas a velocidade de seguimento determina-se por:

$$\alpha_{rapido} = \frac{1}{i}\cdot\alpha_{lento} \quad (35)$$

No entanto, há que considerar que a velocidade angular que se pretende produzir com o novo sistema é consideravelmente superior àquela imposta pelo mecanismo de seguimento original. No regime muito rápido, pensado para o movimento de posicionamento inicial, idealizou-se que o telescópio devia fazer 90° em 30 segundos. À medida que a velocidade de rotação do parafuso sem-fim vai aumentando, aumenta também a velocidade de escorregamento entre o filete e o dente da roda de coroa produzindo-se uma queda abruta do coeficiente de fricção. Segundo (Budynas, 2006)

$$f = \begin{cases} 0{,}15 & V_s = 0 \\ 0{,}124\exp\left(-0{,}074{V_s}^{0{,}645}\right) & 0 < V_s < 10\ pés/minuto \\ 0{,}103\exp(-0{,}110{V_s}^{0{,}450}) + 0{,}012 & V_s > 10\ pés/minuto \end{cases} \quad (36)$$

Em que V_s é a velocidade de escorregamento tangencial em pés/minuto

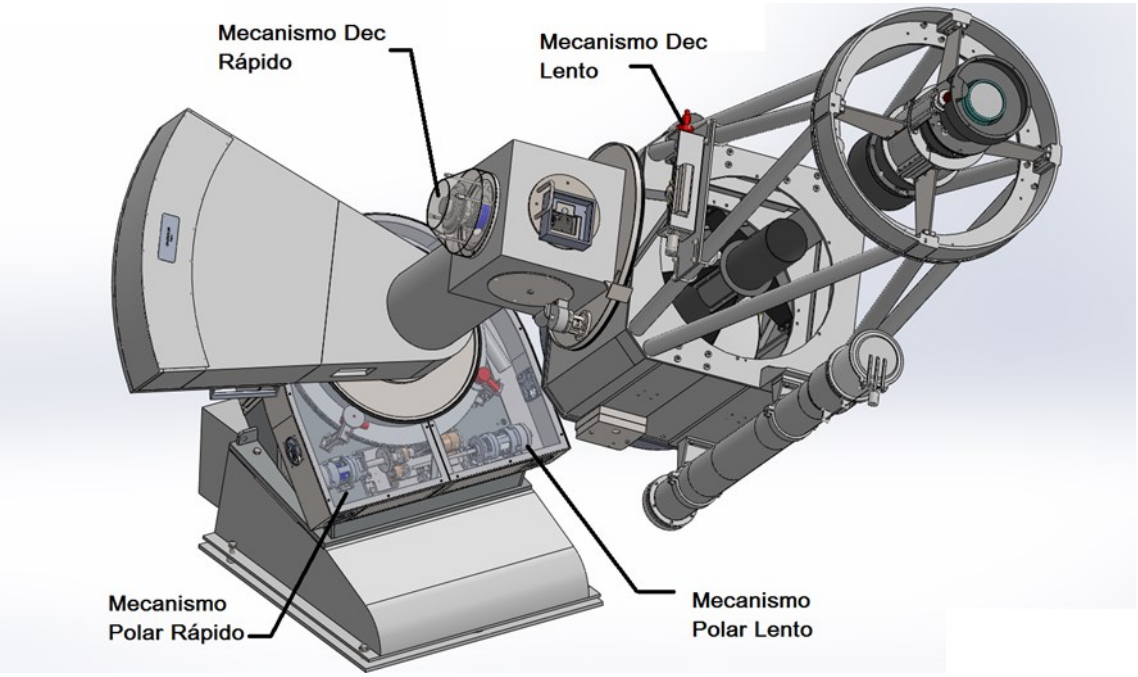
$$V_s = \frac{\pi n_w d_m}{12\cos\beta} \quad (37)$$

$$n_w - velocidade\ de\ rotação\ do\ sem - fim\ em\ RPM$$

$$d_m - diâmetro\ do\ engrenamento\ em\ polegadas$$

$$\beta - ângulo\ da\ hélice\ do\ parafuso$$

Enquanto à velocidade sideral o parafuso sem fim roda a 0,5 rpm, à velocidade máxima a sua velocidade angular pode atingir 360 rpm. Como resultado, o coeficiente de fricção, calculado para uma inclinação da hélice aproximada segundo o modelo tridimensional de $\beta = 9{,}6°$ e um diâmetro de engrenamento de 1,9 polegadas, passa de quase 0,15 para 0,045 o que eleva, por sua vez, a aceleração angular admissível para o triplo.



4.3.1 Motorização no eixo polar

Tendo em conta o valor da aceleração angular máximo atrás estimado é possível definir a arquitetura eletromecânica da nova motorização sem danificar os componentes originais. O novo sistema polar é assim constituído por dois mecanismos, um destinado a movimentos rápidos e outro a movimentos lentos como a velocidade sideral, incluindo múltiplos e submúltiplos desta. O sistema rápido envolve um motor "Pancake", um redutor planetário Wittenstein com uma relação de 1:4 e uma embraiagem eletromagnética, dispostos em linha e acoplados diretamente ao veio do parafuso sem-fim. A ligação ao sistema lento faz-se por intermédio do terceiro andar de redução, como acontecia originalmente, sendo que agora a caixa intermédia foi substituída por um redutor planetário blindado de relação 1:512 atuado por um motor "Pancake" e separável do mecanismo rápido por uma embraiagem eletromagnética. Ambos motores têm acoplados *encoders* incrementais destinados ao controlo da sua velocidade.

A relação superior do novo redutor do mecanismo lento permite ao motor girar a uma velocidade superior facilitando o seu controlo. A alternância entre motorizações faz-se pela interrupção alternada das embraiagens eletromagnéticas permitindo a

realização de três regimes de funcionamento. As características mecânicas dos mecanismos polares encontram-se resumidas na Tabela 10 e na Tabela 11.

Tabela 10: Constituição do mecanismo rápido polar

	Estilo	Marca	Modelo
Motor	"Pancake"	PMW	GN9
Redutor	Planetário	Wittenstein	SP+ 060 i=4 reduced
Embraiagem	Eletromagnética	Mayr	Robatic 3/500.301.0/24V/…
Encoder (vel.)	Incremental	US Digital	E5-5000-315-IE-D-D-3-1
Controlador	De painel	Accelnet	ADP-090-36

Tabela 11: Constituição do mecanismo polar lento

	Estilo	Marca	Modelo
Motor	"Pancake"	PMW	GN9
Redutor	Planetário	Nanotec	GPLE60-3S-512
Embraiagem	Eletromagnética	Mayr	Robatic 3/500.301.0/24V/…
Encoder (vel.)	Incremental	US Digital	E5-5000-315-IE-D-D-3-1
Controlador	De painel	Accelnet	ADP-090-36

O motor do novo mecanismo lento fornece um binário de 0,45 Nm a 1001,14 rotações por minuto. O mecanismo rápido opera em dois regimes distintos: rápido e muito rápido. O primeiro regime foi calculado para posicionar o tubo ótico entre dois campos de observação percorrendo a distância angular de 2° em 10 segundos de tempo. O segundo regime destina-se ao posicionamento do tubo do telescópio entre a posição de descanso e o início do varrimento ou a outros movimentos que exijam cumprir amplitudes angulares longas como acontece amiúde nas sessões de divulgação em que se muda de objeto a observar.

O regime de funcionamento rápido (H.A. Fast) é o seguinte:

Dados do motor:

- Velocidade do motor é de 632,6 RPM;
- Binário do Motor de 0,2 Nm.

- Tempo de aceleração de 0,2 segundos.

Dados do Telescópio:

- Velocidade angular de 0,23 RPM;
- Faz 2º em 1,72 segundos.

O regime muito rápido (H.A. Very Fast) é o seguinte:

Dados do motor:

- Velocidade do motor é de 4400 RPM;
- Binário do Motor de 0.35 Nm.
- Tempo de aceleração de 0.8 segundos.

Dados do Telescópio:

- Velocidade angular de 1,53 RPM;
- Faz 90º em 10.6 segundos.

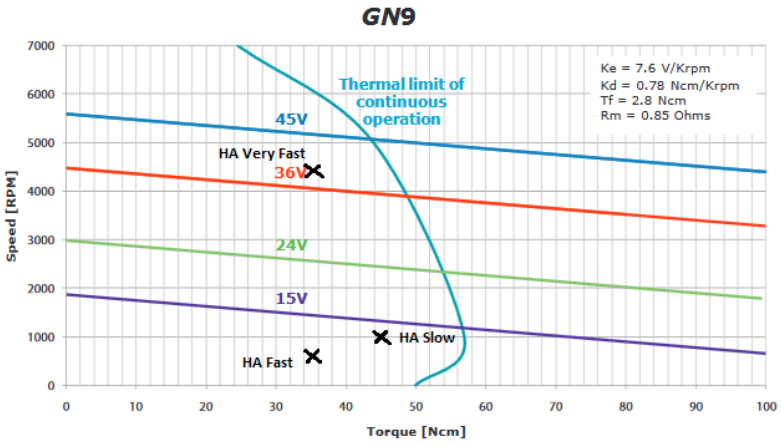


Figura 71: Pontos de operação do motor GN9 na motorização lenta, rápida e muito rápida no eixo de ângulo horário

As embraiagens escolhidas foram da marca Mayr, modelo de double-flow destinadas a aplicações quase estáticas como é o caso, por ficarem abaixo do limiar dos 300 RPM para os binários em questão. No caso do mecanismo de seguimento, a embraiagem a utilizar é a Robatic 3/500.301.0/24/14/14/DIN 6885.1. No caso do mecanismo rápido, a embraiagem é a Robatic 3/500.301.0/24/14/16/DIN 6885.1.

As embraiagens sem rodagem transmitem apenas 50% do binário nominal de catálogo e como tal requerem rodagem *in-situ* de modo a transmitir totalmente. Para

executar a rodagem, tem que se aplicar 50% da tensão nominal de funcionamento, forçando o escorregamento a 30 RPM contra uma aplicação bloqueada. Dada a grande razão de transmissão da caixa redutora do mecanismo lento, a rodagem da embraiagem teve que ser feita usando o redutor do sistema rápido. A rodagem da embraiagem rápida foi feita facilmente pelo motor/redutor que lhe está acoplado.

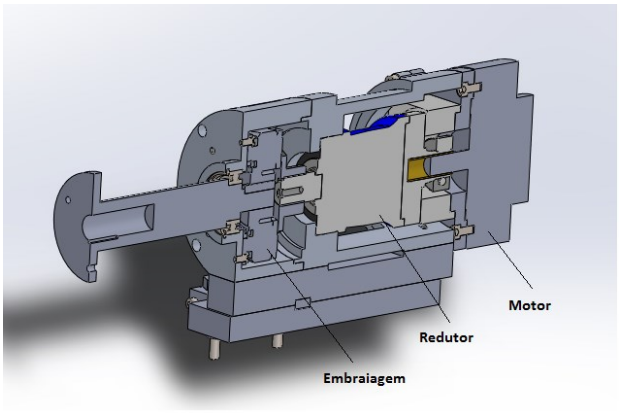


Figura 72: Corte demonstrativo do conjunto que executa o regime rápido e muito rápido.

4.3.2 Motorização do eixo de declinação

O dimensionamento da nova motorização do eixo de declinação seguiu uma estratégia semelhante ao da motorização polar. Neste caso, estimou-se como valor de binário resistente como sendo de 20 Nm e o momento de inércia resultante do modelo de SolidWorks® avaliou-se em 1708 $\mathrm{kg/m^2}$.

O regime de funcionamento rápido (DEC Fast) é o seguinte:

Dados do motor:

- Velocidade do motor é de 33,4 RPM;
- Binário do motor em aceleração de 1,61 Nm;
- Tempo de aceleração de 0,37 segundos.

Dados do Telescópio:

- Velocidade angular de 0,334 RPM;
- Faz 2º em 1,37 segundos.

O regime de funcionamento muito rápido (DEC Very Fast) é o seguinte:

Dados do motor:

- Velocidade do motor é de 66,85 RPM;
- Binário do motor em aceleração de 1.5 Nm;
- Tempo de aceleração de 0.8 segundos.

Dados do telescópio:

- Velocidade angular de 0.67 RPM;
- Fazendo 90º em 23 segundos;

O mecanismo rápido é composto por um motor pancake da marca PWM, modelo GPN16; pelo redutor Wittenstein SP+ 100 MF, razão de transmissão de 100, backlash reduzido e pela embraiagem da Mayr Robatic 6/500.301.0/24/32/35/DIN 6885-1.

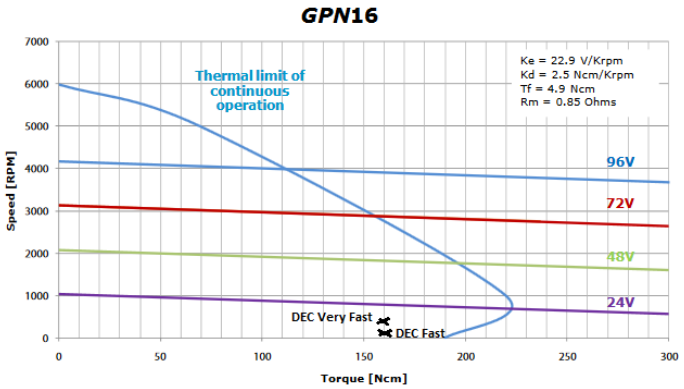


Figura 73: Pontos de operação do motor GPN9 na motorização rápida e muito rápida no eixo de declinação

Conforme indicado no gráfico da Figura 73 nos dois regimes de operação rápido e muito rápido, o motor GPN 16 nunca excede a curva do limite térmico para funcionamento contínuo.

Para realizar a rodagem da embraiagem Robatic 6 tem que se aplicar 50% da tensão nominal de funcionamento, forçando o escorregamento a 30 RPM contra uma aplicação bloqueada. Dada a razão de transmissão da caixa redutora (i=100), a rodagem da embraiagem tem que ser feita com o motor a 3000 RPM.

4.3.3 Controlo

O esquema de controlo do telescópio encontra-se reproduzido na Figura 74.

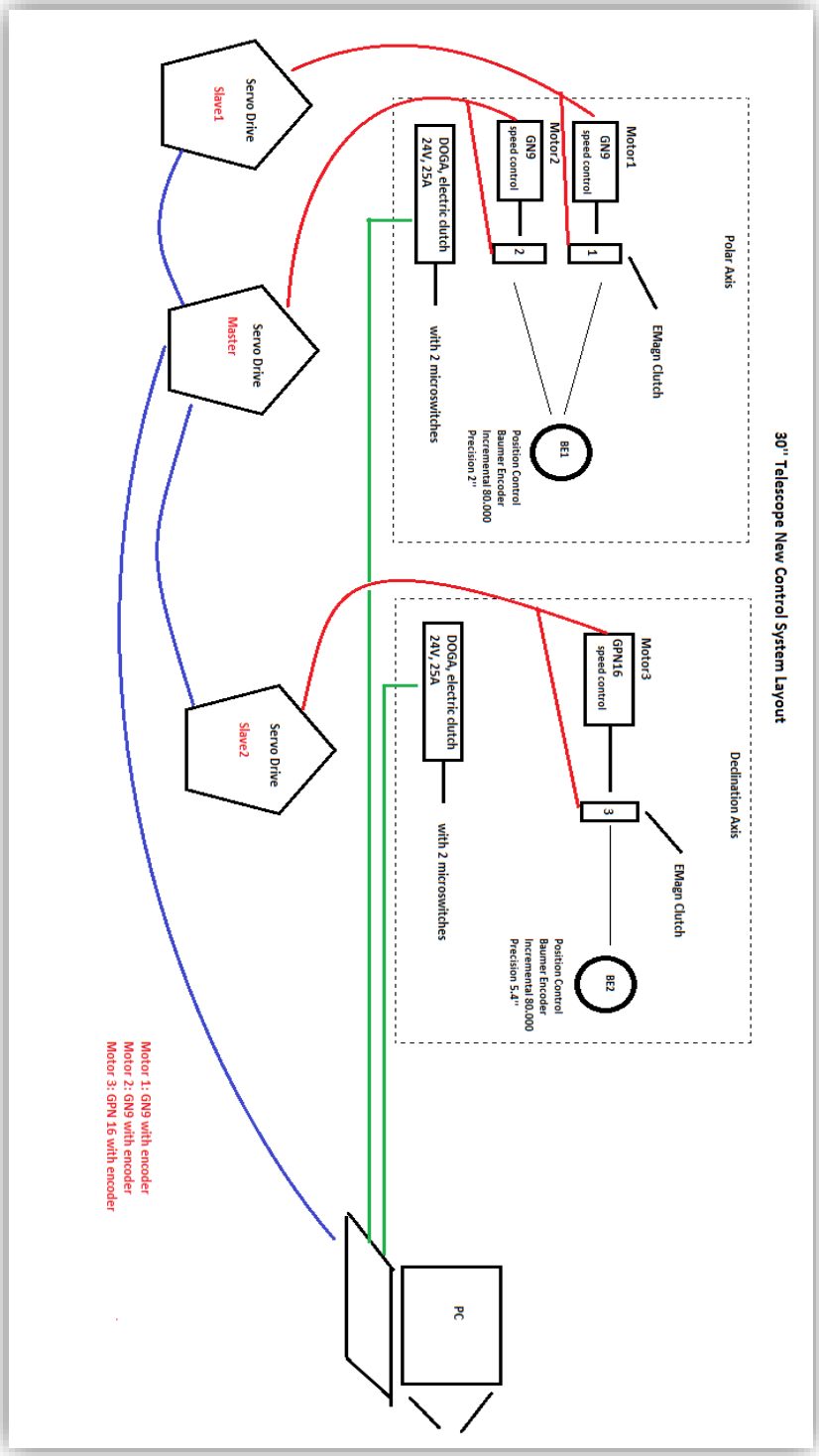


Figura 74: Esquema de controlo da motorização do telescópio

O projeto do sistema de controlo automático do Telescópio de 30'' contempla três regimes de funcionamento aos quais os controladores devem ser capazes de corresponder.

Tabela 12: Regimes de funcionamento dos controladores do Telescópio de 30''

	Polar rápido e muito rápido	Polar lento	DEC rápido e muito rápido
Potência de Pico, W	182	95	94.5
Potência RMS, W	51	0.25	25.4
Corrente de Pico, A	4.6	6.2	7.4
Corrente RMS, A	1.5	0.04	3.3

Para cumprir os requisitos patentes na Tabela 12 foram adquiridas drives Accelnet Panel ADP-090-36, pois permitem ter uma margem substancial em termos de corrente. Este modelo de *drive* só admite picos de corrente durante 1 segundo. Poderíamos escolher uma drive com corrente de pico mais baixa, mas se no futuro for necessário usar picos mais longos (velocidade mais alta para seguir satélites por exemplo) convém aumentar a corrente RMS das drives de modo que esse valor seja superior à corrente de pico da nossa aplicação. Ao selecionar a *drive* ADP-090-36, temos uma corrente RMS de 12 A, sendo que no máximo só precisamos de 7 A (pico).

As drives devem ser ligadas em rede de modo que pela programação de uma se possam programar as 3 ao mesmo tempo. Para tal deve-se adquirir o seguinte:

- 3 *Drives* ADP-090-36
- 2 kits de cabo de série (1 de reserva) – SER-CK
- 4 kits de conectores (1 de reserva) – ADP-CK
- 3 CanOpen Network Kit de 1 pé de comprimento para a ligação entre as drives (1 de reserva) – ADP-NC-01
- 2 CanOpen Network Terminator (1 de reserva) – ADP-NT
- 3 Heat Sink - ADP-HK

A última linha da lista refere-se à aquisição de um dissipador de calor por drive que permitirá aumentar a temperatura máxima de funcionamento do amplificador antes

de ele desligar por sobreaquecimento. Com dissipadores e considerando uma temperatura ambiente de 20ºC, e uma temperatura máxima de funcionamento da drive de 70ºC, o amplificador tinha de funcionar no máximo a 61,5ºC, pois temos 5 W de potência dissipada (RMS) e uma resistividade térmica de 1,7ºC/W. Se se considerar utilizar picos mais duradouros, a potência dissipada de pico desce e a temperatura ambiente admissível pode ser mais elevada.

4.3.4 Embraiagens Eletromagnéticas e travões do eixo polar e do eixo de declinação

Os travões manuais que permitiam comutar entre movimento motorizado e movimento manual passaram a ser elétricos podendo ser atuados no botão "GA polar on" do comando ou por computador. Os travões passaram a ser designados por "Garras Automáticas" (GA) (Figura 75).

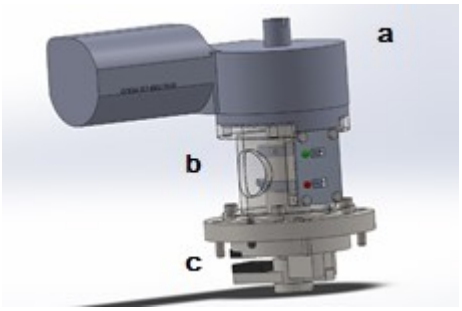


Figura 75: Modelo SolidWorks (R) das garras automáticas. Adaptada ao mesmo sistema de pinças do travão original (c), as novas garras automáticas funcionam com um motorredutor (a). Entre o motorredutor e a pinça existe um sistema de fins-de-curso com indicadores luminosos que permitem regular o curso de aperto e evitar sobre esforço dos materiais.

No caso do eixo polar (Figura 76), para que o movimento lento (*tracking*) seja transmitido ao telescópio é preciso bloquear a embraiagem eletromagnética do movimento lento, desbloquear a do movimento rápido e bloqueia-se a garra automática polar. Para transmitir o movimento rápido e muito rápido, bloqueia-se a embraiagem eletromagnética desse sistema, desbloqueia-se a do movimento lento e bloqueia-se a garra automática polar. Para se proceder ao movimento manual basta desbloquear a garra automática polar pressionando o botão "GA polar off" no comando.

Cada garra automática é atuada por um motorredutor de 60 Nm (DOGA 319 4862 30.00) e contém 2 *micro-switches* que garantem a abertura completa e o fecho completo da garra. Já que se trata de um mecanismo facilmente controlável, estilo *on-off*, optou-se por ligar as duas garras automáticas a um microprocessador que é independente das *drives* de controlo dos motores. Como as garras devem ser passíveis

de atuação simultânea escolheu-se a fonte Mean Well RSP-1500-24 que garante corrente nessa eventualidade.



Figura 76: Nesta imagem podemos ver a garra automática polar montada no prato móvel do eixo polar (à direita). Por outro lado, é possível ver também, a tampa cónica no cubo do eixo polar que cobre o sistema rápido e muito rápido de declinação. Pela janela circular no cubo podemos ver o suporte e o *encoder* de declinação.

No caso do eixo de declinação, a garra automática permite comutar entre o movimento rápido, o movimento lento e o movimento manual. Para transmitir o movimento lento tem que se bloquear a garra automática "GA DEC on" e abrir a embraiagem eletromagnética do movimento rápido. Para transmitir os movimentos rápido e muito rápido, tem que se desbloquear a garra automática e bloquear a embraiagem eletromagnética. Para se movimentar o tubo ótico em declinação manualmente desbloqueia-se tanto a embraiagem eletromagnética como a garra automática pressionando "GA DEC off" no comando ou no PC.

4.3.5 Fins de curso de segurança

Pensando no controlo do telescópio por via remota, sem assistência humana de nenhuma ordem, torna-se imperativo aplicar fins de curso aos movimentos permitidos em ambos os eixos. Como tal, para o eixo polar projetaram-se 3 fins de curso: um que

impossibilitará o telescópio de dar voltas sobre si próprio, e outros dois que irão informar o software de controlo de que lado é que o telescópio vem.

No eixo de declinação, visto que a posição limite é dependente do ângulo horário para onde o telescópio está a apontar, projetou-se um sensor eletromecânico de horizontalidade. A limitação de posição em declinação reveste-se de maior importância porque a normal ao espelho do telescópio não deve fazer menos do que 5 graus com a horizontal sob o risco de tombar para a frente.

PARTE II

Desenvolvimento das estratégias de divulgação

5. Estratégias de divulgação e avaliação de impacto

5.1 Visitas guiadas ao Observatório

As visitas ao observatório iniciaram-se quando o Círculo Meridiano de Espelho viu completada a fase que até aqui se tem designado por Recuperação. Nessa altura, o espelho do CME já rodava comandado por computador, mas ainda não existia uma interface intuitiva passível de ser utilizada pelo visitante: as coordenadas das estrelas a observar tinham de ser convertidas e introduzidas no controlador do motor "à mão" segundo um referencial que só fazia sentido para o guia. Além disso, como ainda não existia um dispositivo capaz de mimetizar a função do mercúrio, não era possível nivelar o Eixo. Num instrumento deste género, caracterizado por uma razão focal de 12, o campo é tão minúsculo que não há espaço para falhas, ou tudo funciona ou nada funciona. O desnivelamento do Eixo significava que quando se apontava o espelho para a posição desejada, o que se observava não era a posição que se queria ver, mas sim algo ao lado. O facto de não se conseguirem observar estrelas, pelo menos aquelas que se queriam observar, não tinha qualquer impacto na qualidade das visitas guiadas porque se tinha estabelecido à partida que as visitas decorreriam durante o horário normal de trabalho, isto é, de dia. Essas primeiras visitas decorriam à quarta-feira à tarde em duas sessões: uma às 15:00 e outra às 17:00, tinham uma duração média de uma hora e destinavam-se ao público em geral. Os agendamentos faziam-se por telefone ou por email e cada grupo estava limitado a 25 pessoas.

O grupo é recebido à entrada do observatório por ser um local facilmente identificável pelas letras de pedra esculpida na fachada voltada para a Alameda do Monte da Virgem. Apesar deste elemento arquitetónico se encontrar destacado e o Monte da Virgem ser um local popular da região, nomeadamente como ponto de paragem obrigatório por altura das peregrinações religiosas, é frequente os visitantes revelarem que foi com surpresa que ficaram a conhecer pelas notícias a existência de

um observatório astronómico naquele lugar, chegando mesmo a referir morarem em Vila Nova de Gaia há várias décadas. Em menor número são os que sabiam da sua existência porque moram perto, apesar de nunca o terem visitado e, por vezes, aparece um ou outro visitante que se lembra de ter visitado o observatório há muitos anos atrás e por guardar boas recordações quis repetir a experiência. A recorrência com que este tipo de reações acontece denota a relação cronicamente distanciada que existe entre a instituição e o público e que se pretende combater com este tipo de iniciativas.

Uma visita típica ao observatório inicia-se com uma curta apresentação histórica da instituição em que se refere que o observatório foi fundado em 1948 para permitir aos alunos de Matemática e de Engenharia Geográfica tomarem contacto com as técnicas de astronomia na determinação precisa das coordenadas geográficas para o que estava implícita a determinação precisa da hora. É propósito desta visita dar a conhecer como se fazia antes e como se faz atualmente.

Nas linhas que se seguem transcreve-se aquilo que costuma ser dito oralmente ao público com o detalhe que a escrita obriga, com a certeza, porém, de que no discurso falado, apresentado a caminhar num ambiente informal, a conversa vai ao sabor do que os interlocutores têm mais curiosidade em saber.

Como forma de balizar conceptualmente a mensagem que se pretende transmitir e a bem da clareza, referem-se as três funções que historicamente eram atribuídas aos observatórios astronómicos: determinar, conservar e distribuir a hora certa pelo território. Na época em que este observatório foi construído, a determinação da hora certa fazia-se recorrendo a círculos meridianos, a conservação fazia-se usando relógios de pêndulo e a sua distribuição fazia-se a partir da emissão de sinais horários via rádio. Atualmente, os observatórios astronómicos conservam estas funções com tecnologia muito diferente. A esta valência acrescentavam-se outras que constituem hoje o cerne da sua atividade, nomeadamente, a investigação na área da Geodesia, da Cartografia e na determinação precisa das coordenadas geográficas, áreas essas relacionadas com a temática das visitas e que têm o Tempo como elo comum.

A Terra esférica, tomada como tal desde a Antiguidade, e a posição central que esta ocupava no centro do cosmos (pelo menos para os Europeus), foram dois factos incontestados até ao século XVII devido à visão antropocêntrica que a Igreja tinha do Universo. Com o Iluminismo, o método indutivo finalmente prevalece sobre o dogma e

o heliocentrismo é adotado como novo modelo cosmológico. Desde que Nicolau Copérnico (1473-1543) sugere o novo modelo até ao ponto em que este é adotado no século XVIII, decorreram 3 séculos de intensa evolução científica e tecnológica que permitiram criar condições para prever eventos astronómicos baseados em observações anteriores, nomeadamente, as de Tycho Brahe, o que estabeleceria o modelo heliocêntrico como cientificamente correto. Para este efeito foi crucial a invenção do relógio de pêndulo de Galileu em 1583 e aperfeiçoado por Huygens e outros no século XVII, cuja marcha regular permitiria conservar o tempo entre observações com o erro próprio dos reguladores mecânicos primordiais. Mas os relógios de pêndulo conheceram também um papel preponderante na determinação da forma da própria Terra. Durante uma expedição à Guiana Francesa em 1672, o cientista francês Jean Richer, percebeu que um relógio de pêndulo que mantinha a hora exata de Paris batia mais devagar na América do Sul (Olmsted, 1942). A sua explicação era que o ritmo mais lento do pêndulo se devia à menor intensidade da gravidade perto do equador. Após Newton ter proposto que a Terra era achatada nos polos devido à rotação sobre si própria, a Academia Francesa de Ciências enviou duas expedições, uma ao equador e outra ao extremo Norte para se efetuarem medições. A descoberta de que um grau de latitude próximo do equador mede 363.800 pés e que um grau de latitude próximo no Círculo Ártico mede 367.100 pés provou que Newton tinha razão.

Se antigamente a forma da Terra era determinada por ensaios à sua superfície usando as estrelas como referência, atualmente, esse trabalho realiza-se utilizando satélites especialmente construídos para observação da Terra que se encontram equipados com instrumentação de sensorização remota (Ramaseri Chandra, 2019). A migração da tecnologia para os satélites encontra aplicações um pouco por todos as áreas da ciência, na meteorologia, na navegação, no estudo do campo gravítico, das alterações climáticas ou da magnetosfera, mas talvez, o exemplo mais conhecido seja o do GPS. Antes de haver satélites artificiais a única forma que um engenheiro geógrafo tinha de determinar as coordenadas precisas de um lugar, no caso, de não existirem pontos conhecidos na paisagem que permitissem obtê-las por triangulação, era através das estrelas utilizando os chamados instrumentos de passagens. A determinação da latitude conseguia-se facilmente pela medição da altura da estrela polar com o horizonte, mas a determinação da longitude fazia-se de forma mais laboriosa. Ao termo longitude está subjacente a ideia de largura e como tal, impõe-se que a longitude de um

lugar seja referida a uma posição de referência, a um meridiano, com valores positivos para leste e negativos para oeste. No passado, as grandes potências determinavam a longitude em relação ao meridiano de Paris, Greenwich ou Washington, mas a confusão no tráfego marítimo ditou que em 1889, o meridiano de Greenwich fosse tomado por acordo internacional como meridiano de referência. No método astronómico, a longitude está relacionada com o tempo (sideral) que decorre entre os trânsitos da mesma estrela em dois meridianos distintos. A longitude, em graus, é proporcional ao período transcorrido na mesma medida em que a estrela demora 24 horas siderais entre culminações, isto é, a aparecer na sua posição mais alta em relação ao horizonte, ou seja, no meridiano do lugar. Do mesmo modo, podemos dizer que a longitude está relacionada com o tempo (solar) que decorre entre o trânsito do Sol em dois meridianos distintos, sendo que o Sol se desloca no céu a 15° por hora (solar).

A utilização de um instrumento de passagens implicava que o observador tivesse em seu poder uma tabela onde as coordenadas das estrelas aí constantes tivessem sido muito bem definidas -- ascensão reta referida ao ponto vernal e declinação referida ao plano do equador celeste e de um relógio de tempo sideral. Quando o ponto vernal cruza o meridiano de um lugar, são zero horas siderais ao longo desse meridiano. À medida que o tempo vai passando, o meridiano local vai varrendo estrelas de ascensão reta crescente e como tal a hora sideral local também vai aumentando. Este é conceito mais importante a ser transmitido numa visita. A relação meridiano-estrela é mimetizada num mostrador de relógio pela relação de um ponteiro único que vai apontando para os números nele marcados, como se as horas fossem as ascensões retas de estrelas conhecidas. No entanto, o ponto vernal é um ponto imaginário que não coincide exatamente com nenhuma estrela. Como tal, competia ao observador saber identificar no céu algumas estrelas habituais. No momento do trânsito, a hora sideral local é igual à ascensão reta da estrela observada. A longitude de um lugar era assim calculada pela diferença entre a hora sideral local e a hora sideral no local de referência. Mas como se sabiam as horas no local de referência sem lá estar?

A tecnologia relojoeira conheceu uma grande evolução nos séculos que se seguiram às viagens marítimas do século XV e XVI em virtude da necessidade de inventar um método de localização geográfica eficaz e passível de ser utilizado em alto-mar. A utilização de um instrumento de passagens requer que o instrumento seja montado numa base sólida de forma que o eixo de rotação da luneta fique perfeitamente

horizontal e alinhado com a direção este-oeste. Dada a impossibilidade de usar instrumentos de passagens em alto-mar, a determinação das coordenadas fazia-se valer apenas da leitura comparativa de dois relógios de pêndulo que se transportavam a bordo. Sem a possibilidade de os acertar com a precisão que as estrelas permitiam em terra, os relógios eram de marcha solar: um, que conservava a hora do porto de partida e que nunca se acertava e, um outro, que era acertado todos os dias ao meio-dia pela culminação do Sol. Em teoria, a diferença fornecia a longitude, mas os relógios atrasavam-se muito, chegando por vezes a parar para horror dos marinheiros que se viam perdidos na imensidão do oceano. O erro associado ao cálculo da longitude em alto-mar era assim muito maior do que aquele associado à determinação em terra firme. Um dos marcos mais importantes na história da navegação surgiu no século XVIII com a invenção do cronómetro marítimo por John Harrison permitindo, finalmente, obter as coordenadas em alto-mar com uma precisão nunca antes conseguida: 56 milhas náuticas, o equivalente a 100 quilómetros! Nos dois séculos que se seguiram assiste-se ao aprimoramento da tecnologia relojoeira até que no final no século XIX, com o advento da transmissão de sinais sem fios (T.S.F.), dá-se início à democratização da hora certa que até então era um bem escasso. As embarcações passam progressivamente a contar com recetores TSF cujo sinal horário era emitido pelos observatórios astronómicos permitindo-lhes acertar os relógios periodicamente. Podendo ser acertados todos os dias, os relógios simplificam-se e popularizam-se.

Atualmente, o método de geolocalização encontrou nos satélites os substitutos das estrelas utilizadas outrora como marcadores espaço-temporais. O utilizador de um recetor GNSS na Terra que procure conhecer a sua posição recebe os sinais difundidos pelos satélites das diferentes constelações GNSS equipados com relógios atómicos que atingem uma precisão de 1 segundo em cada milhão de anos, essencial à obtenção de coordenadas precisas. O tempo é calculado pelo detetor comparando a hora a que o sinal foi emitido com a hora a que o relógio do detetor o recebeu. Um erro de 1 milissegundo num sinal à velocidade da luz no vácuo (299792458 km/s) produz um erro de cerca 30 cm numa distância. A posição exata do utilizador pode assim ser obtida pela triangulação das distâncias a apenas 4 satélites, sendo que quase sempre são usados mais por questões de redundância.

Tal como atualmente é necessário conhecer com precisão a posição dos satélites em órbita, outrora a compilação de catálogos de estrelas era outra das tarefas

que competia aos observatórios astronómicos para o que era indispensável dispor de círculos meridianos e relógios de grande qualidade. Por si só, um círculo meridiano era inútil já que à estrela observada era necessário associar uma ascensão reta atualizada para o que se impunha existir um padrão de tempo bastante estável. Na maior parte das vezes, esse padrão de tempo era fornecido por vários relógios de marcha sideral a funcionar em simultâneo. A expressão matemática que permite a redução das observações usando um círculo meridiano de espelho (38) (Zverev, 1963), conhecida como fórmula de Mayer, resulta de um processo dedutivo trigonométrico da projeção da esfera celeste em que se retrata a posição relativa da estrela em relação ao meridiano; comporta os erros decorrentes do desalinhamento do instrumento em relação à posição perfeita que nunca ascendiam ao grau, bem como aqueles decorrentes da própria observação feita por humanos com destreza e tempos de reação diferentes; e permite calcular a ascensão reta atualizada do corpo celeste a partir da hora sideral observada no momento em que este transita o meridiano. Nesta fórmula, que se encontra exposta no painel à entrada do CME, percebe-se a importância que a Matemática e os matemáticos tinham no processo de seleção das estrelas a observar até à redução das observações propriamente ditas.

$$\alpha = t + \Delta T + a \sin(\varphi \mp \delta) \sec\delta + b \cos(\varphi \mp \delta) \sec\delta \pm c \sec\delta \mp 2\beta_1 \cos\lambda_1 \sec\delta \pm \frac{c^3}{6} tan^2\delta \sec\delta \, sin^2 1^s \quad (38)$$

Onde,

α – Ascensão reta da estrela

t – Hora do trânsito

ΔT – Diferença entre a hora prevista do trânsito e a hora a que o trânsito realmente ocorreu

δ – Declinação

φ – Latitude

a – Erro de azimute do instrumento

b – Erro de nivelamento (horizontalidade) do instrumento

c – Erro de colimação do instrumento

Os círculos meridianos medem a variação da posição da Terra em relação ao Universo, recorrendo à medição do afastamento angular entre o meridiano local e a projeção de uma linha que une o zénite ao ponto vernal, que se designa por ângulo horário. Imaginando um mostrador de relógio paralelo com o solo sincronizado com o céu (Figura 77), o meridiano funciona como ponteiro fixo e indicará as horas com as suas frações (minutos, segundos, etc.) refletindo o afastamento angular do ponto vernal em relação ao meridiano de referência na Terra. Por este motivo se diz que o céu é o melhor relógio que existe.

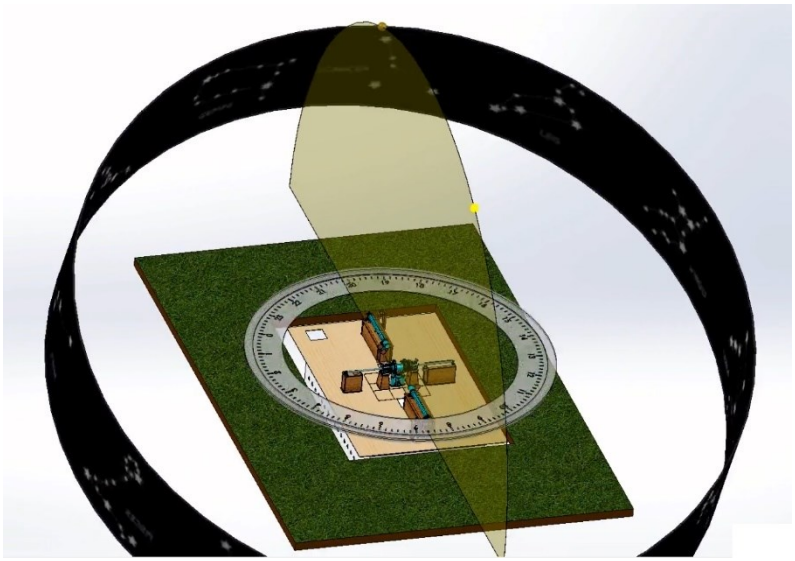


Figura 77: Um círculo meridiano pode ser visto como o ponteiro fixo de um relógio sideral com um mostrador rotativo que se encontra sincronizado com as estrelas que vão cruzando o meridiano ao longo da noite.

Medindo a posição do Sol em relação ao meridiano temos um relógio solar. Porém, os dois relógios têm marchas diferentes: cada dia sideral dura 23 horas, 56 minutos e 4 segundos de tempo solar, porque a cada dia sideral que passa a Terra precisa de rodar mais 1/365,25 graus para que um observador na Terra volte a ver o Sol no seu meridiano local. A existência da escala de tempo sideral que se mantém a partir de milhões de observações anuais justifica-se pela necessidade de precisão crescente das atividades humanas que se regem pelo tempo solar médio.

Em sentido contrário, os círculos meridianos serviam também para estudar a marcha dos reguladores siderais observando para o efeito as chamadas estrelas-relógio. Com o advento da comunicação elétrica entre observatórios, os vários reguladores passaram a estar sincronizados uns com os outros, coordenando-se assim

à escala regional. Todos contribuíam com observações meridianas para o seu ajuste e o nível de precisão era muito maior do que operando separadamente.

No início dos anos 1930, o interesse crescente pela física do Universo permitiu concluir pela análise espetral das galáxias que os corpos mais distantes se afastavam mais rapidamente do que os mais próximos. Esta noção de afastamento na linha de vista, só percetível na análise do espetro eletromagnético, naquilo que se conhece com desvio para o vermelho, conduz por sua vez à noção de que os corpos mais afastados movem-se menos no plano da observação do que os astros mais próximos (movimentos próprios). Procurando usar astros muito longínquos como referências de tempo detetou-se por volta de 1960, um conjunto particular de corpos que viria a alterar completamente o paradigma da medição do tempo. Esses astros por quase só emitirem radiação na região do rádio passaram a ser conhecidos por quasares. O seu nome deve-se à contração de *quasi-stelar-radio-source* pelo facto de no início se terem confundido com estrelas. Só mais tarde se percebeu que eram núcleos galácticos ativos. A adoção dos quasares como objetos de referência em relação aos quais se passou a medir o tempo ditou o abandono dos círculos meridianos, já que a observação deixou de ser visual passando a ser usados radiotelescópios para esse fim. Quando associados a reguladores atómicos, a medição do tempo usando radiotelescópios situados em diversos pontos do planeta e funcionando em rede, atinge um nível de sensibilidade tal que a própria deriva continental interfere nos resultados obtidos. Esta é aliás uma das melhores formas de a determinar atualmente.

Ainda que a tecnologia envolvida se tenha alterado substancialmente no último século, a medição da posição da Terra em relação aos corpos celestes (estrelas vs. quasares) continua a ser o princípio basilar da medição da passagem do tempo. Por sua vez, o tempo continua a ser conservado em reguladores (mecânicos/eletromecânicos vs. atómicos) e a comunicação de sinais de tempo (TSF vs. Internet) continua a ser vital na sincronização dos relógios à escala global.

Nestes parágrafos apresentaram-se os conceitos principais de uma visita guiada típica ao observatório que visavam dar a conhecer ao grande público o Círculo Meridiano de Espelho, o papel que instrumentos deste tipo tiveram na determinação da hora durante o século XX, que princípios físicos lhe estão subjacentes e que tecnologias lhe sucederam. Porém, a comunicação pública subordinada ao tema da determinação

da hora por observação do trânsito das estrelas, ou se preferirmos da medição do tempo, implica um esforço de desconstrução do conteúdo teórico em pequenas partes relacionáveis, e de preferência tangíveis, que o tornem mais acessível ao público que na maior parte das vezes não possui conhecimentos previamente adquiridos sobre o assunto.

Ao longo do tempo em que este programa de visitas decorreu o alheamento em relação à Astronomia era por vezes desconcertante. É de referir que algumas pessoas não sabem para que serve um telescópio, não relacionam imediatamente "astronómico" com "estrelas" e por vezes confundem astronómico com gastronómico. Há quem não relacione que as cúpulas têm que abrir ou que o trabalho tivesse que ser feito à noite. Outras pessoas não relacionam, por exemplo, o movimento aparente da esfera celeste com o movimento de rotação da Terra. Outros sabem-no teoricamente, especialmente os mais novos, mas como lhes dizem que as estrelas estão fixas e que é a Terra que roda, como nunca viram uma estrela a mexer-se de facto, não associam que na realidade as estrelas tenham um movimento aparente no céu. Este ponto reforça a ideia de que as visitas deviam ser noturnas de modo a envolverem observação de forma que, assim, a perceção de que as estrelas têm movimento aparente seja uma realidade. A dificuldade de comunicação não se prende só pela inexistência de conhecimentos prévios. Muitas vezes, falta também abstração espacial. Durante a explicação do funcionamento do mecanismo de seguimento de estrelas no CME, por exemplo, há que explicar que as estrelas mais próximas do eixo de rotação da Terra têm velocidades aparentes menores do que as que se encontram próximas do equador celeste. Se o próprio conceito de movimento aparente não é discernível a olho nu, o facto de as velocidades poderem ser diferentes ainda complica mais o assunto. Das poucas visitas piloto noturnas realizadas resulta que se a generalidade dos visitantes pudessem apontar o CME para várias estrelas na mesma noite iriam chegar a esta conclusão sozinhos, refletiriam sobre o assunto e começariam a fazer perguntas. É quando se fazem perguntas que o conhecimento se começa a sedimentar.

A falta de conhecimentos prévios é, sem dúvida, um dos maiores obstáculos à comunicação da ciência e em virtude deste facto cabe ao guia saber adequar o seu discurso ao público presente em cada sessão. Esta abordagem que implica conhecer um conjunto maior de factos simples e interessantes para contar, surgiu de forma bastante natural uma vez que o guia era a mesma pessoa que tinha trabalhado na

recuperação do instrumento e já o tinha estudado razoavelmente bem. Numa circunstância mais favorável, em que o autor possa ser substituído por um guia profissional, deve usar-se o Manual do Guia preparado no âmbito deste trabalho.

Num nível superior de abstração, reside o desafio de fazer compreender por que razão um dia sideral é diferente de um dia solar. O relacionamento destes dois conceitos permite compreender o caracter utilitário da astronomia materializado em última análise no instrumento que o público tem à sua frente e por este motivo o autor projetou um módulo explicativo acessório ao CME com vista a tornar a relação destes dois conceitos em algo tangível, com o qual o público possa interagir. O módulo explicativo do dia sideral será descrito na sua secção própria.

Porquanto a melhoria do programa de visitas é uma preocupação constante, a inexistência de um guião rígido apresentava-se como vantajosa permitindo moldar a narrativa não só às necessidades do público que são mais fáceis de depreender se este for de idade escolar, mas também usando o seu comportamento como mecanismo de feedback. Ao longo do tempo foi-se tornando aparente que a abordagem seguindo a linha da explicitação dos conceitos teóricos era contraproducente, o público abria a boca de tédio e a estratégia estava longe de funcionar. Esta atuação exploratória permitiu auscultar o público sobre os seus interesses, e assim construir e melhorar o guião de forma quase automática. Em algumas ocasiões tentou-se sentar o público no CME a fim de visualizarem uma apresentação sobre a evolução instrumental porque era necessário mostrar de que forma este instrumento diferia de um círculo meridiano normal. Por envolver imagens e algumas animações esta estratégia funcionava melhor nos primeiros 5 minutos, mas de um modo geral era difícil prender a sua atenção por um período longo. Este que não é um problema novo, vem sendo agravado pela quantidade crescente de informação disponível tanto online como nos outros suportes (Lorenz-Spreen et al., 2019). O estilo de vida digital é caracterizado por uma dispersão da atenção. O utilizador de internet, por exemplo, salta de resultado em resultado de pesquisa em busca de estímulos diversificados. Associado à sucessão de experiências estimulantes está a produção de certos neurotransmissores que acabam por ter um papel decisivo no bem-estar e por conseguinte na predisposição à retenção de informação nova (Nieoullon, 2002). Por forma a ultrapassar este obstáculo da melhor forma, procurou-se atuar seguindo uma abordagem mais consentânea com o modelo de atenção que caracteriza o público jovem. Se uma estratégia alicerçada nesse modelo

funcionasse para o público jovem, poderia com certeza ser extrapolado para o público em geral. Assim, optou-se por aumentar o leque de artefactos, instrumentos e elementos ambientais oferecidos durante a visita, no sentido de aumentar a estimulação sensorial, bem como outros elementos que dotados de movimento se suspeitava que surtiriam um efeito positivo. No que diz respeito a artefactos destaca-se, por exemplo, a caixinha de rolos de teias de aranha que serviam para construir micrómetros e o próprio micrómetro registador em que a matriz de fios de teia original ainda se encontrava visível que evidenciam o papel utilitário das aranhas vistas por muitos, novos e velhos, como um ser a repelir.



Figura 78: O autor mostrando ao público a caixa de rolos de teias de aranha que eram usadas nos micrómetros.

Num espírito enquadrado com o do programa PISA 2015, procurou-se atuar no sentido de fomentar a literacia científica na perspetiva de dar a conhecer a evolução tecnológica que suportou os avanços científicos (OECD, 2017) desde o relógio de pêndulo até ao relógio atómico, do instrumento de passagens ao GPS, dos círculos meridianos aos radiotelescópios. Uma vez que esses instrumentos existem no observatório, procedeu-se à sua limpeza e passaram a ser incluídos nas visitas.



Figura 79: Roteiro de uma visita típica ao Observatório. 1 - Sala das pêndulas astronómicas; 2 - Instrumentos de Passagens Sartorius; 3 - IPSE; 4 - Círculo Meridiano de Espelho; 5 - Telescópio de 30".

Esses instrumentos são as pêndulas astronómicas existentes na cave do observatório (Sousa Nunes, 1958) (Figura 80) e o relógio de quartzo existente na Sala da Hora dentro da sua gaiola de Faraday, o instrumento de passagens Sartorius (Figura 81) e o Instrumento de Passagens Sem Erro (IPSE) (Barros, 1959) (Figura 82) cada um no seu abrigo, o Telescópio de 30'' que em 2016 ficou pronto a ser utilizado (Figura 83) e um radiotelescópio que no final de 2018 já se encontrava em fase de testes.



Figura 80: Pêndulas astronómicas construídas por Rogério de Sousa Nunes em 1958, serviram como padrão de tempo ao observatório numa fase inicial.



Figura 81: Instrumento de Passagens Sartorius.



Figura 82: Instrumento de Passagens IPSE

Construídos no observatório em diferentes alturas, todos estes instrumentos têm o seu lugar na História da medição do tempo e representam a evolução que se pretende divulgar. Se o trilho histórico-tecnológico percorrido entre as pêndulas astronómicas e os relógios eletrónicos, os instrumentos de passagens, os círculos meridianos e os radiotelescópios já se encontra bem documentada neste texto, falta agora explicitar o papel do Telescópio de 30''. O telescópio de 30'' foi adquirido para funcionar como astrógrafo para estudar a dinâmica da galáxia. No âmbito da Astrometria, cabia ao Telescópio de 30'' medir a posição relativa dos astros, de forma muito mais célere do que um círculo meridiano porque numa só fotografia era possível relacionar geometricamente centenas de estrelas e determinar as suas coordenadas em relação a uma posição central bem definida. Os anos 1980 viram ser propostos vários programas astrométricos com vista à preparação do lançamento do telescópio espacial Hubble. O catálogo de estrelas de guiagem do telescópio espacial encontrava-se a ser preparado nesse tempo e à semelhança do que se verificou noutros observatórios por alturas da sua aquisição, os grandes astrógrafos foram usados intensivamente.



Figura 83: O público visita o Telescópio de 30".

Com a introdução destes instrumentos constituiu-se um roteiro mais completo com o qual se ilustra melhor de que forma a hora era determinada em diferentes épocas históricas com um olhar no futuro. No exercício que se segue tenta-se descrever a interação com o público durante uma visita que dura em média duas horas e em que se visitam todos os instrumentos atrás referidos.

Como já se referiu, durante uma visita guiada há que transmitir um conjunto de princípios teóricos que são basilares à compreensão da forma como se monitoriza a velocidade de rotação da Terra em relação às estrelas. Tal implica que se abordem temas como os sistemas de coordenadas das estrelas, os meridianos e a ideia de rotação em relação a dois referenciais diferentes. Muitos pormenores são omitidos e no processo comunicativo recorre-se a todo o tipo de ardis que visam prender a atenção do público, quer seja através de referências a pontos específicos na paisagem, como as miras, quer seja através da referência a conceitos que se sabe à partida que foram abordados nas aulas. A visita faz-se caminhando, visitando abrigos com instrumentos, mexendo neles para conhecer os seus princípios de funcionamento, contando curiosidades sobre as pessoas que os utilizavam, sobre o seu tempo de reação, por exemplo, que era medido na máquina da equação pessoal também presente e restaurada pelo autor e a destreza visual e manual necessárias para seguir as estrelas. Mas porque a proteção do meio ambiente favorece a prática astronómica os diversos

exemplares de sobreiros centenários existentes no recinto relembram o divulgador de reforçar os laços entre a Ciência, o Homem e a Natureza. Desta feita, abordam-se outros temas que não a astronomia, mas que com ela se relacionam. Dependendo da época do ano os visitantes podem apanhar figos, ver esquilos a trepar às árvores e quando as visitas acontecem no Inverno, é comum ouvir os grilos e encontrar ouriços-cacheiros no caminho, algo cada vez mais raro à volta das grandes cidades. Relembra-se também a problemática da poluição luminosa e como tanto do ponto de vista ambiental como do da prática astronómica há todo o interesse em manter o ambiente noturno escuro preservando-se simultaneamente o ecossistema e a possibilidade de observar objetos mais ténues, como a via láctea, por exemplo.

Apesar de se procurar evitar abordar conceitos teóricos, há um mínimo indispensável. Refere-se o sistema de coordenadas que se usa para localizar as estrelas na esfera celeste: a ascensão reta e a declinação. Tomando-se a analogia do gráfico das aulas de matemática, o eixo dos xx é a ascensão reta (observado na horizontal), os yy são a declinação (na vertical) e a origem é o meridiano do lugar no qual o observador se encontra. À medida que Terra roda em torno do Sol, o observador vai-se apercebendo que as estrelas passam sobre o meridiano do lugar. Nesta altura o guia é corrigido com razão pelo visitante atento porque as estrelas não se movem. Há que reformular: “As estrelas, no seu movimento aparente, passam pelo meridiano do lugar”. Quando o meridiano local ao varrer o céu passa por uma estrela de coordenadas bem estudadas e conhecidas, a hora sideral local é igual à ascensão reta da estrela.

Mas o que é o Meridiano do lugar? Para melhor compreensão há que recorrer à analogia da laranja. Imaginemos a Terra como uma laranja, o umbigo da laranja é o polo sul e o pedúnculo, por onde se faz a ligação à árvore, é o polo Norte do planeta. Entre os polos passa um plano que divide a Terra em duas partes iguais. Como se chama? É o equador. Tal como na laranja onde existem os gomos, também a Terra é dividida em 24 partes iguais como se de 24 gomos se tratasse. Os planos que os dividem são os meridianos. Qual é o meridiano mais famoso? Esta é fácil e muitos conhecem o meridiano de Greenwich. O meridiano de Greenwich é famoso por que é em relação a ele que se mede a longitude de todos os lugares do planeta. Quando o Sol o atravessa diz-se que é meio-dia solar em Greenwich. O meio-dia solar nos outros pontos do planeta ocorre tanto mais tarde para oeste quanto a longitude desse lugar. O sol, como estrela que é, possui coordenadas bem definidas, mas porque se encontra relativamente

próximo da Terra, as suas coordenadas variam com o tempo, ou seja, são bem definidas, mas variam. Por outro lado, as outras estrelas por se encontrarem muito mais longe têm as suas coordenadas praticamente fixas. A experiência diz que se a matéria for aprofundada neste ponto a atenção dissipa-se. As manifestações são diferentes de público para público. O público jovem começa a abrir a boca enquanto o público adulto procura elementos de identificação no espaço. Este é um ponto fraco da comunicação, mas necessário porque a articulação teórica entre tempo civil e tempo sideral faz-se pela posição do Sol ao meio-dia em Greenwich.

Na orientação das visitas ao parque de instrumentos do observatório o autor tomou a iniciativa de introduzir no roteiro dois pequenos instrumentos de passagens antigos que se encontram nos seus abrigos originais e que contêm elementos importantes para uma compreensão mais completa do funcionamento do CME, pela vertente das condições apropriadas à observação astronómica que lhe está associada. Os dois instrumentos em questão são o IP Sartorius e o IPSE. Enquanto o primeiro se encontra tal como quando foi comprado, o IPSE foi construído pelo Prof. Manuel de Barros no qual ensaiou alguns dispositivos que mais tarde utilizaria no CME. A introdução destes dois instrumentos no percurso da visita guiada justifica-se pelo facto de ser mais fácil explicar os princípios basilares dum instrumento de passagens quando o instrumento é pequeno e tudo está à mão, do que num instrumento enorme como o CME. O ar condicionado aparece pela primeira vez no IPSE e explica-se que este era usado para arrefecer o abrigo antes da observação. Explica-se que se assim não fosse, quando o abrigo era aberto depois de um dia a aquecer, a turbulência do ar quente ao subir iria prejudicar a visada tal e qual como todos já viram no tejadilho dos carros durante o Verão. Neste instrumento existe também um espelho nadiral de mercúrio para verificar o alinhamento das partes óticas. Pergunta-se se sabem o que é o nadir. Como raramente há respostas, dá-se a dica de que é o contrário de zénite. Impõe-se a questão: Sabem o que é o zénite? E as respostas não se fazem esperar: Um clube de futebol… Explica-se que o zénite é o ponto mais alto da vertical do lugar. Por outro lado, refere-se também a importância do mercúrio que muitos saberão já que é um metal tóxico que existia nos termómetros. Além de refletir a luz, o mercúrio é um líquido que conduz a eletricidade e por isso conheceu uma aplicação importante na indústria naval nos dispositivos de nivelação dos navios e por ser um fluido de grande densidade encontrou aplicações onde era necessário exercer grandes forças de impulsão em

espaços reduzidos. Muitos visitantes já conseguem relacionar estes conceitos com o que aprendem nas aulas. Os dois instrumentos estão repletos de curiosidades: as lunetas rodam segundo a orientação este-oeste para se poderem observar as estrelas quando cruzam o meridiano, existem as miras exteriores, o teto do abrigo abre, a parede é dupla, o soalho encontra-se suspenso, etc. Porém, o recurso a mais objetos não é inocente. O público, especialmente o mais jovem, precisa de tocar nas coisas, de mexer e de fazer mexer. Se não houver estimulação, a atenção dissipa-se. Os estímulos visuais como a iluminação e a cromância das peças são importantes, mas a possibilidade de fazer mexer supera qualquer artifício para lhes prender a atenção. É da experiência do autor que a intensificação da frequência com que o público se vê estimulado potencia a atividade, contando para tal estímulos que o público veja como menos agradáveis. A visitação de mais instrumentos traduz-se na possibilidade de dosear a mesma quantidade de informação, diluindo-se o esforço de atenção por um conjunto maior de eventos. E nestes pequenos instrumentos, o público pode observar as miras ao longe, apontar para o céu, ver as fundações e perceber como se abre o teto. O ambiente nos abrigos é escuro e húmido, existem algumas teias e muitas aranhas que produzem uma algazarra inevitável. Os ânimos acalmam-se facilmente quando se explica que as aranhas tiveram um papel fundamental na observação astronómica do passado pois era a partir das suas teias que se construíam os retículos dos instrumentos. Promete-se mostrar a caixinha onde ainda existem fios de teia de aranha enrolados e que foram colecionados há muitas décadas atrás. Estes elementos têm o papel fundamental de iniciar o diálogo com o público, fazendo-os refletir sobre a sua utilidade.

Depois de visitar os dois instrumentos mais pequenos, o grupo visita o CME onde se explica o seu funcionamento. Tomando contacto com o Stellarium podem escolher uma estrela a observar. Apagam-se as luzes da cúpula e simula-se que é de noite. A projeção de um vídeo previamente gravado mostra a passagem de uma estrela que ao cruzar uma linha verde central faz soar um gonzo. Ao sinal sonoro, a hora é calculada automaticamente e compara-se com a hora de catálogo. O erro é o mesmo que aquele determinado aquando da passagem real. Depois de explicar as diferenças das horas (horário de verão/horário de inverno) passa-se ao instrumento seguinte, o Telescópio de 30''.

Este percurso justifica-se tanto do ponto de vista histórico, como do ponto de visto prático, especialmente no Inverno. Havendo condições meteorológicas que o permitam, é muitas vezes possível já pelas 17 horas observar a Lua e os planetas ainda dentro do horário de visita. Por outro lado, o posicionamento do telescópio no final da visita justifica-se também do ponto de vista histórico pois, foi decorrente da necessidade de obter catálogos de estrelas mais precisos que começaram a aparecer telescópios de grande campo fotográfico. Este instrumento foi projetado para funcionar como astrógrafo, instrumento através do qual se regista a posição de vários astros simultaneamente, com o objetivo de determinar velocidades radiais de estrelas para o estudo da dinâmica da Galáxia. Enquanto no círculo meridiano se observam trânsitos de estrelas à vez, e a relação de coordenadas se faz em termos de tempo, com este telescópio é possível registar e medir a posição relativa de centenas de corpos celestes na mesma fotografia.

A visita ao telescópio de 30'' inicia-se com uma pequena "aula" sobre o tipo de telescópios que existem: equatoriais e alt-azimutais e sobre os sistemas óticos: refratores que só usam lentes para aumentar a imagem, refletores que usam espelhos e catadióptricos que usam lentes e espelhos. O telescópio de 30'' é um telescópio refletor que pode ser alterado para se comportar como um catadióptrico. Aborda-se a necessidade do corretor parabolóide: um conjunto de lentes que elimina a distorção na imagem produzindo uma fotografia em que as distâncias entre estrelas cumprem todas a mesma escala. Aqui recorre-se a uma analogia familiar ao público mais novo: as fotografias nas câmaras GoPro que saem muitas vezes com os cantos repuxados, a dita aberração esférica. Para que isto não aconteça nas fotografias celestes montam-se os ditos corretores parabolóides à frente do espelho primário dos telescópios. A abertura da extremidade do tubo permite que o público se veja ao espelho e perceba também o caminho que a luz percorre antes de atingir a câmara fotográfica. Em torno do telescópio existe um conjunto de painéis ilustrativos com planetas, estrelas, galáxias e buracos negros com afirmações filosóficas de cientistas célebres. A cúpula do telescópio pode ser aberta dando lugar a um momento de observação através das lunetas auxiliares. Se for de dia, o visitante vê o retículo composto por linhas pretas cruzadas sobre fundo azul. É possível apontar e ver a Lua. Se for à noite, podem-se observar os planetas e as nebulosas mais brilhantes como Orion.

Não havendo inicialmente um guião estruturado segundo um referencial teórico rígido dos conhecimentos que se pretendiam transmitir, a abertura do observatório ao público escolar seguiu uma abordagem exploratória onde o programa foi sendo construído, moldando-se às suas necessidades, tentando perceber o que os cativava mais e eliminando do discurso aquilo que os faz abrir a boca de enfado. Mantendo o ambiente informal, fomentava-se o diálogo e a curiosidade com o intuito de perceber quais seriam os pontos fortes para neles alicerçar a estratégia de divulgação científica. Procurou-se evitar que a visita fosse uma extensão das aulas ainda que a presença do professor fosse útil para manter alguma ordem no grupo. Procurou-se construir um ambiente informal propício à exteriorização da curiosidade através de perguntas ao guia que resultava não só no esclarecimento e avanço intelectual dos visitantes, mas também como preparação do guia para as visitas seguintes. A experiência de divulgação pública alimenta-se dos pontos fortes que geram mais curiosidade e a continuidade de um projeto de divulgação exige que o guia assevere a relevância de todas as perguntas, mesmo as mais disparatadas, que tenha algum humor e que seja simpático com as pessoas; que responda como souber e que anote mentalmente as mais ousadas pois são essas que permitirão estimular outro público na vez seguinte. Procurou-se combater o modelo de défice, fomentando a participação do público ainda que as visitas acontecessem só de dia.

5.2 Estudo exploratório de análise de conteúdo no âmbito das visitas de estudo realizadas ao Observatório

5.2.1 Introdução

O CME esteve encerrado na sua cúpula durante mais de três décadas e depois de 3 anos de trabalho havia uma vontade genuína de divulgar a peça restaurada com o intuito de despertar no público as mesmas sensações positivas que o CME despertara no autor da primeira vez que o viu e nos amigos e conhecidos, quais cobaias das primeiras sessões de divulgação.

O contexto em que as visitas se realizaram compreende dois momentos distintos. Num momento inicial, em que se queria atrair o público ao observatório para lhes mostrar o CME restaurado, o programa de visitas foi feito um pouco *ad hoc* à medida do público, na expectativa de que as reações que daí adviessem justificassem

ou não a transição do projeto para um estado de restauro funcional. Se as reações fossem adversas ao nosso entendimento então conservar-se-ia o objeto círculo meridiano de espelho como instrumento estático para ser visitado enquanto peça museológica no sentido mais puritano do termo. Sem a preocupação de documentar as reações do público, o que representa um *modus operandi* habitual das primeiras investidas no mundo da divulgação cientifica (Strubbe, 2012), desperdiçou-se uma excelente oportunidade para realizar um estudo aprofundado sobre a potencialidade do restauro funcional no âmbito da divulgação de ciência pois nessa altura a procura era intensa, o público era adulto e generoso no discurso. Este modo de proceder vai ao encontro do que acontece amiúde noutros projetos de restauro funcional de instrumentação astronómica. É exemplo disso o restauro do telescópio Hooker do observatório do Monte Wilson, EUA, famoso por ter sido usado por Edwin Hubble na comprovação da expansão do Universo. Quando o autor questionou os responsáveis do observatório americano, de forma informal pelo Messenger, sobre como avaliavam as atividades de divulgação, responderam que lhes servia como suficiente o facto de as pessoas continuarem a vir. Também no nosso caso, as pessoas continuaram a vir o que na altura pareceu ao autor um bom sinal antes de conhecer as metodologias de investigação usadas no sector terciário. Uma das reações que foram de encontro ao que se esperava obter era o desejo de poder usar o CME à noite, poder apontá-lo para uma estrela e vê-la em tempo real. Esta reação conduziu ao desenvolvimento do mecanismo de nivelamento do Eixo, à calibração e ao alinhamento do CME.



Figura 84: Alunos das escolas visitam o observatório no âmbito da Universidade Junior (UP). Nesta fotografia os alunos encontram-se nas fundações do CME, onde outrora funcionavam as pêndulas astrónomicas. (fotografia propositadamente desfocada para proteção de menores)

Em virtude da boa receção que o projeto teve e do encorajamento manifestado o projeto avançou para a fase de restauro funcional aqui documentada com as visitas a decorrerem em simultâneo, no dia reservado para esse fim. Quer isto dizer que todas as semanas a manhã de quarta-feira estava reservada a remontagens e limpezas dentro do abrigo para que à tarde se pudessem realizar as visitas com toda a normalidade. Entretanto, o programa de visitas foi sendo expandido, foram sendo abordados outros instrumentos e a visita foi-se tornando cada vez mais completa. Nessa altura começaram a surgir os primeiros pedidos de visitas por parte de colégios privados e de algumas escolas públicas cujos professores tinham visitado o observatório com os filhos e queriam repetir a experiência com os seus alunos (Figura 85).



Figura 85: Turma do Colégio Efanor visita o Círculo Meridiano de Espelho (fotografia propositadamente desfocada para proteção de menores).

5.2.2 Enquadramento curricular

Da visibilidade que o observatório alcançou junto de professores e de encarregados de educação de alunos do ensino básico e do secundário, que entenderam como interessantes os conteúdos aqui abordados, produziu-se uma segunda etapa na organização das visitas públicas ao observatório que se caracteriza pela formalização da ligação à Escola e pela sistematização que daí adveio. As visitas passaram a ser programadas com meses de antecipação. A sistematização das visitas escolares ao observatório foi um passo importante na dinamização da instituição e deu-se num momento de grande abertura à comunidade por parte da direção da FCUP que percebera desde o princípio o grande potencial que este instrumento tinha para a

divulgação da ciência e também, da Faculdade de Ciências, junto do público escolar. Sob os seus auspícios foi possível assinar um protocolo com a Câmara Municipal de Gaia que posicionou o Observatório como um prestador de serviços culturais, relação que se revelaria vantajosa para todos os envolvidos. Em primeiro lugar, beneficiou toda a comunidade na medida em que acrescentou oferta cultural. Para os alunos, é saudável tomarem conhecimento com realidades onde se aplica a ciência pura que aprendem nas aulas, percebem assim a sua utilidade. Por seu lado, esta afigura-se também como uma experiência enriquecedora para os professores que têm bons exemplos para apresentar nas aulas, podendo articular conceitos lecionados com objetos que viram no observatório. As visitas são um meio para o observatório estreitar a sua relação com o público, melhorando sistematicamente o seu programa de divulgação. Finalmente, é útil para a Faculdade e para a Universidade do Porto na medida em que se potencia a sua visibilidade e imagem, enquanto instituição preocupada com a ligação ao público e que se esforça por exteriorizar o conhecimento que vai acumulando. Esta simbiose perfeita conheceu a sua primeira edição no ano letivo de 2018 e o Agrupamento de Escolas Dr. Costa Matos em Vila Nova de Gaia foi o escolhido para integrar o arranque das visitas guiadas sistemáticas ao observatório. Na realidade, foi devido ao interesse demonstrado pelos professores desta escola que tudo foi possível.

Segundo o programa de Aprendizagens Essenciais da Direção-Geral de Educação, vide (DGE, 2018d), os anos de escolaridade que melhor se adequam aos conteúdos divulgados são o 3º, o 7º e o 8º.



Figura 86: Alunos do 3º ano de visita ao Observatório.

No 3º ano em Estudo do Meio procura-se que o aluno "reconheça as unidades de tempo: década, século, milénio" (DGE, 2018a) que se mencionam na linha cronológica seguida na narrativa da visita; procura-se "dar a conhecer vestígios do passado local, como construções, instrumentos antigos e atividades a que estavam ligadas" para o que o Círculo Meridiano de Espelho cumpre perfeitamente o propósito; procura-se que os alunos saibam reconhecer alguns estados europeus e neste caso, quando se menciona que mais dois círculos meridianos de espelho como o nosso foram construídos no mundo, um na Ucrânia e outro no Canadá, é possível mostrar onde estes países ficam, um na Europa e outra na América do Norte. Por outro lado, procura-se que os alunos do 3º ano (Figura 86) consigam "relacionar os movimentos de rotação e translação da Terra com a sucessão do dia e da noite" e para este serve a atividade projetada para o tempo sideral/tempo solar; que "compreendam, recorrendo a um modelo, que as fases da Lua resultam do seu movimento em torno da Terra e dependem das posições relativas da Terra e da Lua em relação ao Sol", e para cumprir este ponto resta dizer que já se costuma usar uma esfera celeste com a Terra no centro e uma lua rotativa contra um fundo de estrelas; que "utilizem instrumentos de medida para orientação e localização no espaço de elementos naturais e humanos do meio local (…) tendo como referência os pontos cardeais" – neste caso a presença num observatório astronómico é especialmente útil porque em todos os instrumentos há alinhamentos

com o norte-sul e com o este-oeste. É, por isso, perfeitamente possível pedir ao público que use uma bússola e coloque umas letras metálicas que já existem "N", "S, "E" e "O" na posição certa no CME. Continuando no 3º ano, no que diz respeito à Tecnologia refere o programa que "o aluno deve ficar capaz de comparar o comportamento da luz no que respeita à linearidade da sua propagação em materiais transparentes, translúcidos e opacos" e para isto pode ser recriada a experiência de alinhamento do CME com o autocolimador laser em que o feixe passa pelas lentes que são transparentes, no espelho que é opaco e refletor, num copo com água cuja superfície livre é translúcida e refletora, regressando ao ponto de partida, perfeitamente visível no alvo do autocolimador, percorrendo uma trajetória obrigatoriamente linear. Espera-se também que o aluno consiga "manusear operadores tecnológicos (…)" como um "interruptor, alavanca, roldana, etc. de acordo com as suas funções, princípio e relações." Estes "operadores tecnológicos" existem no CME e são muitas vezes usados pelo público, por exemplo, quando este pergunta para que serve a roda de filtros e a roldana do diafragma iluminador do campo de observação e lhes é permitido que olhem pela ocular e que acendam o iluminador no interrutor cujo efeito se vê perfeitamente com a cúpula fechado, que rodem a roda de filtros pelo manípulo percebendo-se o efeito com a cúpula aberta, ou mesmo que façam andar o mecanismo de seguimento de estrelas por atuação do interruptor que provoca o movimento ruidoso da máquina. Procura-se também que o aluno seja capaz de "reconhecer (…) a poluição" como "um problema ambiental (…) existente na sua comunidade" quer ele seja de poluição química da atmosfera ou luminosa que alguns são capazes de detetar desde tenra idade na falta de estrelas na cidade em contraste com a imensidão de estrelas nas aldeias de onde eles ou os seus avós são oriundos.

Analisando o programa do 7º ano de escolaridade, reconhece-se um grande potencial de divulgação já que o currículo da disciplina de Físico-química aborda os domínios do "(…) Espaço, dos Materiais e da Energia. Os subdomínios incluídos no domínio *Espaço* são Universo e Distâncias no Universo, Sistema Solar, a Terra, a Lua e forças gravíticas (…)"(DGE, 2018b). No que ao Espaço diz respeito, procura-se tornar o aluno capaz de "descrever a organização dos corpos celestes", " explicar o papel da observação e dos instrumentos utilizados na evolução histórica do conhecimento do Universo", "estabelecer relações entre estruturas do Universo", "interpretar informação sobre planetas", "construir modelos do sistema solar usando escalas adequadas" ,

”medir o comprimento de uma sombra ao longo do dia e traçar um gráfico desse comprimento em função do tempo, relacionando esta experiência com os relógios de sol” e muitos outros pontos nos quais a experiência no observatório lhes permite um enriquecimento intelectual com forte ligação ao que é ensinado nas aulas.

Por fim, no que diz respeito ao 8º ano, o programa refere como fundamental “a compreensão dos fenómenos ondulatórios (…) quer seja (…) como recurso energético, quer para a codificação e transmissão de informação” (DGE, 2018c). As aulas de físico-química “desenvolvem-se em três grandes domínios (…): as Reações Químicas”, onde se pode referir a formação de óxidos de mercúrio, e “o Som e a Luz”. No domínio Luz abordam-se “Ondas de Luz e a sua propagação e fenómenos óticos” para os quais existem ao longo de toda a visita guiada bons exemplos a explorar. Neste domínio em particular, procura-se “distinguir entre corpos luminosos de iluminados, concretizando com exemplos de astronomia e do dia a dia” e também “ordenar as principais regiões do espetro eletromagnético, tendo em consideração a frequência, e identificar algumas aplicações das radiações dessas regiões”. Daqui decorre que o público do 8º ano seria um especialmente adequado não só às visitas guiadas, mas também à atividade projetada de espectroscopia com o Telescópio de 30’’, que se abordará adiante.

Apesar da iniciativa aqui projetada ter todas as condições para continuar durante muitos mais anos, esta realidade foi bruscamente interrompida pela pandemia, no início da segunda edição que acabou por não acontecer. O que a seguir se apresenta são os dados recolhidos da primeira edição.

5.2.3 Breves notas sobre a metodologia qualitativa usada

A possibilidade de ter como público todas as turmas de um determinado ano de escolaridade de uma escola, produziu a ideia de que finalmente estariam reunidas as condições para criar um estudo de impacto focado na medição da capacidade transformadora de atitudes para com a ciência e a tecnologia. Tendo em mente uma necessidade de melhoria contínua das visitas pediu-se aos professores que pedissem aos alunos que escrevessem uma composição sobre a visita passado 15 dias desta ter decorrido. A prossecução desta experiência piloto, assente numa estratégia exploratória decorrente de ser a primeira tentativa de obter retorno dos visitantes, teve como fundamental a cooperação dos professores que viram nela um bom exercício para as

aulas de Língua Portuguesa e sob este pretexto obteve-se o consentimento do diretor da escola para a sua realização.

O intervalo de 15 dias entre a visita e o momento da escrita tinha como propósito, por um lado, dar tempo aos alunos para refletirem sobre o que viram e permitir que os assuntos pudessem ser abordados nas aulas e, por outro, na perspetiva da medição do efeito transformador, o investigador esperava que 15 dias fosse um prazo suficiente para que os visitantes esquecessem o fútil e da sua memória ressurgissem os conceitos aprendidos, os instrumentos vistos, e outros aspetos do local visitado que neles despertava mais curiosidade o que revelaria em que pontos da visita era necessário investir mais recursos. Com o objetivo de responder à questão de investigação: "Pode o restauro funcional de instrumentação astronómica alavancar ações de divulgação de ciência?", às turmas foi pedido o seguinte:

"Sobre a visita ao Observatório Astronómico da Universidade do Porto, descreva por palavras suas:

1. O que viu,
2. O que mais gostou,
3. O que aprendeu
4. E o que gostaria de ter feito e não fez."

Foram recolhidos 30 depoimentos correspondendo a 28 alunos que visitaram o observatório e a 2 que não o fizeram. Os testemunhos dos alunos que não visitaram ao observatório nesse dia são importantes porque dão uma ideia da matriz de conceitos que regem a curiosidade universal do público, digamos a curiosidade natural, e a sua conceção que têm do trabalho que se realiza num observatório astronómico.

A análise de resultados foi inspirada na teoria da Análise de Conteúdo de Bardin et al. (2016) que contempla 3 etapas:

A. Pré-análise em que se organiza o material documental
B. Exploração do material que consiste na definição das categorias temáticas e na codificação e

C. Tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A pré-análise envolve, em primeiro lugar, uma leitura flutuante do material recolhido por forma a depreender tendências nas respostas que conduzirão à formulação de categorias. Em segundo lugar, há que "podar" o conjunto documental com o objetivo de construir o *corpus* de análise tendo em consideração a representatividade da amostra, a homogeneidade no processo de recolha da informação e a sua pertinência no âmbito do estudo e dos objetivos traçados. Decorrente da leitura flutuante surge no investigador a necessidade de formular hipóteses explicativas das diversas perceções alternativas que o público apresenta. Na elaboração das hipóteses reflete-se sobre quais os indicadores mais adequados à medição do fenómeno observado.

A segunda etapa do processo de análise de conteúdo envolve a codificação e a categorização. Por codificação entende-se a identificação nos textos de palavras-chave ou expressões-chave com vista à condensação representativa do conteúdo. Para tal, (Bardin et al., 2016) criou duas unidades de significação por forma a facilitar o trabalho do investigador: as unidades de registo que visam a categorização e o estudo estatístico do seu aparecimento nos textos e, as unidades de contexto que funcionam como uma espécie de sinalizadores de pertinência associados à unidade de registo. Por outro lado, a categorização consiste na transformação do material recolhido, em bruto, para um estado em que é possível organizá-lo pelas suas características comuns. A categorização é uma fase chave de todo o processo que exige mais criatividade por parte do investigador. Das várias categorizações possíveis, neste trabalho adotaremos uma categorização semântica, isto é, uma em que se procuram no texto unidades de registo que pertençam ao mesmo tema.

A etapa final envolve o tratamento e a interpretação dos resultados baseado na inferência.

Na construção do corpus de análise deste trabalho, do material documental recolhido (Apêndice III) foram excluídos os dois depoimentos dos alunos que não visitaram o observatório. A maior parte dos depoimentos iniciavam-se com um parágrafo introdutório "No dia 7 de maio fomos ao observatório astronómico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto" que também pôde ser eliminado por não constituir informação útil. O *corpus* fica assim constituído pelo testemunho de 28 alunos de ambos

os sexos do 7º ano, turmas E e H, da Escola Dr. Costa Matos, relativo a visitas realizadas no dia 7 de maio de 2018 (Figura 87). A dimensão do conjunto fica um pouco abaixo do limiar de 30, habitualmente considerado para efeitos de análise correlacional (Carmo & Ferreira, 2012) e sabemos à partida que não é representativa do universo composto por todos os alunos dos 7º anos portugueses, mas dará uma ideia do seu comportamento enquanto grupo.

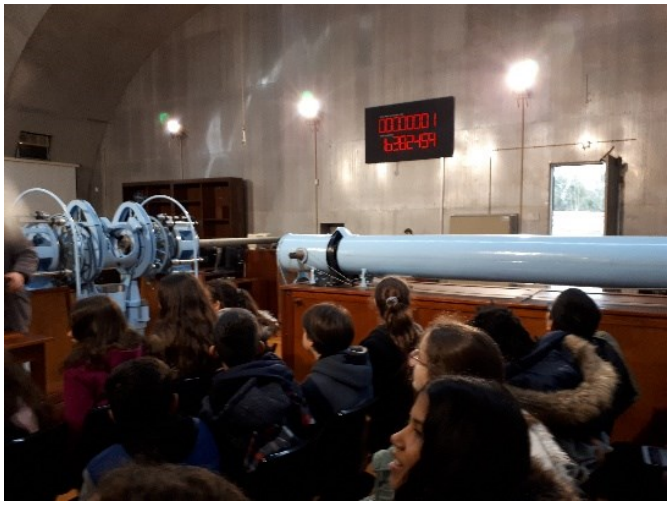


Figura 87: Turma do 7º ano da Escola Dr. Costa Matos visitando o Círculo Meridiano de Espelho.

Para efeitos de confidencialidade a identificação do individuo é codificada sequencialmente pela posição que a composição toma no ficheiro de texto que as reúne: S1 para a primeira composição, S28 para a última.

5.2.4 Apresentação dos Resultados

De um modo geral, pode dizer-se que as composições retratam bem as informações transmitidas na visita. Contudo, o espetro de assimilação é largo variando desde um perfil em que se nota que o visitante assimilou perfeitamente o conteúdo transmitido (S15) até outro perfil em que os elementos da envolvente se sobrepõem a todos os elementos científicos e tecnológicos abordados na visita (S26). Os perfis correspondentes a estes dois extremos do espetro são:

S15

No dia 7 de maio, visitamos o Observatório de Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, onde pudemos ver o maior telescópio de Portugal e vários telescópios antigos. Observamos também um monitor onde pudemos ver as constelações e observar as estrelas a passar.

Eu aprendi como funcionava um telescópio, como é que se pode saber as horas através das estrelas, como nos podíamos orientar pelas estrelas e também qual é a forma correta de observarmos uma estrela.

Eu gostaria de saber mais sobre o tempo sideral e gostaria de aprender como é que se constrói um telescópio.

O que eu mais gostei foi de ver o maior telescópio de Portugal e de poder observar o céu através dele. Gostei também de conhecer o programa onde podemos localizar as estrelas e outros objetos celestes.

Para concluir, adorei esta visita e fiquei mais curiosa sobre a história e a funcionalidade dos telescópios. Para além disso, achei interessante podermos observar o espaço sideral através de um programa de computador.

S26

A visita que fui foi divertida e aprendi muitas coisas novas. O que deixou a visita mais interessante foi o cãozinho que lá estava a passear e a brincar connosco.

Estava muito calor mas mesmo assim foi fantástico e houve muita alegria, adorei tudo mas minhas partes favoritas foi na camioneta. Nós cantavamos, dançavamos, nós riamos, etc. E além disso foi com a melhor turma que adorei ter. Agradeço muito.

Passando em revista as respostas obtidas para cada questão aberta, os resultados foram resumidos e apresentam-se sob a forma tabelar.

Questão 1 - “O que viu?”

Tabela 13: Resumo das respostas à questão "O que viu?".

S1	maior telescópio de Portugal, quadro onde se viam as horas no meridiano de greenwich, televisão onde se viam as estrelas, um telescópio enorme
S2	telescopio movel, telescópio preso ao chao, telescopio enorme controlado por computador, cúpulas
S3	instrumentos antigos, maior telescópio de Portugal, cúpulas com telescópios, telescópio ligado ao computador
S4	fotos espaciais, bunker para medir sismos, máquinas ligadas a computador
S5	telescopios antigos e recentes, telescópio a ser robotizado, relógio com as horas atuais no meridiano de Greenwich, programa de PC para identificar estrelas
S6	telescópios e maquinas antigas, cúpulas
S7	um jardim enorme com 3 pequenas casas e com uma enorme cupula, duas casas com telescopio pequenos em que os tetos mexiam-se para observar melhor as estrelas
S8	muitos telescópios de varias funçoes
S9	4 telescópios, 2 antigos, um muito grande que servia para ver o muvimento e o mumento em que a estrela passou
S10	muitos telescópios; vi muitas estrelas na cupula de observação
S11	cúpula com telescópio gigante; plasma ligado ao PC onde dava para ver estrelas e constelações
S12	telescópios antigos e maior telescopio de portugal, constelações no programa e estrelas a passar num ecrã gigante
S13	telescópios que nunca tinha visto; vi uma televisão TBLej 4K ultra HD que o senhor clicava la num sitio e conseguia mexer o telescópio 30; tinha um botão que o senhor clicava e a cupola abria-se.
S14	maior telescópio de Portugal, vi tambem uma cupula.
S15	maior telescópio de Portugal; vários telescópios antigos; Observamos também um monitor onde pudemos ver as constelações e observar as estrelas a passar.
S16	Telescópio de 30'' pesa 7 toneladas; vi uma cúpula que tinha lá dentro uma Tv Led que tinha umas constelação em que nós clicavamos com o rato e o telescopio ia automaticamente apontar para essa constelação

S17	Telescópio e cúpulas
S18	telescópios antigos incluindo o maior telescópio de Portugal
S19	alguns telescópios diferentes e 3 cúpulas.
S20	4 telescópios, incluindo o maior telescópio de Portugal, uma cúpula e uma televisão para monitorizar o movimento das estrelas.
S21	o maior telescopio de Portugal, havia uma enorme cupola que abria ao meio.
S22	o maior telescopio de portugal, tinha 30 polegadas
S23	um telescópio
S24	
S25	telescópio; O senhor Bernardo é muito simpático e o cãozinho Caju é muito fofinho.
S26	O que deixou a visita mais interessante foi o cãozinho que lá estava a passear e a brincar connosco
S27	telescópio onde tinha o cachorro Caju; museu do astronauta;
S28	museu; senhor muito simpatico; cachorrinho muito giro que se chama caju, adorável e queridinho, so me apetecia apertá-lo

Questão 2 - “O que mais gostou?”

Tabela 14: Resumo das respostas à questão "O que mais gostou?".

S1	foi quando fomos á cúpula e observámos as estrelas na televisão
S2	telescopio controlado remotamente por PC; o telescopio era enorme
S3	O que eu mais gostei foi de ver a cupula a abrir-se e a fechar-se
S4	Do observatório de astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do porto.
S5	ver o telescópio de 30’’ e o teto se abriu
S6	cupulas os telhados a abrir
S7	pequeno telescópio mas na copula e numa das casas havia grandes telescópios em que os tetos mexiam-se para observar melhor as estrelas.
S8	Telescópio 30''
S9	Telescópio 30''
S10	Do autocarro

S11	Tudo
S12	
S13	o Telescópio 30 que conseguia ver estrelas
S14	cupula a abrir
S15	ver o maior telescópio de Portugal e de poder observar o céu através dele. Gostei também de conhecer o programa onde podemos localizar as estrelas e outros objetos celestes; podermos observar o espaço sideral através de um programa de computador.
S16	foi de clicar no botão para aquela cúpula abrir
S17	ver a cupula a abrir e tambem ver o maior tlescópio de Portugal
S18	que, quando uma estrela passa pelo meridiano do lugar, podemos saber a hora exata.
S19	foi o maior telescópio e de ver as cúpulas a abrir.
S20	os telescópios e as aberturas das cúpulas
S21	Eu gostei da atividade so que podia ter sido mais animada e interativa.
S22	a cupula abrio-se, o telescopio mexeu-se, e podia ver o céu,
S23	cúpula gigante a abrir-se
S24	Eu me apaixonei pelo telescópio
S25	ver o maior telescópio de Portugal porque quando eu era mais pequeno eu ficava horas a olhar para o céu e para as estrelas
S26	
S27	histórias que a moça contava
S28	

Questão 3 - “O que aprendeu?”

Tabela 15: Resumo das respostas à questão "O que aprendeu?".

S1	que neste lugar tinha o maior telescopio de Portugal
S2	evolução dos telescopios
S3	Aprendi a usar os instrumentos e as suas funções; telescópio ligado ao computador e era através do computador que ele se movimentava
S4	Sismos e bikini
S5	funções de algumas das peças dos telescópios e como se utilizam

S6	como nos localizar com as estrelas
S7	lá tinha o maior telescópio de Portugal e que até conseguia observar buracos negros.
S8	através de máquinas conseguimos ver as estrelas de perto, ou seja, mais proximas, também aprendi como se utiliza o objeto e o que faz.
S9	(que havia) um (telescópio) muito grande que servia para ver o muvimento e o mumento em que a estrela passou
S10	como funciona diversas máquinas; como descobrir estrelas, como funcionam os telescópios.
S11	
S12	
S13	que o telescópio 30 pesa 7 toneladas; que quando espreito para dentro do telescópio eu conseguia ver umas linhas
S14	uma televisão com um programa que falava sobre as constelações
S15	como funcionava um telescópio, como é que se pode saber as horas através das estrelas, como nos podíamos orientar pelas estrelas e também qual é a forma correta de observarmos uma estrela.
S16	o telescopio de 30 polgadas dava para ver “buracos negros”.
S17	como se utiliza um telescópio.
S18	Aprendemos como funciona um telescópio, como observar corretamente uma estrela ou corpo celeste, como podemos saber as horas através das estrelas e como podemos orientar-nos através delas
S19	sobre algumas estrelas e também algumas coisas sobre telescópios
S20	aprendi que a astronomia é muito divertida e interessante
S21	
S22	
S23	
S24	
S25	
S26	
S27	história do tragico acontecimento em Lisboa
S28	

Questão 4 - “O que gostaria de ter feito e não fez”

Tabela 16: Resumo das respostas à questão "O que gostaria de ter feito e não fez?".

S1	Gostaria de ver uma estrela de noite no telescopio
S2	
S3	Eu gostava muito de saber como se monta um telescópio; fiquei mais curiosas por saber mais coisas sobre os telescópios.
S4	Quanto é que alcança o telescópio maior de Portugal.
S5	
S6	gostaria de saber como funcionavam verdadeiramente à noite.
S7	Gostaria de saber como é que o teto da copula abria e onde é que a televisão estava ligada; podia ser mais interativa
S8	gostaria de saber era se existia um telescópio para observar planetas de perto; espero voltar lá
S9	gostaria de ter visto estrelas ou a lua através de um dos telescópios.
S10	
S11	que a visita fosse à noite para ver estrelas com o telescópio
S12	
S13	O telescópio 30 pulgadas dá para ver o buraco negro?
S14	Gostava de saber mais acerca do maior telescópio de Portugal
S15	saber mais sobre o tempo sideral e gostaria de aprender como é que se constrói um telescópio.
S16	Gostaria de saber as constituintes de um telescopio
S17	Gostaria de ter aprendido a montar um telescópio.
S18	Gostaria de aprofundar mais o meu conhecimento sobre o tempo sideral, nomeadamente como calcula-lo.
S19	Eu gostaria de saber o nome da lente que amplia, para ver as estrelas e não só (do maior telescópio). Também o nome de algumas estrelas
S20	gostava de saber mais sobre o espaço e as suas estrelas
S21	
S22	
S23	

S24	adoraria visitar novamente mas desta vez durante a noite para conseguir ver melhor a lua e as estrelas
S25	Se pudesse iria mais uma vez ao observatório da Universidade do Porto.
S26	
S27	
S28	eu quero ir lá de noite porque quero ver naquela televisão a Lua

5.2.5 Análise dos resultados

A Astronomia é uma ciência que pode ser dividida em dois ramos principais: a Astronomia Teórica na qual se formulam hipóteses baseadas em observações, e a Astronomia Observacional através da qual se produz informação com o intuito de criar hipóteses e confirmar teorias. Sendo a Astronomia uma ciência eminentemente observacional, no sentido de que raros são os casos em que se podem recolher amostras materiais do que se observa, é verosímil assumir que as ações de divulgação que promovem o enriquecimento da literacia científica através de uma abordagem tecnológica permitirão obter resultados tão ou mais promissores do que aquelas subordinadas à divulgação da Astronomia, na sua vertente teórica, para um público que não detém conhecimentos previamente adquiridos. Se considerarmos válida esta premissa, é verosímil assumir que o efeito transformador de uma comunicação de tecnologia subordinada ao tema da Astronomia, pode também ela ser avaliada segundo pressupostos inspirados naqueles usados para avaliar o efeito transformador das comunicações de ciência. Burns et al. (2003) identificou um conjunto de cinco indicadores do efeito transformador de uma comunicação de ciência que ficaria conhecido como a Analogia da Vogais:

Awareness – Tomada de consciência sobre o valor da ciência na vida do dia-a-dia;

Enjoyment – Fruição na aprendizagem de produtos científicos e na aplicação do método científico no dia-a-dia;

Interest – Mostrar interesse no método científico;

Opinion-forming – Capacidade de formar a sua própria opinião baseada na Ciência;

Understanding – Capacidade de compreender as suas observações à luz da Ciência.

No início da análise das composições tentou-se seguir os princípios de Laurence Bardin adaptados à análise de conteúdo dirigida (Hsieh & Shannon, 2005) usando como categorias pré-definidas os cinco indicadores propostos por Burns et al. (2003). A tentativa de análise dos resultados à luz destas 5 categorias resultou em que apenas a categoria do "Enjoyment" encontrava correspondência como "aprendi que a astronomia é muito divertida e interessante" (S20). Deste pobre resultado retira-se uma conclusão importante: Ainda que o efeito transformador seja o objetivo último no que à avaliação de uma atividade de divulgação diz respeito, quando se pretende medir algo há que perguntar sobre isso diretamente, ou seja, se se pretende saber se a falta de estrelas no céu faz o visitante refletir sobre a poluição luminosa há que questioná-lo diretamente sobre isso. Se se procura saber qual a opinião sobre a utilização de tecnologias digitais há que pedir a sua opinião diretamente. A analogia das vogais, pelo facto de ser um conjunto de categorias popular entre os investigadores que se dedicam ao estudo da divulgação científica parece ao autor como ideal à avaliação do efeito transformador no âmbito de futuras atividades, na medida que pode ser replicado noutros contextos. A forma de analisar conteúdo à luz de categoriais pré-existentes, como poderia ter sido o caso se se tivesse pensado nisso antes, designa-se por investigação dirigida. No entanto, como tal não aconteceu, o processo de análise das composições seguiu os trâmites mais conservadores tal como sugeridos originalmente por Laurence Bardin em que as categorias foram criadas a partir de uma leitura flutuante do corpus de análise.

O método da análise de conteúdo foi proposto por Laurence Bardin em 1977 e dele surgiram outras linhas metodológicas (Hsieh & Shannon, 2005) que os investigadores adaptaram às diferentes realidades. A análise de conteúdo qualitativo é antes de mais uma técnica que propõe linhas mestras de ajuda ao investigador que se adaptarão inevitavelmente à dimensão e natureza do material recolhido e ao objetivo a que o investigador se propõe. Num estudo de pequena dimensão como este, os aspetos formais tendem a ser menos importantes do que a realidade à nossa frente porque o objetivo é perceber os pontos fortes e os pontos fracos da visita. A auscultação do público aqui realizada permite, apesar de todas as falhas, implementar um procedimento de melhoria contínua da atividade, mas também de melhoria contínua do próprio processo de avaliação rumo à construção de uma atividade de elevado valor para o desenvolvimento humano.

No espírito dos ensinamentos de Bardin para a análise de conteúdo, os textos foram lidos e relidos várias vezes e deles retirados elementos de significado que foram agrupados em categorias. Deste processo resultaram 4 categorias que englobam trechos de texto nos quais se aborda:

A. O Círculo Meridiano de Espelho, a evolução instrumental e o tempo
B. O Telescópio de 30'', o maior telescópio de Portugal
C. O aspeto dos instrumentos serem controlados por computador ou de estarem a ser robotizados, e
D. As cúpulas, visitar a cúpula, carregar num botão para abrir a cúpula, etc.

Os resultados para cada questão (Tabela 13 a Tabela 16) foram analisados individuo a individuo no sentido de neles encontrar menções às categorias supracitadas. Os resultados encontram-se patentes na Tabela 17, em que "S" significa que no texto aparecem elementos de significado associados à categoria em questão e "N" em que isso não acontece.

Tabela 17: Resumo do aparecimento das categorias nos testemunhos dos alunos.

	A	B	C	D
S1	s	s	s	s
S2	s	s	s	s
S3	s	s	s	s
S4	s	s	s	n
S5	s	s	s	s
S6	s	s	n	s
S7	n	s	s	s
S8	n	s	n	n
S9	s	s	n	s
S10	n	s	n	n
S11	n	s	s	n
S12	s	s	n	n
S13	n	s	s	n
S14	s	s	n	s
S15	s	s	s	n
S16	n	s	s	s
S17	n	s	n	n
S18	s	s	n	n
S19	s	s	n	s
S20	s	s	s	s
S21	n	s	n	s
S22	n	s	n	s
S23	n	s	n	s
S24	n	s	n	n
S25	n	s	n	n
S26	n	n	n	n
S27	n	s	n	n
S28	n	n	s	n
S29	s	s	n	n
S30	n	s	n	n

De forma a avaliar semi-qualitativamente a forma como os testemunhos retratam os conteúdos abordados na visita, o autor socorreu-se do conceito de “mérito” usado no âmbito da sua tese de mestrado subordinada ao tema de Otimização por Algoritmos Genéticos (ver Relvas (2009)). Neste contexto, a função de mérito será o indicador global da atividade. Englobando as múltiplas variáveis intervenientes no problema, valorizadas com pesos específicos proporcionais à importância que estas tenham para

o investigador. A função de mérito ilustra a intensidade com que no testemunho aparece refletida a matéria abordada. A função de mérito calcula-se pelo somatório do produto dos pesos específicos atribuído a cada categoria pela sua presença no texto.

$$\Phi = \sum W_i A \qquad (39)$$

Quando $\Phi = 0$ significa que o testemunho não inclui nenhuma das categorias relevantes. Quando $\Phi = 1$ significa que no testemunho aparecem todas as categorias relevantes.

Os pesos atribuídos a cada categoria representam a importância relativa que cada categoria tem para o autor no âmbito da missão proposta. Os pesos atribuídos variam entre 0 e 1 e são os seguintes:

Categoria A: $W_A = 0{,}42$

Categoria B: $W_B = 0{,}18$

Categoria C: $W_C = 0{,}27$

Categoria D: $W_D = 0{,}13$

Que se representam na matriz dos pesos específicos das categorias, W:

$$W = \begin{bmatrix} 0.42 \\ 0.18 \\ 0.27 \\ 0.13 \end{bmatrix}$$

Transformando os “S” por “1” e os “N” por 0, prepara-se a Tabela 17 para entrar no produto matricial com matriz W de onde resulta o mérito (na visão do autor para efeitos de completude de missão) de cada testemunho (Tabela 18):

Tabela 18: Mérito de cada testemunho

S1	1
S2	1
S3	1
S4	0.87
S5	1
S6	0.73
S7	0.58
S8	0.18
S9	0.73
S10	0.18
S11	0.45
S12	0.6
S13	0.45
S14	0.73
S15	0.87
S16	0.58
S17	0.18
S18	0.6
S19	0.73
S20	1
S21	0.31
S22	0.31
S23	0.31
S24	0.18
S25	0.18
S26	0
S27	0.18
S28	0.27

Os resultados apresentam um mérito médio de 54%, um valor razoável destacando-se que 6 indivíduos em 28 obtiveram um mérito superior a 75%.

5.2.6 Discussão

Em resposta à primeira questão "O que viu?", a maioria dos indivíduos refere ter visto jardins e casinhas, telescópios, grandes e pequenos, uns presos ao chão e outros não (?!) localizados dentro de cúpulas. O facto de se ter optado por não incluir no pedido enviado às escolas informações que dirigissem a memória do visitante a elementos físicos do observatório resulta em descrições vagas da paisagem que só quem o conhece em detalhe é capaz de reconhecer no conteúdo das composições. Na maioria dos testemunhos esta descrição é conforme. As cúpulas são um elemento identificativo do local visitado e nas composições aparecem escritas das mais variadas formas – "copola" S11, "cupola" S21 e S13, "cupula" S7 e S10 e até "cópula" S7, repetidamente. A variedade ortográfica com que este elemento de registo aparece nos textos pode ser indicativo de que no momento no momento da redação não houve interação com o professor no sentido de saber como se escrevia a palavra e este é um detalhe importante. A ausência de interação aluno-professor revela ao autor que os elementos referidos aparecem espontaneamente e não são fruto de uma condução forçada da argumentação. Como elemento distintivo do local visitado, a menção às cúpulas é significativa pois reflete que os que as escrevem estão-se a referir ao Observatório Astronómico e não ao Instituto Geofísico que visitaram no mesmo dia e que não tem cúpulas. O elemento "cúpulas" é por vezes substituído por "teto que abre" que tem o mesmo significado. O facto de as cúpulas serem móveis, e mais ainda a possibilidade de eles próprios as poderem abrir e fechar ("O que mais gostei foi de clicar no botão para aquela cúpula abrir.", S22) funciona conforme se esperava como artifício de captação de atenção, que pelo elemento de surpresa que lhe está associado desperta o seu interesse. A curiosidade gera por seu lado condições que conduzem a uma melhor assimilação dos conteúdos envolventes. O facto de terem decorado a palavra "cúpula", mas de provavelmente nunca a terem escrito antes, dá ideia de que consegue associar a palavra ao objeto, mas mesmo não sabendo escrevê-la corretamente, sabem para que serve porque já viram uma em funcionamento e ficaram a saber que as cúpulas têm que abrir para se ver estrelas à noite ("a cupula abrio-se, o telescopio mexeu-se, e podia ver o céu,", S22). Este facto aparentemente óbvio, não o é como o autor pôde testemunhar em demasiadas ocasiões.

Era vontade do autor não dirigir de forma nenhuma a memória do visitante no momento de escrever a composição. A própria menção ao OAMB teria sido retirada não

fosse a complicação introduzida pelo facto de os alunos terem visitado o Instituto Geofísico UP no mesmo dia. Nas composições nota-se que o mesmo indivíduo é capaz de referir no mesmo corpo de texto as duas instituições. Por exemplo, S4 refere que viu "fotos espaciais, bunker para medir sismos, máquinas ligadas a computador", mas que o que mais gostou foi o "Observatório de Astronomia da FCUP". Ora, no OAMB não há fotos espaciais nem bunker, mas no IGUP sim. De facto, as respostas de S4 são curiosas e causam alguma inveja ao autor porque evidencia uma falha ao nível da contextualização histórica à base de peripécias que aparecem nas partes do discurso referente ao IGUP e não aparecem sobre o OAMB. Daqui se retira que, além da tecnologia e da instrumentação, e do para que serve, há também que condimentar a informação com factos curiosos que os visitantes possam contextualizar a ciência, o que conduziu à evolução instrumental observada. S4, quando questionado sobre o que aprendeu refere "Sismos e Bikini" e que ficou a saber "de onde vem o nome da peça de vestuário"[27].

Analisando os resultados à luz da missão a que o autor se propôs realizar, há testemunhos que surpreendem pela positiva como:

- "Lá, nós vimos os mais diferentes tipos de telescópios dos mais antigos aos mais recentes. Entre eles havia um telescópio de 30'' ainda a ser robotizado. Havia, também, um relógio que indicava as horas atuais no meridiano de Greenwich. …", S5.
- "Aquilo que gostei mais foi saber que, quando uma estrela passa pelo meridiano do lugar, podemos saber a hora exata. Gostaria de aprofundar mais o meu conhecimento sobre o tempo sideral, nomeadamente como calcula-lo."

[27] Bikini é a ilha no arquipélago Marshall que os E.U.A. usaram para fazer ensaios atómicos depois do final da 2ª Guerra Mundial. Três semanas depois do primeiro ensaio atómico, o engenheiro mecânico francês Louis Rearde estreia um fato de banho de duas partes de características muito pouco modestas e chama-lhe "Atome", o fato de banho mais pequeno que o mais pequeno. A manobra de marketing genial acontece quando lhe muda o nome para Bikini tão escandaloso quanto os ensaios nucleares lá praticados. O sucesso é imediato. A relação com os sismos tem que ver com a mudança de paradigma face à desaprovação pública dos ensaios nucleares. Com o Tratado de Interdição Parcial de Ensaios Nucleares de 1963, os ensaios nucleares deixaram de poder ser realizados debaixo de água, na atmosfera ou no Espaço com o objetivo de conter a libertação de poeiras radioativas e a corrida ao armamento. No entanto, as explosões subterrâneas tomam lugar de destaque e é criada uma rede de sismógrafos mundial com o objetivo de monitorizar os ensaios na ex-União Soviética, o que leva à construção do bunker no IGUP.

- Ou ainda, o testemunho de S15 já mencionado.

O facto de vários visitantes se terem lembrado que o telescópio estava a ser robotizado denota uma sensibilidade natural para conteúdos tecnológicos.

Com a questão "O que gostava de fazer e não fez?" esperava-se que os alunos respondessem que gostariam de visitar o observatório à noite para espreitar pelo telescópio, conhecer mais do céu e que mostrassem interesse nas temáticas divulgadas, nomeadamente, na possibilidade de determinar realmente a hora pelas estrelas e assim justificar a decisão de abrir o observatório à noite para que a visita pudesse ser mais interativa e para que os visitantes pudessem ver em primeira mão aquilo que lhes é dito. Como se pode ver nas respostas obtidas à questão 4 "O que gostaria de ter feito e não fez?" esse propósito foi cumprido. Dos 28 testemunhos recolhidos, 7 referiram espontaneamente interesse em ver estrelas à noite, 2 demonstraram vontade em voltar. O autor acredita, no entanto, que se tivesse feito a pergunta diretamente "Gostaria de visitar o observatório à noite para observar estrelas?" as respostas positivas apareceriam de forma mais frequente. Os resultados obtidos demonstram que de facto há interesse em visitar o observatório à noite, mas os resultados ficam um pouco aquém das expetativas porque o questionário devia incluir essa pergunta. Por outro lado, algumas respostas apresentam-se como uma crítica construtiva. S16, por exemplo, refere que "Gostaria de saber as constituintes de um telescopio" e S17 diz que "Gostaria de ter aprendido a montar um telescópio." Talvez, fruto de uma certa tendência para simplificar a mensagem os constituintes de um telescópio não foram abordados e deviam-no ter sido. Aquando da visita ao Telescópio de 30'', são explicados quais os tipos de telescópio: refratores que só usam lentes, refletores que só usam espelhos para aumentar a imagem e catadióptricos que usam lentes e espelhos, mas não se elabora muito mais e devia-se fazê-lo. Fala-se também do tipo de montagem, da orientação para a estrela polar, mas o interesse aqui demonstrado revela que deve haver mais tempo dedicado ao diálogo e claro, à observação noturna. Também a curiosidade em montar um telescópio é salutar e pode ser facilmente correspondida pela realização de noites de observação com um telescópio mais pequeno que os próprios alunos ajudem a montar.

Ao longo de todo o restauro funcional no Círculo Meridiano de Espelho fez-se um esforço por manter a traça original e disfarçar a presença de elementos modernos

para que o ambiente analógico predominasse em detrimento dos elementos tecnológicos digitais. Acontece que os poucos elementos que não puderam ser escondidos como o computador onde o Stellarium é usado para comandar o CME e a televisão onde se mostram as estrelas a passar, são, para grande surpresa, precisamente os elementos aos quais aparecem "ancorados" com maior frequência os conteúdos transmitidos e os objetos de interesse: "… tinha uma televisão onde podemos observar as estrelas" (S1), "Esse telescópio estava ligado ao computador e era através do computador que ele se movimentava" (S3), "Gostaria de saber … onde é que a televisão estava ligada." (S7), "tinha um telescopio gigante tinha tambem um plasma que tava ligado ao compotador e lá tinha um programa onde dava para ver as constelações e estrelas." (S11), "Pudemos tbm ver as constelações e um vídeo, num ecrã gigante, a ver as estrelas passar." (S12). A descrição pode ir a um nível de detalhe surpreendente como acontece com S13: "Vi lá uma televisão TBLej 4K ultra HD que o senhor clicava lá num sítio e conseguia mexer o telescópio 30", ou com S16: "tinha lá dentro uma Tv Led que tinha uma constelação em que nós clicavamos com o rato e o telescopio ia automaticamente apontar para essa constelação." Todos os elementos retratados existem e são usados como acessórios de divulgação sem os quais a visita seria menos interessante. Da leitura dos testemunhos nota-se que numa parte substancial a descrição da visita vem ancorada nos meios tecnológicos observados. Esta constatação conduz à reflexão sobre o real papel e importância dos meios tecnológicos digitais enquanto facilitadores da transmissão do conhecimento ao público jovem, menos como ferramenta que ajuda o guia a mostrar o que não consegue dizer por palavras, mas como elemento com o qual o recetor se identifica e do qual se irá lembrar mais tarde e associar o que lá viu. Em "El museo de ciencia transformador", Fernández (2018) alerta para o perigo da "pantallización" do museu de ciência, na medida em que estes deviam apostar numa estratégia de insubstituibilidade e de tangibilidade a bem da sua sobrevivência enquanto "espaços mágicos onde se suspendem as previsibilidades do dia-à-dia" (Mihaly Csikszentmihalyi em (Fernández, 2018)) e no qual o visitante pode encontrar objetos e vivenciar um contexto que não consegue encontrar em casa, na internet. No nosso caso, o que se observa é que os visitantes tendem a referir-se ao que viram associando o seu discurso aos meios tecnológicos observados. Reforça este argumento a total ausência de referências aos outros dois instrumentos visitados, o Sartorius e o IPSE, onde não existe nenhum meio tecnológico digital visível. Será que todos os alunos se esqueceram deles? Porque não

são marcantes? Surge, portanto, a questão do impacto que um instrumento científico antigo restaurado funcionalmente tem *per se* como ferramenta de divulgação científica. Daquilo que são os testemunhos recolhidos transparece que a presença dos meios tecnológicos digitais no espaço visitado induz no público jovem uma maior propensão à assimilação da mensagem. Mas são os meios tecnológicos digitais que alavancam a divulgação científica de um objeto restaurado funcionalmente ou o instrumento tangível pode ser substituído completamente pela visualização de um vídeo muito bem feito do instrumento com melhores resultados? Estará o público tão habituado aos conteúdos digitais que a tangibilidade é uma coisa do passado? O que transparece do discurso nas composições conjugado com a realidade no terreno é que a tangibilidade é vital, mas que a presença de alguns meios digitais confere um certo conforto e identificação com a realidade a que os visitantes jovens estão mais habituados. Mas terão todos os meios digitais a mesma força? Terá um monitor de computador antigo o mesmo poder que um ecrã plasma curvo? E a realidade aumentada? É convicção do autor que mais do que a presença da tecnologia digital, o público jovem é fundamentalmente curioso pelos meios tecnológicos que nunca viu, não necessariamente pelas televisões. Daqui decorre que a "pantallización" de Fernandez pode ser um perigo se se considerar a substituição do objeto físico pela realidade apenas presente num ecrã. Se se investir em artíficios variados para prender a atenção do público, como se fez involuntariamente neste trabalho com o Stellarium, pode-se dizer que a pantallización é salutar como complemento à atividade de divulgação científica central que é o objeto físico.

É provável que impacto que os meios tecnológicos digitais têm na divulgação da ciência varie de público para público. No caso do autor, nascido em 1985, foi apanágio do restauro funcional, como já foi dito, conservar ao máximo o ambiente analógico porque este lhe era caro, um pouco no sentido da insubstituibilidade que refere Fernández (2018). No final, resulta que o estado do instrumento pode parecer a um investigador adulto como distorcido na sua vertente museológica porque não reflete fielmente as dificuldades que os astrónomos do passado sentiam. A um aluno de escola, o instrumento e a sua envolvente parecerão suficientemente antigos, mas o seu estado funcional que se obtém conjugando elementos modernos sobressai e talvez seja suficiente para fazer a ponte no sentido de estabelecer a continuidade do processo tecnológico resultando como espetacular aos olhos do visitante. Esperemos que assim seja. Como não é propósito deste trabalho desenhar uma atividade unicamente focado

no público jovem, outro grande erro estratégico assinalado por Fernández (2018), seria útil estudar se o impacto que os meios digitais têm no público jovem é o mesmo que têm sobre o público leigo mais velho, ou se estes prefeririam usar o instrumento sem nenhum contacto com a tecnologia digital.

5.2.7 Análise SWOT

Quais as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da atividade aqui desenvolvida? Há viabilidade para a sua realização à noite? As ferramentas de avaliação são as adequadas?

FORÇA: A possibilidade de ter uma visita guiada pela pessoa que fez o restauro apresenta-se como uma mais-valia na transmissão do conhecimento.

FORÇA: O autor era empenhado em passar conhecimento e gostava do que fazia.

FRAQUEZA: A inexistência de fundos próprios do observatório para a realização de projetos não científicos; Dependência da boa-vontade da direção da faculdade. O mesmo acontece em relação à disponibilidade de quadros técnicos em relação aos quais se assiste a um modelo de eternização da precariedade laboral.

FRAQUEZA: Falta de funcionários para dar suporte às atividades de divulgação (situação mais sentida à noite); falta de funcionários para dar suporte à manutenção dos equipamentos.

FRAQUEZA AO NÍVEL DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO: Impossibilidade de comparar resultados com outras atividades astronómicas quer seja pela sua escassez ou pelo facto destas não se submeterem a avaliação.

OPORTUNIDADE: Visitas a observatórios astronómicos com a possibilidade de usar equipamentos são uma raridade, logo são bastante aliciantes para o público.

OPORTUNIDADE: O público interessa-se bastante por atividades astronómicas.

OPORTUNIDADE: Afigura-se como uma oportunidade o cenário do turismo na região em que os sítios esquecidos ganham especial interesse por parte do público interessado em história da ciência.

AMEAÇA: A falta de segurança pode pôr em risco o público à noite. a falta de segurança pode pôr em risco os equipamentos.

AMEAÇA: A conjuntura macroeconómica do país impossibilita a prossecução dos projetos.

6. Outras atividades de potencial divulgativo

6.1 Módulo explicativo do Tempo

O módulo interativo desenvolvido no âmbito deste trabalho pretende tornar intuitiva a diferença entre o dia solar e o dia sideral, conceitos chave à compreensão da utilidade de um CME. Porque a diferença entre as duas formas de tempo é muito pequena (3 minutos e 56 segundos por dia), o efeito só é percetível pela acumulação de vários ciclos sucessivos. Para tal, adjacente ao módulo haverá um monitor onde essa diferença se regista à medida que a experiência se desenrola.

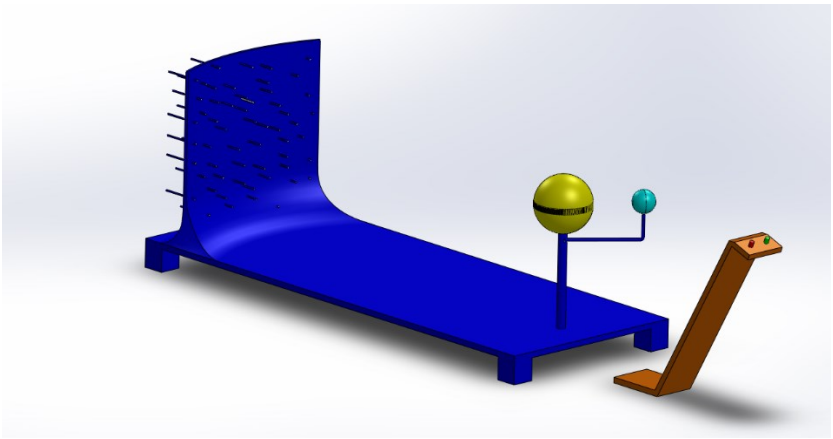


Figura 88: Modelo SolidWorks® do módulo explicativo

O módulo é constituído por um sistema planetário simplificado onde só existe o Sol, a Terra que o orbita contra um fundo de estrelas (Figura 88).

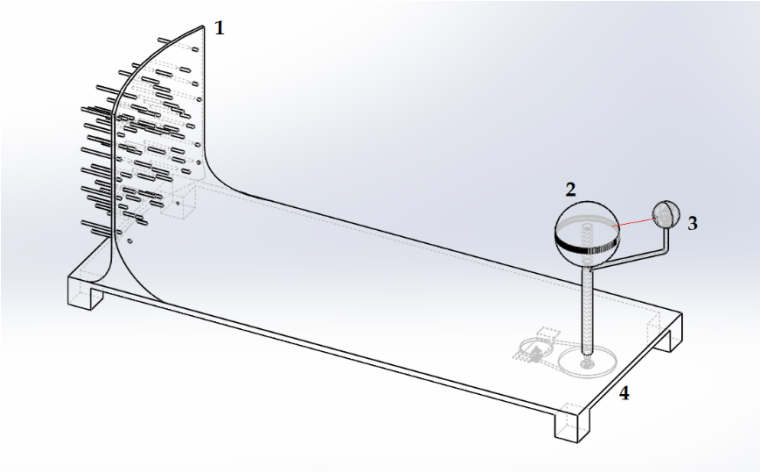


Figura 89: O esquema mecânico do módulo explicativo.

Construído num suporte de madeira, as partes principais do módulo são:

1) O suporte cujas costas imitam o fundo de estrelas,
2) Um globo central que representa o Sol fixo,
3) Um pequeno globo que representa a Terra móvel e
4) Um mecanismo baseado num motor de passo que faz a Terra orbitar o Sol (Figura 89). A cada passo do motor corresponde um movimento orbital de 0,986° em torno do Sol.

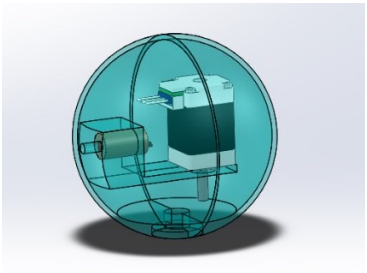


Figura 90: O modelo SolidWorks do globo terrestre visto à transparência com o motor de passo à direita e o laser à esquerda.

Dentro do modelo do globo terrestre ilustrado na Figura 90 existe um motor de passo (direita) que o faz rodar sobre si próprio. Dentro do globo existe também um laser cujo feixe sai por uma pequena cavidade. Por forma a proteger aos visitantes mais pequenos que podem ficar com os olhos à altura do laser é necessário distribuir óculos de proteção que todos devem colocar. Para tornar a experiência mais rica o módulo pode ser equipado com uma máquina de fumo por forma a que o feixe seja visível.

A experiência começa com a Terra na posição mais afastada das estrelas com o laser apontado para o Sol. O motor do mecanismo faz mover o modelo da Terra na quantidade angular de 1° no sentido contrário aos ponteiros do relógio, muito lentamente cumprindo esse movimento em 10 segundos. Durante esse intervalo é suposto que o motor dentro do globo o rode 360° sobre si próprio também no sentido retrógrado, tal como a Terra. Quando o laser começa a iluminar o fundo de estrelas, o visitante irá notar que existe uma estrela pintada de cinzento. Esta estrela encontra-se exatamente à altura do laser e será de ora em diante designada como estrela de controlo. A ponta da estrela de controlo contém um detetor que quando iluminado pelo laser fará piscar um LED no comando. Todas as outras estrelas têm unicamente a ponta pintada de cinzento. Depois do laser passar pela estrela de controlo prosseguirá o seu curso até completar uma revolução completa, para ver o Sol novamente, altura em que o motor parará. Para completar um dia sideral, o motor do planeta terá ainda que rodar uma distância angular até atingir novamente a estrela de controlo. Para explicar o que é um dia sideral, o motor fará isso mesmo. Acompanhado pelo motor orbital, os dois motores pararão quando essa posição for atingida.

Para que a diferença de duração dos dois dias se torne apreciável, é necessário fazer um movimento orbital maior do que aquele relativo a apenas um dia, pois aquela só se torna percetível pela acumulação de várias diferenças. Propõe-se a realização de um movimento maior, por exemplo, o correspondente a 30° à volta do Sol, começando com o laser apontado ao fundo de estrelas passando pelo centro do Sol, através de um pequeno furo. Para que as diferenças se tornem apreciáveis, utiliza-se a televisão existente no abrigo que está ligada ao detetor. No lado esquerdo do ecrã mostra-se uma infografia sobre os dois movimentos em questão cuja mensagem pode ser apresentada em vários idiomas já que é habitual o CME ser visitado por estrangeiros; no lado direito aparecerá o gráfico constante na Figura 91.

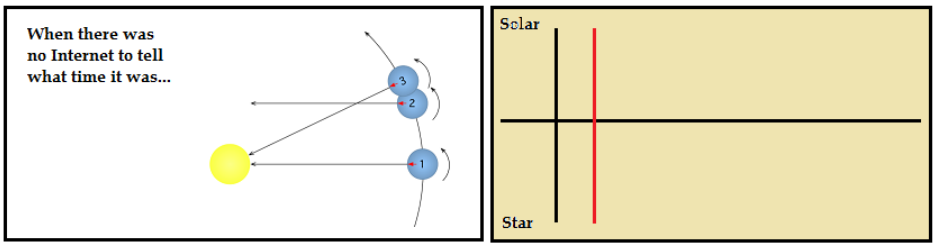


Figura 91: Aspeto da imagem no monitor.

Para iniciar a experiência o visitante pressiona o botão vermelho da consola que se encontrará a piscar. Quando o modelo da Terra retorna à posição inicial, no monitor aparece uma linha vermelha cuja metade superior corresponde ao instante em que o feixe atravessa o centro do Sol e a metade inferior corresponde ao instante em que o feixe cruza o centro da estrela de controlo. Nesse instante iniciam-se os dois "dias". A cada rotação da Terra tendo o Sol como referência, isto é, cada vez que o feixe passa pelo centro do Sol, aparece uma nova linha vermelha na parte superior do gráfico. O mesmo acontece para a estrela, desenhando-se uma linha na parte inferior. A partir do primeiro dia surge no canto superior da imagem a diferença acumulada da duração dos dias (Figura 92).

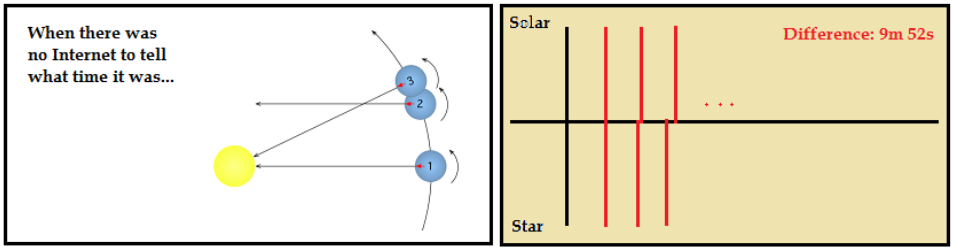


Figura 92: O gráfico após três dias.

Neste exercício cada rotação do planeta sobre si próprio demora 5 segundos. Nesse intervalo de tempo, o planeta descreverá 1 grau em torno do Sol e, como tal, cada experiência terá uma duração de 2 minutos e meio. Do lado esquerdo do monitor, apresentar-se-á um esquema ilustrativo que se fará acompanhar da seguinte mensagem:

> "Um círculo meridiano mede a variação da posição da Terra em relação às estrelas, ou seja, mede o Tempo. Atualmente, as estrelas foram substituídas pelos quasares e os círculos meridianos foram substituídos por radiotelescópios seguindo o mesmo princípio. Este módulo pretende evidenciar a diferença que existe entre o tempo universal que serve de base à hora que temos nos nossos relógios com aquele que decorre da observação das estrelas. Isto deve-se ao facto de as estrelas estarem muito mais afastadas de nós do que o Sol que é considerado um objeto próximo. Por cada volta que a Terra roda sobre si própria avança um pouco menos que um grau na órbita. Cronometrando a duração entre dois aparecimentos sucessivos do Sol no meridiano local e dois aparecimentos de uma estrela de controlo, esta diferença torna-se evidente."

6.2 Construção do módulo

Para esta instalação selecionou-se um laser Quarton Module-VLM-650-01 LPT. Os motores usados são motores de passo Nema 8 da Nanotec, modelo SCA2018S0604-A. O sistema de controlo envolve um controlador e uma fonte de alimentação que se colocarão por baixo do suporte.

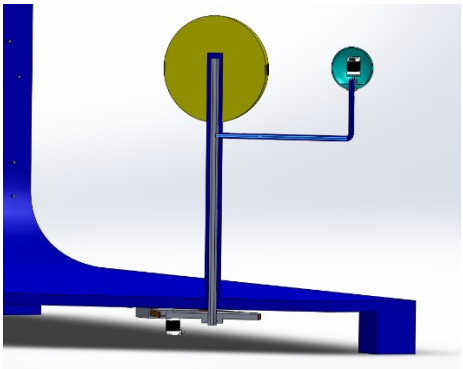


Figura 93: O tubo que suporta o sistema solar e a haste da Terra devem ser ocos para permitir a passagem dos fios que movimentam o globo terrestre.

Os materiais para a construção do conjunto podem ser adquiridos facilmente. O fundo de estrelas e o suporte do sistema solar podem ser construídos a partir de placas de madeira com espuma de poliuretano para fazer as superfícies arredondadas. As estrelas podem ser construídas a partir de pequenas varas de madeira montadas nas costas do suporte previamente furado. Apenas um furo deve ser feito cuidadosamente de forma que fique à altura do laser. Os outros furos são aleatórios. O suporte deve ser pintado de azul-escuro.

O Sol pode ser feito a partir de um globo de madeira e pode ser pintado de amarelo brilhante ou de branco, dependendo da vontade do guia em explicar a que se deve a diferença entre a cor real do Sol e a cor que observamos. A construção do globo terrestre envolve mais preparos. A Terra tem de ser maquinada num CNC de forma que no seu interior sejam construídos os entalhes para a montagem do laser e do pequeno motor. Pensou-se em construir o modelo da Terra em alumínio para que o seu peso não fletisse de forma percetível a haste de suporte. Se possível, o modelo terrestre devia ser pintado com o padrão da Terra real, com os contornos dos continentes, etc. Devem-se garantir tolerâncias dimensionais e geométricas adequadas para que o modelo terrestre rode apoiado num rolamento axial. A haste que transporta o globo terrestre tem

de ser oca para permitir a passagem dos cabos de alimentação do motor para que estes fiquem escondidos do público, desde a parte inferior do suporte de madeira (Figura 93).

6.3 Astronomia Espectroscópica no Telescópio de 30'' - Colaboração Profissional/Amador/Leigo

6.3.1 Introdução

Integrado numa estratégia de recuperação e promoção do acervo tecnológico da Universidade do Porto iniciada em 2011, o OAMB experienciou uma grande melhoria no seu parque de instrumentos. O telescópio de 30'' (Figura 94) foi um dos instrumentos recuperados. É propósito deste trabalho desenhar uma atividade que valorize este telescópio enquanto instrumento de divulgação da Astronomia, tendo em conta a sua capacidade coletora de luz, única a nível nacional. A atividade que se propõe envolve Astronomia Espetroscópica, uma área da Astronomia desconhecida do público leigo/escolar, muito pouco explorada pelos grupos amadores, mas que tem sido central à Astronomia profissional nos últimos 200 anos. Pretende-se com esta atividade estabelecer uma plataforma de partilha de conhecimento entre os três agentes sociais existentes na divulgação da Astronomia de forma a criar condições à disseminação do conhecimento através da produção de artigos científicos sobre potenciais descobertas.



Figura 94: O telescópio de 30" já restaurado.

6.3.2 Estado da arte

Com uma pertinência cada vez maior na melhoria da literacia científica, os projetos de Ciência-Cidadã têm sido um caminho preferencial no processo de ativação STEM[28] junto do público escolar. A introdução de conteúdos programáticos de ativação STEM nos currículos tem dois objetivos distintos: por um lado, pretende motivar e atribuir competências ao público-alvo no sentido de fomentar o interesse por estas áreas que permitirão por outro lado, criar condições ao legislador para melhor desenhar e implementar políticas públicas que atraiam os jovens para carreiras de cariz científico. Neste sentido é imperativo que haja mecanismos sociais de feedback que se materializem na prática em avaliações regulares das ações STEM realizadas.

Apesar do seu potencial de crescimento na atual cultura de divulgação da ciência, os projetos de ciência-cidadã subjugados ao tema da Astronomia pecam muitas vezes por não conseguirem corresponder a uma das mais prementes curiosidades do público sobre este tema: a possibilidade de fazer observações reais com um telescópio. Em ambiente escolar, a realização de observações noturnas carece de instrumentação adequada e quando ela existe falta quem seja capaz de a usar convenientemente. A realização de observações noturnas fora da escola encontra barreiras burocráticas intransponíveis, como declarações de responsabilidade e seguros, que esgotam a energia dos organizadores. O histórico de dificuldade burocrática perdura no tempo produzindo uma falsa ideia de inércia das instituições em tornarem-se mais próximas quando o verdadeiro problema reside no tecido legal que as dificulta. Mas em ambiente institucional, como é o caso do OAMB, a dificuldade maior em construir atividades de divulgação científica prende-se com a falta de financiamento. Desde há alguns anos que se tem vindo a instalar no seio das instituições um novo modelo de atuar em que se espera que tudo o que se faz tem de ter um alcance massificado. Neste contexto, assiste-se a uma política em que preterem sessões de observação de 10 ou 15 pessoas, consideradas um luxo, em favor de atividades dirigidas ao público geral que no conforto de suas casas analisa conteúdos (imagens, espetros, gráficos, etc.) sem nunca ter visto um telescópio nem olhado por ele. Se isso serve para alguns, não servirá para todos. Na perspetiva do autor, se a astronomia pode ter um papel muito positivo na ativação STEM pela sua abrangência curricular, pode igualmente, ao favorecer-se o suporte

[28] Acrónimo anglo-saxónico para Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática.

digital, contribuir para um alheamento da astronomia em relação à engenharia e à tecnologia e no limite ser um presente envenenado para todos aqueles que embarcam em estudos superiores de cariz científico e se depararão com a realidade quando já for tarde de mais. Apesar do interesse dos professores, a realidade é que no contexto nacional a implementação de atividades astronómicas observacionais em contexto escolar não é favorável: os meios nem sempre estão ao dispor, a instrumentação é dispendiosa e os profissionais escasseiam. No entanto, um projeto de ciência-cidadã na área da Astronomia tem um potencial enorme no âmbito do currículo escolar e a todos os níveis do desenvolvimento humano devido à multidisciplinaridade que a caracteriza. A espetroscopia astronómica é talvez o campo mais completo.

Um projeto de ciência-cidadã em Astronomia transcende o domínio do material e do imediato e talvez por isso sejam tão raros. Em contrapartida, existem outras áreas em que os bons projetos abundam. Um projeto interessante da área da Biologia é aquele em que os participantes fazem a analise da água de um poço com vista a detetar contaminantes. A água parece igual às outras, mas não é. Nesse projeto os alunos recolhem a água num recipiente, levam-na ao laboratório, vertem-na numa placa e identificam os compostos presentes. Estes alunos podem ver, cheirar, tocar na água cheia de contaminantes e percebem que é muito parecida à água que sai da torneira de suas casas. Independentemente, se conseguem distinguir uma da outra, a água está ali à sua frente num copo! Numa atividade de astronomia o que o aluno tem é luz, fotões registados num suporte que não podem tocar, nem cheirar, nem ouvir, mas hão de trabalhar com ela e concluir alguma coisa. A intangibilidade do objeto observado que deixou de ser astro para ser imagem, também ela intangível, requer abstração e induz reflexão, mas o seu tratamento engloba todo um programa curricular. O potencial utilitário que as atividades de ciência-cidadã subordinadas ao tema da Astronomia têm está no extravasar para as outras áreas da ciência onde só uma não chega para compreender os fenómenos envolvidos. Convém referir, no entanto, que não é impossível retirar conclusões imediatas numa atividade de ciência-cidadã deste género. Tal como no exemplo dado, em que o aluno sai consciencializado para o impacto que o uso dos pesticidas na agricultura tem na vida do dia-a-dia, também o aluno da atividade astronómica fica consciencializado para o impacto da poluição luminosa, por exemplo. A astronomia tem um potencial único para o desenvolvimento humano. O produto mais importante de uma atividade de divulgação da astronomia manifesta-se a longo prazo

sob a forma de um forte sentimento de humildade em relação à imensidão do Universo, relativiza os problemas individuais e fortalece a perspetiva de grupo e de comunidade global, induz reflexões acerca das condições únicas que permitiram que houvesse vida neste pequeno planeta e da possibilidade de haver vida noutros e provoca, é claro, o questionamento profundo sobre a nossa Origem. Com a atividade que se preparou espera-se tornar percetível a violência inerente aos fenómenos extremamente energéticos que se dão no Universo e com isto induzir no público uma reflexão sobre a fragilidade da vida na Terra.

O espectro dos intervenientes sociais numa atividade de ciência-cidadã em Astronomia é um pouco diferente do das outras áreas. Nos extremos do espetro encontramos dum lado o público leigo, interessado e de presença assídua, e do outro os profissionais que dedicam o seu tempo laboral à astronomia. O intervalo que separa uns dos outros é preenchido por um leque de indivíduos que têm a astronomia como passatempo e que buscaram conhecimento fora das instituições de educação formal. Podemos dizer que os astrónomos amadores são o fruto de ações de ativação STEM bem-sucedidas, sendo as mais comuns as sessões de observação noturnas conhecidas no mundo anglo-saxónico como “star parties”. Uma característica comum aos astrónomos amadores é a sua sede de aprender, mas também de partilhar o que sabem fazer (usar o telescópio, usar a câmara, apontar o telescópio, etc.). A perspetiva dum astrónomo amador é, pois, vital à transmissão de conhecimento de forma eficaz porque neles reside o saber de experiência feito. Ao contrário dos astrónomos profissionais, cujo interesse pela prática observacional é muitas vezes inexistente, os astrónomos amadores por já terem sido leigos um dia sabem aquilo que o público leigo quer saber e são capazes de comunicar ao mesmo nível.

Nos EUA e noutros países desenvolvidos o papel dos astrónomos amadores é muitas vezes enaltecido pelo contributo que prestam à sociedade. Um dos momentos altos da sua participação comunitária aconteceu no auge da guerra fria. Face à ameaça de serem atingidos por misseis balísticos de longo alcance, os EUA iniciaram em 1956 um programa de rastreio do céu noturno que ficou conhecido como Operação Moonwatch. Quando, em 1958, os soviéticos conseguiram pôr em órbita o primeiro satélite artificial, os americanos foram apanhados de surpresa e com o projeto Moonwatch ainda em preparação trataram de recrutar voluntários dispostos a monitorizar a trajetória desse corpo estranho. O Sputnik catapultou o tema do Espaço

para a ribalta de tal forma que chegou a provocar escassez de elementos óticos. Até hoje a operação Moonwatch é celebrada como o maior evento de ciência-cidadã da História.

Neste capítulo aborda-se a possibilidade de usar um espectrógrafo no Telescópio de 30'' no âmbito de uma atividade de divulgação de ciência envolvendo os três grupos de agentes sociais. Para além do que foi já referido, a inclusão do grupo de astrónomos amadores tem um significado especial pois foram estes os pioneiros da espectrografia em pleno século XIX, tendo-a subsequentemente abandonado devido ao custo da instrumentação. A ideia de analisar a luz que vem das estrelas surge como resposta à questão "O que são as estrelas?" quando até então a Astronomia estava focada na catalogação da posição dos corpos celestes. A análise de um espectro de luz fornece informação acerca da composição química do objeto observado, da sua temperatura, rotação axial, campo magnético e permite caracterizar o seu movimento pelo Espaço. Um dos astrónomos pioneiros neste campo e também ele um grande divulgador de ciência foi o padre jesuíta Angelo Secchi do Observatório do Vaticano que sugeriu pela primeira vez que todas as estrelas do Universo podiam ser agrupadas num pequeno grupo de categorias consoante a sua natureza físico-química obtida através da análise espetral. No final do século XIX, o interesse amador pela espectrografia desvanece-se ao passo que nos observatórios astronómicos instala-se como técnica de eleição. Este redireccionamento tem que ver fundamentalmente com a resolução que os telescópios grandes permitiam obter com a precisão tecnológica existente na fabricação de espetrógrafos. Se o objeto fosse muito brilhante, um espetrógrafo corrente montado num telescópio pequeno gerava bons resultados. Quando se procuravam objetos cada vez mais ténues eram necessários telescópios maiores que ficavam fora do alcance dos amadores. Apesar do potencial científico da espetrografia, o custo da instrumentação afigura-se como o principal obstáculo à sua popularização.

Em 2015, o observatório de Paris-Meudon realizou um workshop subordinado ao tema da astrometria e à contribuição dos astrónomos amadores no processamento dos resultados obtidos pelo telescópio espacial Gaia (Figura 95). Levantou-se a questão da necessidade de mitigar as limitações das observações amadoras devido ao custo dos telescópios e restante instrumentação para a confirmação do que se antecipava ser um catálogo com mil milhões de estrelas, das quais estimava-se que 1 milhão, ou seja,

1 em cada 1000, apresentasse ambiguidades ao nível cinemático, fotométrico e das assinaturas espetrais (Arlot et al., 2017).

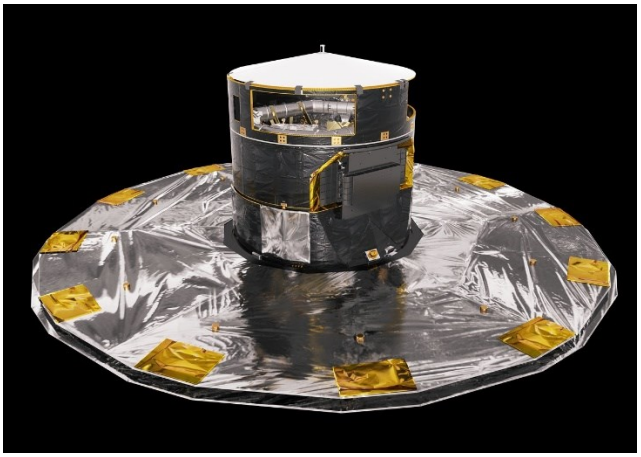


Figura 95: O satélite Gaia da Agência Espacial Europeia (Crédito: ESA)

De facto, verificou-se que o primeiro catálogo (Gaia DR1) continha mil milhões de entradas (Collaboration et al., 2016), ao que lhe sucedeu um segundo, publicado em 2018 (Gaia DR2), com mil e setecentos milhões de estrelas (Collaboration et al., 2018) totalizando cerca de três vezes mais material do que o esperado. Longe de estar concluído aguardam-se pelo menos mais duas publicações. O que a avalanche de informação produzida pela instrumentação automática veio demonstrar é que a verificação da informação por meios não automáticos não só é desejada como é vital à manutenção da qualidade dos projetos científicos. Porém, esse trabalho devia ser realizado pelos astrónomos profissionais que se vêm sem meios para tamanha quantidade de informação. Num tempo em que a construção de novos telescópios implica investimento com recurso a financiamento público justificada principalmente pela exploração do desconhecido, a verificação de resultados vê-se relegada para segundo plano e considerada uma tarefa de mérito menor nos planos de gestão do tempo de utilização de um novo telescópio (P. Y. Bely, 2003, cap. 3). É neste contexto que se tem assistido a um estreitar de relações entre os astrónomos amadores, organizados, disponíveis, capazes e com vontade de participar em projetos científicos e os observatórios oficiais que vêm neles uma ótima forma de direcionar o tempo precioso de um novo telescópio para tarefas mais meritosas.

Em 2012, a revista Sky & Telescope publicou no seu website duas listas dos projetos de ciência-cidadã e de colaborações Pro-Am[29] então existentes. Da lista de projetos de ciência-cidadã destacavam-se o The Galaxy Zoo[30] e o Zoo Inverse[31]. O The Galaxy Zoo foi iniciado em 2007 e até então já tinha classificado cerca de um milhão e meio de galáxias, com a colaboração de 18.740 voluntários usando imagens produzidas pelo Sloan Digital Sky Survey (SDSS). A classificação é tão simples quanto distinguir entre galáxias espirais e elíticas. Por outro lado, o Zoo Inverse classificou 728.549 sistemas planetários com a colaboração de 2.262 voluntários usando informação coletada pelo Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS).

6.3.2.1 Colaboração Pro-Am em França

A comunidade de astrónomos amadores ARAS colabora com o Observatório Paris-Meudon desde 2003 na coordenação das suas observações no sentido de otimizar os resultados do rastreamento espetral de estrelas tipo *Be* usando espectrógrafos de poder resolvente até 20.000. Para compilar os espectros de estrelas *Be* produzidos por amadores e profissionais foi criada a base de dados BeSS e desenvolveu-se software para os amadores como por exemplo o ArasBeAm, uma ferramenta online destinada à organização das observações e dos registos espetrais onde é usado um código de cores indicativo das melhores estrelas a observar na noite seguinte. Até 2011, o BeSS tinha recebido mais de 11.000 espectros produzidos por amadores (Cochard et al., 2011). Compilados mensalmente, os resultados do BeSS mantêm uma cadência regular de informação desde há anos. Todos os meses são recolhidos em média 150 espetro H-alfa respeitantes a meia centena de objetos, fruto da contribuição de dezenas de observadores. Nos relatórios podemos encontrar o histórico de vários meses que permitem perceber que estrelas estão a perder intensidade em H-alfa, as que estão a ganhar e as variações no movimento através das alterações à posição das linhas características dos espetros. Para Neiner (2018) a base de dados BeSS é uma "colaboração profissional-amadora de sucesso", que continha à data do relatório, 177 mil espetros de 2.340 estrelas incluindo estrelas *Be*[32] clássicas,

[29] https://www.skyandtelescope.com/get-involved/pro-am-collaboration/list-amateur-research-projects/

[30] Ver https://www.zooniverse.org/projects/zookeeper/galaxy-zoo

[31] Ver https://www.zooniverse.org/projects/nora-dot-eisner/planet-hunters-tess

[32] Ao longo do texto serão sublinhados determinados tipos de estrelas que se afiguram como excelentes candidatos a ser observados no âmbito deste trabalho.

estrelas *Be* Herbig, *B(e)* supergigantes, magnéticas e análogas a gama Cassiopeia. O sucesso continuado levou já a que a informação do BeSS fosse usada em mais de 70 artigos científicos.

Os grupos de astrónomos amadores franceses têm grande experiência em projetos Pro-Am. De acordo com Santerne et al. (2011) foram descobertos desde o ano 2000 mais de 100 exoplanetas usando telescópio de pequena abertura. No que diz respeito a espectroscopia, o mesmo autor refere que usando um espectrógrafo como o eShel (Shelyak instruments) é possível fazer medições de velocidade radial com precisões até aos 50 m/s, usando um telescópio amador observando estrelas do mesmo tipo que o Sol. O autor dá como exemplo os primeiros resultados de amadores franceses que conseguiram medir a velocidade radial de 4 planetas extrasolares usando telescópios amadores, incluindo o τ Boo b (Figura 96) e o 51 Peg b.

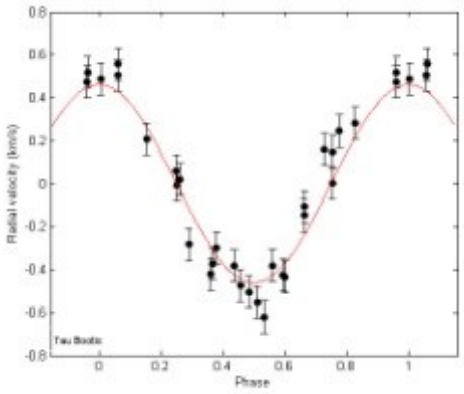


Figura 96: Aspeto de uma curva de velocidade radial da estrela associada ao exoplaneta τ Boo b observada com um espectrógrafo eShel num telescópio de 11 polegadas.

6.3.2.2 Colaborações Pro-Am na Alemanha

Há aproximadamente 25 anos que a secção de espectroscopia da Associação de Astronómos Amadores Alemã (Vereinigung der Sternfreunde, VdS) publica uma revista gratuita chamada Spektrum (ISSN 2363-5894) centrada na temática da espectroscopia astronómica. Enquanto plataforma de comunicação internacional, a

revista reúne artigos de astrónomos amadores que conseguem muitas vezes ter o seu trabalho reconhecido por uma audiência profissional[33].

Outra colaboração Pro-Am tida como referência é aquela desenvolvida por dois astrónomos profissionais alemães no Schnörringen Telescope Science Institute (STScI) [34] onde o foco da investigação centra-se no estudo das estrelas binárias Wolf-Rayet. O STScI foi criado com vista à investigação astronómica participativa e realiza, com a colaboração de alunos e amadores, campanhas de observação, encontros e conferências e elabora relatórios e publicações profissionais onde os alunos são autores. Do trabalho científico realizado no âmbito desta iniciativa destaca-se o estudo espectroscópico da estrutura do vento em WR134 (Aldoretta et al., 2016), os resultados da campanha Wolf-Rayet Pro-Am de 2013 (J. Aldoretta et al., 2015), e o relatório da espectroscopia da binária de ventos em colisão WR140 durante o periastro de 2008-2009 (Fahed et al., 2011). As conferências realizam-se periodicamente de forma que os alunos possam apresentar os seus resultados.

O primeiro espectrómetro de prisma foi desenvolvido por Joseph von Fraunhofer no século XIX (ver Fraunhofer (1817)) e o seu trabalho, nomeadamente no estudo do espectro solar, conduziu à descoberta de que cada elemento químico possuía uma linha ou conjunto de linhas características.

O elemento central do espectrómetro de Fraunhofer e dos modelos que lhe sucederam (Kirchoff e Bunsen, p. ex.) era o prisma, um corpo de vidro cujo poder de resolução é proporcional ao seu ângulo (Hearnshaw, 2014). Quanto maior for a distância percorrida pelo feixe de luz no interior do vidro, mais facilmente se distinguirão as linhas que faltam, ou as que existem, no micrómetro. No entanto, ao aumento do tamanho do prisma estava inevitavelmente associada uma perda de qualidade na homogeneidade do material que tornavam os espectrómetros maiores incompatíveis com aplicações que exigissem grande detalhe. Limitados pela falta de qualidade dos processos de fabrico da indústria vidreira, a astronomia espectroscópica só conheceu um maior desenvolvimento quando foi possível substituir os prismas um elemento dispersor de luz de maior qualidade. As grades de difração inventadas por Plaskett em 1918 fornecerem essa alternativa. Elemento fulcral dos espectrógrafos usados

[33] Ver https://www.skyandtelescope.com/observing/stargazers-corner/spektrum-spectroscopy-journal/

[34] Ver https://www.stsci.de/en/research/

atualmente, os espectrómetros de grade de refração precisam de menos luz, fornecem mais detalhe do que um prisma e podem ser focados numa região específica do espetro (Kitchin, 1995).

A astronomia espectroscópica realizada a partir de telescópios na Terra estuda a radiação eletromagnética visível e de rádio emanada pelas estrelas e por outras fontes no Universo. Pela análise do espetro eletromagnético podemos conhecer a composição química, a massa, a densidade, a temperatura, a luminosidade e o movimento da fonte. Por extravasar o âmbito deste trabalho, a instrumentação utilizada bem como os princípios teóricos subjacentes a este tema foram resumidos e podem ser consultados no Anexo I.

6.3.3 Implementação

Existem várias iniciativas de espetroscopia astronómica de sucesso que envolvem amadores e profissionais. No entanto, os programas de divulgação enquanto ferramenta de democratização do conhecimento científico podem envolver também o público leigo. O programa de divulgação que aqui se apresenta compreende profissionais, amadores e leigos. Da experiência com as visitas guiadas reconhece-se bastante potencial nesta atividade dado o interesse demonstrado pelos diversos públicos em usar o Telescópio de 30''.

6.3.3.1 Seleção de um espetrógrafo adequado

Como é habitual, a seleção do instrumento adequado depende do trabalho que se pretende realizar. Do que é possível perceber da literatura consultada, o Shelyak Lhires III (Figura 97) apresenta-se como um instrumento versátil cujo valor comercial ronda o €3.800. Em alternativa, a Shelyak comercializa também o sistema completo eShel, um espectrógrafo do tipo échelle, com uma resolução espetral de 10.000, com sistema de guiagem e unidades de calibração incluídas, mas cujo valor comercial de €16.200 parece ao autor excessivo para uma atividade exploratória deste género.



Figura 97: O espectrógrafo Lhires III, Shelyak Instruments, com descrição das partes principais (Crédito: AAVSO)

O Shelyak Lhires III é um espetrómetro que pode ser usado visualmente ou com câmara e tem um poder resolvente que varia entre os 600 e os 17.000. Segundo Thizy (2011), o Lhires III é um instrumento adequado para a determinação do período de pulsação das estrelas *Be* numa escala de horas, a observação de variações diárias ou anuais nas posições das linhas de estrelas binárias conhecidas como a delta Sco e a zeta Tau, em estrelas Herbig Ae/Be, na P Cygni, Rigel, Deneb, etc., determinação de abundâncias e, consequentemente, presta-se à classificação estelar. Com o mesmo instrumento podemos medir velocidades radiais das estrelas binárias *Be* como a delta Sco. Para obter resultados apreciáveis num período mais curto de variação, é possível monitorizar as estrelas Wolf-Rayet e determinar temperaturas e velocidades de expansão seguindo os procedimentos usados em iniciativas Pro-Am anteriores. Podem-se também determinar as velocidades radiais de estrelas variáveis como a RR Lyrae, BW Vul, 53 Persei, etc, através do deslocamento das linhas de absorção[35]. Baseado no estado da arte, o registo e análise dos espetros das estrelas *Be* pode representar uma contribuição importante para a ciência com a vantagem de que existem muitos registos em relação aos quais comparar os nossos resultados.

Por fim, o Shelyak Lhires III pode também ser usado para realizar trabalho sobre exoplanetas, aplicando os mesmos princípios às estrelas que eles orbitam. Tudo o que é necessário saber encontra-se no Arquivo de Exoplanetas da NASA[36].

[36] https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/parhelp.html

6.3.3.2 Programação da atividade

Apesar de enriquecedora para efeitos da literacia científica enquanto hobby e ciência no geral, é sabido que a astronomia requer muito tempo de aprendizagem para dominar os conhecimentos básicos. Desta feita propõe-se que a atividade de divulgação tenha uma duração mínima de 6 meses. A atividade devia ter lugar entre os meses de maio e setembro, quando as noites são mais agradáveis e o céu está mais limpo. As sessões teriam lugar no observatório ao sábado de manhã e à tarde ou manhã e noite dependendo do programa e das condições meteorológicas, uma variável sempre presente no que a sessões de observação diz respeito. O grupo, propositadamente heterogéneo, seria formado por 2 astrónomos profissionais, 5 astrónomos amadores e 5 leigos de forma que cada amador possa tutorar um leigo. Enquanto o acesso à atividade é livre, mediante inscrição prévia pelo website do observatório, os astrónomos profissionais seriam designados pelo observatório e um dos dois tomaria o papel de coordenador a seu encargo. A idade mínima prevista de participação seria fixada nos 16 anos.

Como pessoas diferentes gostam de coisas diferentes, o programa não terá tarefas obrigatórias. Os participantes podem, por exemplo, participar nas observações e não analisar resultados ou vice-versa.

Em “Espetroscopia para Astrónomo Amadores”, Trypsteen e Walker (2017) propõem as sete fases que uma colaboração Pro-Am deve seguir e que tomaremos como fio condutor *mutatis mutandis.*

Fase 1: Sábado #1 – Apresentação do contexto. A todos os participantes deve ser comunicado que uma colaboração Pro/Am/Leigo é um projeto de alto valor científico. O principal objetivo é que o grupo seja capaz de contribuir com trabalho científico válido que pode estar a ser financiado localmente ou no âmbito de um projeto internacional. Este trabalho pode também ser útil no âmbito de um projeto de doutoramento, nomeadamente, de divulgação da ciência como o presente, ou de Astronomia.

Fase 2: Sábado #1 – Este é o momento ideal para que os elementos do grupo se conhecerem, partilharem os seus conhecimento, experiências e expectativas em relação à atividade. Além do potencial científico da equipa, o coordenador deve atentar à interação social entre os elementos do grupo.

Fase 3: Para o Sábado #1 e todos os sábados – É nesta fase que os astrónomos profissionais apresentam o projeto. O objetivo principal é o de informar o grupo, com o máximo de detalhe, sobre os objetivos do projeto, os procedimentos a seguir, explicar como funciona o espectrógrafo, o telescópio, o sistema de guiagem e as câmaras. Também se deve abordar como se irão organizar os tempos de observação e quais serão os programas que se irão usar. Contudo, porque a quantidade de informação a transmitir é grande deve-se encontrar um suporte onde os manuais possam ser armazenados para consulta geral. Da experiência decorrente do projeto da base de dados do Telescópio Espacial Hubble, uma referência de protocolo para as organizações, recomenda-se que a criação de uma página online de acesso reservado aos participantes que sirva de repositório único a todas as informações comunicadas oralmente. Destas destacam-se a localização do observatório, o calendário das atividades com as especificidades de cada sessão, as características do equipamento a utilizar, as condições meteorológicas previstas, regras de comando e controlo da instrumentação, limitações operacionais e um número de telefone a usar em caso de necessidade. A base de dados deve ser programada como “configuration managed”, quer dizer, que todas as alterações efetuadas necessitam da aprovação do coordenador e que todos os utilizadores devem tomar conhecimento das alterações aprovadas (P. Bely, 2003).

Fase 4: Do Sábado #2 ao #4 – A fase 4 original diz respeito à organização das observações no caso de se optar por realizá-las remotamente. Como as observações podem ser realizadas do mesmo sítio onde a atividade ocorre, a fase 4 original é substituída pela programação do website e elaboração e organização dos conteúdos a constar na base de dados. Desta forma, os participantes poderão ter um primeiro contacto com a criação de uma página web e aprofundar os conhecimentos sobre a instrumentação que irão usar.

Como a atividade pode ser um pouco intensa, afinal espera-se que se desenrole durante seis meses, o website devia conter uma página de upload de ficheiros onde os espetros obtidos seriam carregados bem como os resultados das reduções que os participantes obteriam em casa, no caso de preferirem não assistir a todas as sessões presencialmente.

Fase 5: Sábado #5 e #6 (tarde e noite) – Esta é a fase em que se testa o equipamento. O grupo faz alguns registos, fotográficos e espectroscópicos, tanto dentro de portas usando o espectrógrafo Lhires III apontado a lâmpadas de cores diferentes e no exterior com o telescópio usando o CCD.

Fase 6: Sábado #7 (tarde e noite) – Começam as observações e o registo dos espectros. Esta fase irá durar 4 meses sendo uma parte importante realizada em casa. Durante esta fase o trabalho científico desenvolve-se segundo três vetores: registar os espectros de estrelas *Be,* medir velocidades radias de sistemas de estrelas binárias e classificar estrelas Wolf-Rayet.

Do Sábado #7 ao #10 o espectrógrafo montado no Telescópio será usado para registar espetros das estrelas *Be.* Os espetros que forem obtidos na noite do Sábado #7 serão analisados até à tarde do Sábado #10. Os resultados serão carregados no website e durante as semanas que separam o 7º sábado do 10º, as reduções e os resultados que se espera que o grupo elabore em casa, por si próprios ou em grupo, devem ser carregados na página. Durante a tarde do Sábado #10, o grupo encontra-se novamente no observatório para discutir os resultados.

Na noite do sábado #10, iniciam-se as observações e registo de espectros de estrelas binárias. Até à tarde do sábado #13 espera-se que as reduções das observações estejam concluídas, altura em que o grupo se reúne no observatório para discutir os resultados.

A última tarefa começa no Sábado #13 à noite e decorre de forma diferente. O grupo irá observar estrelas conhecidas e o objetivo passa por classificar as estrelas Wolf-Rayet. Das observadas algumas são do tipo Wolf-Rayet e outras não. Aos espetros recolhidos dar-se-á uma referência alfabética cuja correspondência correta só o coordenador conhece. No sábado #16 à noite, torna-se a observar e registar os espetros da mesma lista de estrelas. Até ao sábado #18, o trabalho incidirá sobre a classificação dos espetros. Durante a tarde do Sábado #18, o grupo reunir-se-á novamente e para marcar o encerramento das atividades sugere-se a realização de um barbecue no recinto do observatório onde o coordenador divulgará se a correspondência que o grupo fez dos espetros é a correta ou não. A necessidade de haver duas sessões de observação para esta fase justifica-se com o facto de as estrelas Wolf-Rayet serem

muito dinâmicas pelo que é expectável que se consigam observar alterações no espetro mesmo tendo um intervalo temporal tão curto entre observações.

Se o grupo se tornar razoavelmente proficiente nas matérias em estudo, o coordenador pode enveredar por um caminho diferente e registar o movimento do exoplaneta Tau Boo (HD 120136) e compará-lo com os resultados obtidos por outro observatório. Também seria interessante confirmar alguns resultados produzidos pelas sondas Kepler e Gaia.

Durante a fase 6, os registos poderão ser analisados usando o BASS (Basic Astronomical Spectroscopy Software)[37] ou outro software que os astrónomos amadores estejam habituados a usar, como por exemplo, o RSpec[38].

Fase 7: Sábado #19 até #24 – Este é o tempo de refletir e compilar resultados, escrever artigos, publicá-los e esperar retorno. Como fez o STScI, no caso presente seria desejável organizar uma conferência no final de cada atividade com o intuito de apresentar e discutir os métodos e os resultados com outros leigos, amadores e profissionais. Os artigos produzidos deviam ser publicados em revistas internacionais de astrofísica.

No fim da atividade, será pedido que os participantes preencham um questionário inspirado na analogia das vogais de Burns et al. (2003) no sentido de melhorar a experiência dos participantes da edição seguinte.

6.3.4 Relevância da atividade

Os Objetivos Científicos Estratégicos (Apêndice I) do ESO estabelecem uma série de temas a serem abordados nos próximos 5 a 25 anos pela comunidade astronómica, com o objetivo de aprofundar o nosso conhecimento sobre: a) os extremos do Universo, b) a formação e a evolução das galáxias, c) a origem e a evolução das estrelas e d) a forma como nos encaixamos nos modelos existentes (Bode, 2010). Espera-se que o plano estratégico para o decénio 2020-2030, a ser publicado no final de 2021, sofre algumas alterações de forma a contemplar a formação de sistemas planetários. Baseado no estado da arte, a maioria dos projetos Pro-Am incide sobre o

[37] https://uk.groups.yahoo.com/neo/groups/astrobodger/info
[38] https://www.rspec-astro.com/

tema C) que se afigura ao autor como o tema mais apropriado a ser abordado no âmbito da atividade que se propõe.

A monitorização de estrelas variáveis e de estrelas binárias, como as *Be* e as Wolf-Rayet, respetivamente, são dois tópicos de interesse no âmbito de colaborações Pro-Am e para os quais o Telescópio de 30'' se adequa na perfeição. Com o telescópio existente, da literatura consultada sobre projetos anteriores, salienta-se a viabilidade de verificar informação proveniente das missões espaciais Gaia e Kepler e a possibilidade de implementar operações de rastreio do céu noturno em busca de estrelas binárias onde se esperem fenómenos transientes de grande amplitude.

Não só a relevância científica deve ser característica do tipo de colaboração que se pretende construir, como o deve ser também a relevância pessoal para o individuo participante. Nas palavras de Davies (2008), «if you're not "clued into people's experiences on a personal level," in fact, you'll lose your audience». No contexto deste trabalho, no da astronomia e no da nossa vivência na Terra, as estrelas Wolf-Rayet encontram um lugar de destaque. As estrelas Wolf-Rayet são estrelas que formam um sistema binário com outra estrela companheira entre as quais se dá a colisão de um vento espesso de poeiras que pode ser observado oticamente (Crowther, 2007). Quando o sistema explode torna-se uma supernova, um fenómeno raríssimo que produz um brilho intenso no céu. Como fenómenos raros que são, toda a gente quer conseguir ver um. Antes de se tornar supernova, o sistema binário ejeta uma quantidade enorme de energia na direção do seu eixo de rotação (Soulain et al., 2018), e a popularidade das estrelas Wolf-Rayet junto do público vem deste facto. Em 2008 foi publicado um artigo no The Astrophysical Journal, no qual se referia ter sido descoberta uma estrela Wolf-Rayet localizado a 8.000 anos-luz, cujo sistema binário observado era uma espiral de Arquimedes perfeita. Ora, a única forma da espiral observada ser perfeita era se o eixo de rotação estivesse alinhado com a Terra. Quando a explosão se der, e se a Terra continuar no seu encalço, o sistema irá ejetar um feixe de raios gama tão potente que poderá eliminar até 25% da camada de ozono vital à nossa sobrevivência enquanto espécie. Haverá coisa mais aliciante do que observar uma estrela que pode pôr em risco a vida na Terra? A falta de projetos de ciência-cidadã envolvendo espetroscopia reforça a necessidade de explorar este campo com o público leigo.

7. Notas finais

7.1 Principais conclusões

Num projeto de restauro funcional com vista à divulgação participam dois elementos que são cruciais à manutenção do projeto: o conservador e o público. Sem o conservador nada se faz e sem o público nada se justifica fazer. O mesmo é verdade no que diz respeito às conclusões, daí ser tão importante implementar ações de avaliação das atividades de divulgação. Algumas das reações do público encontram-se patentes neste estudo, mas muitas outras, verbalizadas ao longo dos anos, não foram documentadas não deixando por isso de serem muito gratificantes para o autor porque revelam o seu interesse pela instrumentação astronómica restaurada, pensada fora da caixa, explorando novas estratégias de divulgação, apostando nas próprias ideias que o autor foi assimilando de visitas a outros museus como o Science Museum de Londres ou o Deutsches Museum de Munique.

Na prática, o modelo de atuação para uma divulgação científica de qualidade é iterativo e, por isso, algumas decisões são difíceis de justificar por se basearem em ideias verbalizadas pelos visitantes, ideias que surgiram durante as visitas ou realidades vistas noutros museus e que se tentam replicar para ver se também resultam. A opção de tornar o CME num museu vivo, mais do que uma peça museológica estática, nasceu da curiosidade demonstrada pelos visitantes nos temas da hora e em fazer observações noturnas com um instrumento histórico, o que culminou na criação de uma atividade em que os visitantes pudessem realmente acertar os seus relógios por observação astronómica. Umas decisões tiveram bons resultados, outras nem por isso. Mas o método é iterativo e as más decisões servem de aprendizagem e não se voltam a tomar a menos que haja ordens superiores nesse sentido. Uma dessas más decisões, tentadas, rejeitadas e que se queriam ter implementado novamente não fosse a pandemia resolver o assunto por todos nós, diz respeito a um dos erros mais básicos da divulgação da ciência que tem que ver com a adoção de uma estratégia assente no modelo do défice. Este modelo reflete o modo de divulgação em que se encara o público como recipientes prestes a serem preenchidos com informação nova sobre a qual não possuem elementos de contexto para as relacionar e muito menos refletir sobre eles. Recordemo-nos que o objetivo principal deste projeto é potenciar uma reflexão sobre o Tempo, como se usam as estrelas para medir a sua passagem regulada pela rotação natural da Terra. A apresentação de um Power Point é a fórmula mais fácil de implementar uma ação de divulgação, mas também é a que surte efeitos mais

indesejados. Como se assemelha tanto a uma extensão da sala de aula, o aluno visitante tende a comportar-se como tal: Não faz perguntas porque não se sente à vontade com o "professor" ficando com as dúvidas todas para si, o que neste caso é curiosidade genuína. Ora, esta forma de transmitir ciência é uma perda de tempo. Não só é um insulto ao conservador que tinha todo o gosto em dialogar com o público acerca dos seus interesses acompanhando as explicações com mecanismos que funcionam de facto, como tem um efeito pernicioso à imagem e ao objetivo que se pretende alcançar como é o da ativação do interesse por conteúdos STEM e um efeito transformador que a Ciência pode ter na vida das pessoas. O visitante, para além de se sentir constrangido ficará também com a ideia de que a Ciência é uma grande seca. Conclui-se que esta estratégia, implementada e rejeitada pelo público, com bocejos de enfado, deve ser evitada a todo o custo e devem-se implementar atividades o mais participativas possível. Apesar de se reconhecer a ineficácia do método do défice do qual se tentou divergir, na prática esta estratégia é vista como mais segura por aqueles estranhos à arte. Assim, este trabalho englobou também a preparação de uma palestra da evolução tecnológica ao longo da história onde se evidencia o desenvolvimento do relógio a par com o dos círculos meridianos (Anexo I).

Um dos sinais de transformação que resultam como mais gratificante é aquele que advém da mudança de comportamento do público mais jovem. O início de cada visita guiada caracteriza-se por uma algazarra evidente que se mantém mesmo depois da visita se iniciar pelo que se fica com a sensação de que as visitas só servem para os alunos virem correr e saltar num sítio diferente. Quando entram no CME e vêm a cúpula abrir, tendem a acalmar, mas é quando um mais atento deteta o primeiro movimento do espelho do CME que tudo se altera. Ficam serenos e curiosos com tudo o que vêm, porventura esperando mais surpresas, para de seguida fazerem perguntas sobre tudo o que lhes suscita interesse, a maior parte acerca do que é o Stellarium, sobre a forma como se faz o comando do CME, como é possível que um instrumento antigo se comande por computador e se é possível ver o trânsito das estrelas na televisão, também gostavam de as ver em tempo real. Também a apresentação dos modelos tridimensionais dos instrumentos em SolidWorks costumam suscitar reações curiosas. No final da visita é costume virem perguntar, novamente o nome do programa de ver estrelas para o poderem instalar em casa. Deste fenómeno depreende-se o potencial que os programas de computador têm na divulgação da ciência, nomeadamente, o

Stellarium no que à astronomia diz respeito e o software de modelação tridimensional no tocante à divulgação STEM em geral.

Um projeto de restauro funcional de instrumentação astronómica é um projeto inevitavelmente multidisciplinar porque enquanto equipamento de precisão engloba problemas técnicos da engenharia mecânica e de eletrónica, mas também de química, de ótica, de engenharia de materiais, etc. Envolve também uma boa dose de bom-senso e de experiência sobre o que vale a pena recuperar numa primeira fase, o que pode ser relegado para mais tarde e o que são preciosismos que se podem ir fazendo. Neste campo existem diversos trabalhos publicados, ver (Lemos & Tissot, 2020) que procuram criar ferramentas para a tomada de decisão o que implica um certo nível de generalização com todas as idiossincrasias que revestem os projetos de restauro de instrumentos científicos históricos. Revestindo-se de um conjunto de desafios que superam qualquer indivíduo que o tente empreender sozinho, é manifesta a importância de se poder contar com um grupo de profissionais de outras áreas que possam assistir e aconselhar o conservador sobre a melhor forma de proceder nas diversas situações que vai encontrando. Comprova-se assim que a constituição do Círculo dos Amigos do Círculo Meridiano de Espelho é uma boa-prática em projetos deste género.

A recuperação do CME partiu da constatação que o parque de instrumentos do Observatório Astronómico da Universidade do Porto possuía um elevado valor patrimonial que estando ao abandono, se desperdiçava a cada ano que passa. As palavras atribuídas a Newton de que “Se vi um pouco mais longe, foi por estar sobre os ombros de gigantes” relembram-nos da necessidade de estimarmos o património que permitiu a construção do conhecimento científico que nos antecedeu para que outros com ele aprendam e podermos avançar e contribuir para uma sociedade mais esclarecida e, portanto, livre.

O observatório astronómico da UP foi fundado pelo Professor Manuel de Barros, há mais de 70 anos, justamente com o objetivo de criar condições práticas para o avanço intelectual dos alunos, capacitando-os com as técnicas e os métodos que na altura faziam sentido para vingarem no mercado de trabalho proporcionando-lhes as mesmas condições que ele tinha visto em Inglaterra quando visitou o observatório de Greenwich em 1946. A Astronomia é de facto um campo fértil para o enriquecimento intelectual, facto que se depreende facilmente quando se dá a Lua e os planetas a observar a

alguém através de um telescópio por primeira vez e se geram aqueles momentos que em Divulgação da Ciência se designam por “Awww moments”. Também a explicação do que são estrelas duplas, do que são nebulosas e galáxias comporta em si matéria infindável que gera “Awww moments” tanto nos conceitos científicos abordados como na perceção de que o Universo é mesmo muito vasto. Quando um apaixonado pelos mistérios do Universo, percebe a mínima possibilidade de construir conhecimento novo gera-se um móbil muito forte de concretização. Este sentimento teve-o também o autor num workshop subordinado ao tema da deteção de exoplanetas apresentado por Cédric Pereira na Universidade de Coimbra. Parece perfeitamente plausível que este fosse o móbil do professor Manuel de Barros para a criação do observatório: o de criar condições materiais num espaço adequado para replicar este sentimento nos outros.

No início da sua história, o observatório viu nascer consigo o CME e em torno deste também o observatório foi crescendo tomando o seu lugar no palco científico internacional. O CME, embora de construção tardia no que diz respeito à sua utilidade na determinação precisa da hora, dado que quando o instrumento ficou pronto em 1967 já se vislumbravam no céu fontes mais estáveis para a medição do tempo que preteriam a observação visual, representou um instrumento muito avançado para a época posicionando o Observatório do Porto como uma instituição capaz no estudo de formas mais precisas de medição do Tempo. Desse momento em diante formou-se uma equipa de investigadores talentosos que trabalhariam durante décadas em projetos tendo o tempo por substrato, desde a catalogação de estrelas para a determinação da hora até à geolocalização por satélite, ainda na era pré-digital até ao momento presente. Ao recuperar os instrumentos e ao divulgá-los, é também a memória e o legado desses investigadores que estamos a preservar e a divulgar com especial enfoque nos mais novos, transmitindo a mensagem de que embora Portugal seja um país pequeno, os portugueses têm um historial de grandes feitos. A criação de “Awww moments” por vezes acontece acidentalmente, como foi o caso do comando do CME pelo Stellarium ou pela abertura da cúpula, mas são estes elementos que induzem no público o gosto por conteúdos STEM, que transmitem a importância de conservar o conhecimento previamente adquirido, fomentando, simultaneamente, o espírito de preservação do património cultural e do bem comum.

A luta do Professor Manuel de Barros dirigiu-se durante décadas à melhoria das condições materiais tanto ao nível dos instrumentos como dos edifícios, sabendo-se de

antemão o nível de analfabetismo que se vivia em Portugal nos anos 40, 50 e 60 do século passado. Felizmente, volvidos mais de 70 anos, o paradigma alterou-se substancialmente e o que se estuda e desenvolve são políticas que tentam inverter o desinteresse por áreas tecnológicas e daí o esforço que se faz por ativação do conteúdo STEM junto do público escolar (Thibaut et al., 2018). Contudo, pela experiência do autor com o projeto de investigação-ação realizado ao longo dos anos este panorama não é condizente com a realidade portuguesa. Nota-se uma grande curiosidade dos jovens por temas relacionados com a Astronomia e a Tecnologia em geral e, portanto, põe-se a hipótese de que talvez o problema do desinteresse por carreiras científicas resida na falta de projetos deste género, que tornam o mundo da tecnologia mais sedutor, e não no desinteresse dos jovens por conteúdos STEM que manifestamente não é o caso.

No que toca à técnica interpretativa do objeto CME e Telescópio de 30'' optada à partida que passa por diversificar os objetos visitados para neles explicitar detalhes que facilitam a compreensão e utilização dos primeiros, deve-se dizer que os resultados são *in absentia* bastante inspiradores. A diversificação da oferta de instrumentos visitados permitiu um diálogo mais animado, sem bocejos de enfado, num ambiente informal de perguntas e respostas, e por esse motivo não se percebe por que razão os instrumentos pequenos não aparecem nas composições. Dos quatro instrumentos visitados, só o Círculo Meridiano de Espelho e o Telescópio de 30'' foram restaurados funcionalmente. Os outros dois instrumentos, o IPSE e o Sartorius, foram limpos e mostrados ao público com vários elementos de interesse, nomeadamente, a possibilidade de fazer observações e de tomar conhecimentos com vários conceitos novos para o público. Além do facto de uns terem sido restaurados e os outros não, facto que o autor tende a considerar irrelevante porque o aspeto podia ser idêntico, é a ausência de elementos digitais, de controlo por computador, que os distingue e que pode estar na origem da irrelevância para a memória do visitante. Uma terceira razão pode ter que ver com o tamanho e o barulho: o Círculo Meridiano de Espelho encontra-se numa cúpula com 7 metros de altura e o Telescópio de 30'' não tem o tamanho que um jovem costuma associar a um telescópio. Em ambos os casos, as cúpulas fazem muito barulho a abrir. Nos dois instrumentos mais pequenos a cúpulas não abrem e a primeira vez que o público vê a cúpula a abrir acontece no CME. A abertura da cúpula do CME provoca sempre um grande e generalizado "Ahhhhhh" que se mistura com o barulho da cúpula. No Telescópio o ruído é estridente e sabendo-se à partida que haverá

sobressalto, o público é avisado de antemão, o que não evita algum caos. Temos assim como adjuvantes à lembrança da mensagem, os estímulos auditivos pelo barulho que provoque susto ou um som cómico como o gongo da determinação da hora no CME, mas também a envergadura do objeto aliada à sua crominância que podem ser favorecidos por uma iluminação adequada. De todos os artifícios para cativar o público, aquele que parece surtir melhores efeitos é o movimento e a possibilidade de o realizar recorrendo ao computador.

Em suma, a originalidade deste projeto evidenciada pela boa aceitação do público e pela sua reação face à novidade indicam que é necessário intensificar esforços no sentido de construir mais oferta cultural tendo a tecnologia mecânica como substrato e os meios digitais como auxiliares. Conclui-se também que exploração de património científico-tecnológico histórico é uma mais-valia para a ativação de conteúdo STEM junto do público escolar.

7.2 Algum percurso auto-crítico

Um projeto de divulgação da ciência vive da interação com o público. Em retrospetiva teria sido vantajoso se o contacto com o público tivesse sido ainda mais precoce do que o que realmente foi. O projeto do GMT criou uma conta no Twitter para dar conta da evolução do projeto o que acaba por aguçar o apetite dos interessados para futuras observações, mas também criar laços e perceber se o projeto é significante para a comunidade. Esta consideração sobre o tempo e modo da interação com o público merece alguma reflexão pois tal como a técnica interpretativa influencia o restauro, também o público-alvo influencia a escolha da técnica interpretativa mais adequada o que produz uma série de dúvidas: como se avalia o interesse do público por um objeto antes de ele estar restaurado? No cenário hipotético de se realizar uma consulta popular sobre o interesse em relação ao restauro de uma peça como o Círculo Meridiano de Espelho que ilações se podem tirar quando o público respondente a um questionário deste nível intelectual não é o mesmo que o público-alvo? Esperando respostas como “O restauro do património cultural é um desperdício de dinheiros públicos” surge a questão: É necessário legitimar a conservação do património cultural? E pode o Círculo Meridiano de Espelho ser considerado património cultural? Segundo a Lei de Bases do Património Cultural, “integram o património cultural todos os bens que,

sendo testemunhos com valor de civilização ou de cultura portadores de interesse cultural relevante, devam ser objeto de especial proteção e valorização. O interesse cultural relevante, designadamente histórico, (…) documental, (…) científico, social, industrial ou técnico. Dos bens que integram o património cultural refletirá valores de memória, antiguidade, autenticidade, originalidade, raridade, singularidade ou exemplaridade.“ A proteção e valorização do património cultural é responsabilidade do Estado por incumbência da Constituição da República Portuguesa, através da Direção-Geral do Património Cultural e do Instituto dos Museus e da Conservação. Pelos motivos enunciados conclui-se que o Círculo Meridiano de Espelho é considerado património cultural e que, portanto, está protegido por força de Lei.

Os objetivos de um projeto deste tipo é outra questão. O planeamento é salutar e vive do confronto permanente entre o previsto nos cânones da conservação do património cultural patente em documentos difundidos pelo ICOM, o entendimento dos patronos sobre o objeto, a capacidade técnica do conservador e o que o orçamento permite fazer. Num projeto voltado para a divulgação de ciência serve como indicador fundamental o efeito transformador que Fernández (2018) refere e que aparece na literatura lusófona por impacto. Mas o impacto só se pode medir depois de sujeitar o público à experiência do objeto. O CME é um instrumento de grandes dimensões e enquanto ex-libris do Observatório, a definição do objetivo ganha mais relevo do que se de um teodolito produzido em massa se tratasse. O projeto de restauro funcional do CME partiu da constatação de que era urgente recuperar o objeto para o salvar das garras do tempo, de uma forma alheada do público e não devia ter sido assim. Após o primeiro ano de trabalho devia-se ter implementado uma estratégia de medir o interesse do público pela iniciativa, mostrando vídeos e fotografias dos trabalhos com três propósitos: por um lado para estabelecer laços com público e trazer potenciais voluntários ao projeto, por outro lado construir a imagem pública do observatório como instituição que aposta na divulgação da ciência ao público leigo e terceiro construir a aura de imprescindibilidade social. Como bom exemplo de uma estratégia deste género encontramos o projeto de restauro do Great Melbourne Telescope que tem uma conta de Twitter (@GMT21stC) e que existe desde o princípio do projeto.

7.3 Perspetivas futuras

Esta tese documenta o trabalho realizado entre 2011 e o início de 2021, abordando o trabalho que se realizou no restauro da instrumentação astronómica do OAMB e também do estudo de estratégias para a sua dinamização tendo por base a divulgação da ciência e da tecnologia. A pandemia que se abateu entre nós teve um efeito devastador sobre a saúde física e mental dos portugueses, mas teve um efeito positivo para a imagem pública da ciência ao demonstrar o seu valor quanto ao efeito da vacinação em massa. Apesar desta realidade incontornável do panorama mundial a divulgação da ciência persiste uma necessidade como anteriormente. Além de inviabilizar o contacto com o público, a pandemia trouxe consigo também a dispensa do autor que a meio do programa doutoral se viu confrontado com uma realidade tremendamente hostil. Se o projeto continuar, o trabalho de conservação aqui documentado permite que outros o retomem num ponto muito mais vantajoso do que aquele em que o autor o encontrou e, se isso acontecer, seria bom continuar os trabalhos aqui projetados: as observações noturnas, a construção do módulo do tempo, melhorar os sistemas de pontaria do Telescópio de 30'' e implementar a atividade de divulgação de espectroscopia. Retomando as visitas sistemáticas do público escolar, seria um verdadeiro desperdício não implementar um estudo de impacto anual no sentido de avaliar com detalhe o efeito transformador que as atividades projetadas têm no público, centrado tanto nos conhecimentos adquiridos como na forma como o contacto com os telescópios, as observações reais no âmbito das atividades projetadas influenciam a imagem da ciência no quotidiano.

Num cenário de maior disponibilidade económica seria interessante ainda explorar a utilização da realidade aumentada como técnica interpretativa dos vários instrumentos e da sua relação com o céu, como já se faz com o SkyView uma aplicação muito útil para encontrar objetos celestes com o smartphone. Segundo Hsu et al. (2016), a realidade aumentada tem um elevado potencial de ativação do interesse por conteúdo STEM.

8. Bibliografia

Uncategorized References

Aldoretta, E. J., St-Louis, N., Richardson, N. D., Moffat, A. F. J., Eversberg, T., Hill, G. M., Shenar, T., Artigau, É., Gauza, B., Knapen, J. H., Kubát, J., Kubátová, B., Maltais-Tariant, R., Muñoz, M., Pablo, H., Ramiaramanantsoa, T., Richard-Laferrière, A., Sablowski, D. P., Simón-Díaz, S., St-Jean, L., Bolduan, F., Dias, F. M., Dubreuil, P., Fuchs, D., Garrel, T., Grutzeck, G., Hunger, T., Küsters, D., Langenbrink, M., Leadbeater, R., Li, D., Lopez, A., Mauclaire, B., Moldenhawer, T., Potter, M., dos Santos, E. M., Schanne, L., Schmidt, J., Sieske, H., Strachan, J., Stinner, E., Stinner, P., Stober, B., Strandbaek, K., Syder, T., Verilhac, D., Waldschläger, U., Weiss, D., & Wendt, A. (2016). An extensive spectroscopic time series of three Wolf-Rayet stars - I. The lifetime of large-scale structures in the wind of WR 134. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 460, Issue 3, p.3407-3417*, *460*, 3407-3417. https://doi.org/10.1093/mnras/stw1188

Alves, T. R., & Oliveira, R. (2011, 9/12). A ver estrelas no céu de Gaia. *Diário de Notícias*. https://www.dn.pt/revistas/nm/a-ver-estrelas-no-ceu-de-gaia-2174583.html

Aoki, S., Kinoshita, H., Guinot, B., Kaplan, G. H., McCarthy, D. D., & Seidelmann, P. K. (1982). The new definition of universal time. *Astronomy and Astrophysics*, *105*, 359-361. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1982A&A...105..359A

Appendix VI: List of Presents received during the Session of 1889-1890. (1890). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *50*, A176-A203. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1890MNRAS..50A.176.

Arlot, J. E., Lainey, V., Robert, V., & Saquet, E. (2017). Proceedings of the Workshop and colloquim held at the CIAS (Meudon) on October 14-18, 2015, "Astrometry/photometry of Solar System objects after Gaia". *Notes Scientifiques et Techniques de l'Institut de Mecanique Celeste*, *106*. https://ui.adsabs.harvard.edu/\#abs/2017NSTIM.106.....A

Ashley-Smith, J. (2010). The ethics of conservation. *The Conservator*, *6*, 1-5. https://doi.org/10.1080/01410096.1982.9994957

Atkinson, R. d. E. (1946). A proposed “mirror transit-circle”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *107*. https://doi.org/10.1093/mnras/107.3.291

Atkinson, R. d. E. (1955). On the flexure of meridian circles. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *115*. https://doi.org/10.1093/mnras/115.4.427

Bardin, L., Reto, L. A., & Pinheiro, A. (2016). *Análise de conteúdo*. Edições 70.

Barros, M. G. P. d. (1944). As coordenadas do Observatório da Serra do Pilar. In O. A. d. U. d. Porto (Ed.), *Publicações*. Porto.

Barros, M. G. P. d. (1957). *O Círculo Meridiano da Faculdade de Ciências do Porto* Universidade do Porto]. Porto.

Barros, M. G. P. d. (1959). Small Transit Instrument without Pivot Errors. *Publicações do Aobservatório Astronómico da Faculdade de Ciências do Porto*, 4.

Barros, M. G. P. d. (1963). *Peça para centrar as munhoneiras : Desenho J*. Observatório Astronómico da Universidade do Porto. Retrieved 19/02/2021 from https://hdl.handle.net/10405/31102

Bely, P. (2003). *The Design and Construction of Large Optical Telescopes*.

Bely, P. Y. (2003). *The Design and Construction of Large Optical Telescopes*.

Bhattacharjee, J. C. (1958). A METHOD OF DETERMINATION OF ASTRONOMICAL LATITUDE AND LONGITUDE WHEN ONLY TIME AND HORIZONTAL ANGLES ARE OBSERVED. *Empire Survey Review*, *14*(110), 352-363. https://doi.org/10.1179/sre.1958.14.110.352

BIPM. (2022). *BIPM technical services: Time Metrology*. Retrieved 06/04/2022 from https://www.bipm.org/en/time-metrology

Bode, M. (2010). The ASTRONET Infrastructure Roadmap: Europe's Strategic Plan for Astronomy. *American Journal of Science*, 37.

Bomar, J., Null, R., Wallace, J., Education, N., & Activity, T. P. M. S. (1997). *Gunner's Mate*. The Activity. https://books.google.pt/books?id=sztTD5QK4NgC

https://www.tpub.com/gunners/132.htm

Borra, E. F., Content, R., Girard, L., Szapiel, S., Tremblay, L. M., & Boily, E. (1992). Liquid Mirrors: Optical Shop Tests and Contributions to the Technology. *The Astrophysical Journal*, *393*, 829. https://doi.org/10.1086/171550

Borra, E. F., Tremblay, G., Huot, Y., & Gauvin, J. (1997). Gallium Liquid Mirrors: Basic Technology, Optical-Shop Tests, and Observations. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, *109*, 319. https://doi.org/10.1086/133893

Brennen, J. S., & Kreiss, D. (2016). Digitalization. In *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy* (pp. 1-11). https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect111

Budynas, R. G., Nisbett, Keith J. (2006). *Shigleys Mechanical Engineering Design, Eighth Edition, in Analysis* (M.-. Hill, Ed. 8th ed.).

Burns, T. W., O'Connor, D. J., & Stocklmayer, S. M. (2003). Science Communication: A Contemporary Definition. *Public Understanding of Science*, *12*(2), 183-202. https://doi.org/10.1177/09636625030122004

Capitaine, N. (2020, September 01, 2020). The IAU commission "Earth rotation" and the IAU definition of the pole and UT1. Astrometry, Earth Rotation, and Reference Systems in the GAIA era,

Capitaine, N., Wallace, P. T., & McCarthy, D. D. (2003). Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1. *Astronomy and Astrophysics*, *406*, 1135-1149. https://doi.org/10.1051/0004-6361:20030817

Carmo, H., & Ferreira, M. M. (2012). *Metodologia da investigação: guia para auto-aprendizagem*. Universidade Aberta.

Chant, C. A. (1942). Conversion of Mean and Sidereal Time. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, *36*, 473. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1942JRASC..36..473C

Clemence, G. M. (1948). On the system of astronomical constants. *The Astronomical Journal*, *53*, 169. https://doi.org/10.1086/106088

Cochard, F., Desnoux, V., & Buil, C. (2011). *ArasBeam: when amateurs contribute to Be star research* (Vol. 272). https://doi.org/10.1017/S1743921311010568

Collaboration, G., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C. A. L., Biermann, M., Evans, D. W., Eyer, L., Jansen, F., Jordi, C., Klioner, S. A., Lammers, U., Lindegren, L., Luri, X., Mignard, F., Panem, C., Pourbaix, D., Randich, S., Sartoretti, P., Siddiqui, H. I., Soubiran, C., van Leeuwen, F., Walton, N. A., Arenou, F., Bastian, U., Cropper, M., Drimmel, R., Katz, D., Lattanzi, M. G., Bakker, J., Cacciari, C., Castañeda, J., Chaoul, L., Cheek, N., De Angeli, F., Fabricius, C., Guerra, R., Holl, B., Masana, E., Messineo, R., Mowlavi, N., Nienartowicz, K., Panuzzo, P., Portell, J., Riello, M., Seabroke, G. M., Tanga, P., Thévenin, F., Gracia-Abril, G., Comoretto, G., Garcia-Reinaldos, M., Teyssier, D., Altmann, M., Andrae, R., Audard, M., Bellas-Velidis, I., Benson, K., Berthier, J., Blomme, R., Burgess, P., Busso, G., Carry, B., Cellino, A., Clementini, G., Clotet, M., Creevey, O., Davidson, M., De Ridder, J., Delchambre, L., Dell'Oro, A., Ducourant, C., Fernández-Hernández, J., Fouesneau, M., Frémat, Y., Galluccio, L., García-Torres, M., González-Núñez, J., González-Vidal, J. J., Gosset, E., Guy, L. P., Halbwachs, J.-L., Hambly, N. C., Harrison, D. L., Hernández, J., Hestroffer, D., Hodgkin, S. T., Hutton, A., Jasniewicz, G., Jean-Antoine-Piccolo, A., Jordan, S., Korn, A. J., Krone-Martins, A., Lanzafame, A. C., Lebzelter, T., Löffler, W., Manteiga, M., Marrese, P. M., Martín-Fleitas, J. M., Moitinho, A., Mora, A., Muinonen, K., Osinde, J., Pancino, E., Pauwels, T., Petit, J.-M., Recio-Blanco, A., Richards, P. J., Rimoldini, L., Robin, A. C., Sarro, L. M., Siopis, C., Smith, M., Sozzetti, A., Süveges, M., Torra, J., van Reeven, W., Abbas, U., Abreu Aramburu, A., Accart, S., Aerts, C., Altavilla, G., Álvarez, M. A., Alvarez, R., Alves, J., Anderson, R. I., Andrei, A. H., Anglada Varela, E., Antiche, E., Antoja, T., Arcay, B., Astraatmadja, T. L., Bach, N., Baker, S. G., Balaguer-Núñez, L., Balm, P., Barache, C., Barata, C., Barbato, D., Barblan, F., Barklem, P. S., Barrado, D., Barros, M., Barstow, M. A., Bartholomé Muñoz, S., Bassilana, J.-L., Becciani, U., Bellazzini, M., Berihuete, A., Bertone, S., Bianchi, L., Bienaymé, O., Blanco-Cuaresma, S., Boch, T., Boeche, C., Bombrun, A., Borrachero, R., Bossini, D., Bouquillon, S., Bourda, G., Bragaglia, A., Bramante, L., Breddels, M. A., Bressan, A., Brouillet, N., Brüsemeister, T., Brugaletta, E., Bucciarelli, B., Burlacu, A., Busonero, D., Butkevich, A. G., Buzzi, R., Caffau, E., Cancelliere, R., Cannizzaro, G., Cantat-Gaudin, T., Carballo, R., Carlucci, T., Carrasco, J. M., Casamiquela, L., Castellani, M., Castro-Ginard, A., Charlot, P., Chemin, L., Chiavassa, A., Cocozza, G., Costigan, G., Cowell, S., Crifo, F., Crosta, M., Crowley, C., Cuypers, J., Dafonte, C., Damerdji, Y., Dapergolas, A., David, P., David, M., de Laverny, P., De Luise, F., De March, R., de Martino, D., de Souza, R., de Torres, A., Debosscher, J., del Pozo, E., Delbo, M., Delgado, A., Delgado, H. E., Di Matteo, P., Diakite, S., Diener, C., Distefano, E., Dolding, C., Drazinos, P., Durán, J., Edvardsson, B., Enke, H., Eriksson, K., Esquej, P., Eynard Bontemps, G., Fabre, C., Fabrizio, M., Faigler, S., Falcão, A. J., Farràs Casas, M., Federici, L., Fedorets, G., Fernique, P., Figueras, F., Filippi, F., Findeisen, K., Fonti, A., Fraile, E., Fraser, M., Frézouls, B., Gai, M., Galleti, S., Garabato, D., García-Sedano, F., Garofalo, A., Garralda, N., Gavel, A., Gavras, P., Gerssen, J., Geyer, R., Giacobbe, P., Gilmore, G., Girona, S., Giuffrida, G., Glass, F., Gomes, M., Granvik, M., Gueguen, A., Guerrier, A., Guiraud, J., Gutiérrez-Sánchez, R., Haigron, R., Hatzidimitriou, D., Hauser, M., Haywood, M., Heiter, U., Helmi, A., Heu, J., Hilger, T., Hobbs, D., Hofmann, W., Holland, G., Huckle, H. E., Hypki, A., Icardi, V., Janßen, K., Jevardat de Fombelle, G., Jonker, P. G., Juhász, Á. L., Julbe, F., Karampelas, A., Kewley, A., Klar, J., Kochoska, A., Kohley, R., Kolenberg, K., Kontizas, M., Kontizas, E., Koposov, S. E., Kordopatis, G.,

Kostrzewa-Rutkowska, Z., Koubsky, P., Lambert, S., Lanza, A. F., Lasne, Y., Lavigne, J.-B., Le Fustec, Y., Le Poncin-Lafitte, C., Lebreton, Y., Leccia, S., Leclerc, N., Lecoeur-Taibi, I., Lenhardt, H., Leroux, F., Liao, S., Licata, E., Lindstrøm, H. E. P., Lister, T. A., Livanou, E., Lobel, A., López, M., Managau, S., Mann, R. G., Mantelet, G., Marchal, O., Marchant, J. M., Marconi, M., Marinoni, S., Marschalkó, G., Marshall, D. J., Martino, M., Marton, G., Mary, N., Massari, D., Matijevič, G., Mazeh, T., McMillan, P. J., Messina, S., Michalik, D., Millar, N. R., Molina, D., Molinaro, R., Molnár, L., Montegriffo, P., Mor, R., Morbidelli, R., Morel, T., Morris, D., Mulone, A. F., Muraveva, T., Musella, I., Nelemans, G., Nicastro, L., Noval, L., O'Mullane, W., Ordénovic, C., Ordóñez-Blanco, D., Osborne, P., Pagani, C., Pagano, I., Pailler, F., Palacin, H., Palaversa, L., Panahi, A., Pawlak, M., Piersimoni, A. M., Pineau, F.-X., Plachy, E., Plum, G., Poggio, E., Poujoulet, E., Prša, A., Pulone, L., Racero, E., Ragaini, S., Rambaux, N., Ramos-Lerate, M., Regibo, S., Reylé, C., Riclet, F., Ripepi, V., Riva, A., Rivard, A., Rixon, G., Roegiers, T., Roelens, M., Romero-Gómez, M., Rowell, N., Royer, F., Ruiz-Dern, L., Sadowski, G., Sagristà Sellés, T., Sahlmann, J., Salgado, J., Salguero, E., Sanna, N., Santana-Ros, T., Sarasso, M., Savietto, H., Schultheis, M., Sciacca, E., Segol, M., Segovia, J. C., Ségransan, D., Shih, I.-C., Siltala, L., Silva, A. F., Smart, R. L., Smith, K. W., Solano, E., Solitro, F., Sordo, R., Soria Nieto, S., Souchay, J., Spagna, A., Spoto, F., Stampa, U., Steele, I. A., Steidelmüller, H., Stephenson, C. A., Stoev, H., Suess, F. F., Surdej, J., Szabados, L., Szegedi-Elek, E., Tapiador, D., Taris, F., Tauran, G., Taylor, M. B., Teixeira, R., Terrett, D., Teyssandier, P., Thuillot, W., Titarenko, A., Torra Clotet, F., Turon, C., Ulla, A., Utrilla, E., Uzzi, S., Vaillant, M., Valentini, G., Valette, V., van Elteren, A., Van Hemelryck, E., van Leeuwen, M., Vaschetto, M., Vecchiato, A., Veljanoski, J., Viala, Y., Vicente, D., Vogt, S., von Essen, C., Voss, H., Votruba, V., Voutsinas, S., Walmsley, G., Weiler, M., Wertz, O., Wevers, T., Wyrzykowski, Ł., Yoldas, A., Žerjal, M., Ziaeepour, H., Zorec, J., Zschocke, S., Zucker, S., Zurbach, C., & Zwitter, T. (2018). Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties. *Astronomy and Astrophysics*, *616*. https://ui.adsabs.harvard.edu/\#abs/2018A&A...616A...1G

Collaboration, G., Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., de Bruijne, J. H. J., Mignard, F., Drimmel, R., Babusiaux, C., Bailer-Jones, C. A. L., Bastian, U., Biermann, M., Evans, D. W., Eyer, L., Jansen, F., Jordi, C., Katz, D., Klioner, S. A., Lammers, U., Lindegren, L., Luri, X., O'Mullane, W., Panem, C., Pourbaix, D., Randich, S., Sartoretti, P., Siddiqui, H. I., Soubiran, C., Valette, V., van Leeuwen, F., Walton, N. A., Aerts, C., Arenou, F., Cropper, M., Høg, E., Lattanzi, M. G., Grebel, E. K., Holland, A. D., Huc, C., Passot, X., Perryman, M., Bramante, L., Cacciari, C., Castañeda, J., Chaoul, L., Cheek, N., De Angeli, F., Fabricius, C., Guerra, R., Hernández, J., Jean-Antoine-Piccolo, A., Masana, E., Messineo, R., Mowlavi, N., Nienartowicz, K., Ordóñez-Blanco, D., Panuzzo, P., Portell, J., Richards, P. J., Riello, M., Seabroke, G. M., Tanga, P., Thévenin, F., Torra, J., Els, S. G., Gracia-Abril, G., Comoretto, G., Garcia-Reinaldos, M., Lock, T., Mercier, E., Altmann, M., Andrae, R., Astraatmadja, T. L., Bellas-Velidis, I., Benson, K., Berthier, J., Blomme, R., Busso, G., Carry, B., Cellino, A., Clementini, G., Cowell, S., Creevey, O., Cuypers, J., Davidson, M., De Ridder, J., de Torres, A., Delchambre, L., Dell'Oro, A., Ducourant, C., Frémat, Y., García-Torres, M., Gosset, E., Halbwachs, J.-L., Hambly, N. C., Harrison, D. L., Hauser, M., Hestroffer, D., Hodgkin, S. T., Huckle, H. E., Hutton, A., Jasniewicz, G., Jordan, S., Kontizas, M., Korn, A. J., Lanzafame, A. C., Manteiga, M., Moitinho, A., Muinonen, K., Osinde, J., Pancino, E., Pauwels, T., Petit, J.-M., Recio-Blanco, A., Robin, A. C., Sarro, L. M., Siopis, C., Smith, M., Smith, K. W., Sozzetti, A., Thuillot, W., van Reeven, W., Viala, Y., Abbas, U., Abreu Aramburu, A., Accart, S., Aguado, J. J., Allan, P. M., Allasia, W.,

Altavilla, G., Álvarez, M. A., Alves, J., Anderson, R. I., Andrei, A. H., Anglada Varela, E., Antiche, E., Antoja, T., Antón, S., Arcay, B., Bach, N., Baker, S. G., Balaguer-Núñez, L., Barache, C., Barata, C., Barbier, A., Barblan, F., Barrado y Navascués, D., Barros, M., Barstow, M. A., Becciani, U., Bellazzini, M., Bello García, A., Belokurov, V., Bendjoya, P., Berihuete, A., Bianchi, L., Bienaymé, O., Billebaud, F., Blagorodnova, N., Blanco-Cuaresma, S., Boch, T., Bombrun, A., Borrachero, R., Bouquillon, S., Bourda, G., Bouy, H., Bragaglia, A., Breddels, M. A., Brouillet, N., Brüsemeister, T., Bucciarelli, B., Burgess, P., Burgon, R., Burlacu, A., Busonero, D., Buzzi, R., Caffau, E., Cambras, J., Campbell, H., Cancelliere, R., Cantat-Gaudin, T., Carlucci, T., Carrasco, J. M., Castellani, M., Charlot, P., Charnas, J., Chiavassa, A., Clotet, M., Cocozza, G., Collins, R. S., Costigan, G., Crifo, F., Cross, N. J. G., Crosta, M., Crowley, C., Dafonte, C., Damerdji, Y., Dapergolas, A., David, P., David, M., De Cat, P., de Felice, F., de Laverny, P., De Luise, F., De March, R., de Martino, D., de Souza, R., Debosscher, J., del Pozo, E., Delbo, M., Delgado, A., Delgado, H. E., Di Matteo, P., Diakite, S., Distefano, E., Dolding, C., Dos Anjos, S., Drazinos, P., Duran, J., Dzigan, Y., Edvardsson, B., Enke, H., Evans, N. W., Eynard Bontemps, G., Fabre, C., Fabrizio, M., Faigler, S., Falcão, A. J., Farràs Casas, M., Federici, L., Fedorets, G., Fernández-Hernández, J., Fernique, P., Fienga, A., Figueras, F., Filippi, F., Findeisen, K., Fonti, A., Fouesneau, M., Fraile, E., Fraser, M., Fuchs, J., Gai, M., Galleti, S., Galluccio, L., Garabato, D., García-Sedano, F., Garofalo, A., Garralda, N., Gavras, P., Gerssen, J., Geyer, R., Gilmore, G., Girona, S., Giuffrida, G., Gomes, M., González-Marcos, A., González-Núñez, J., González-Vidal, J. J., Granvik, M., Guerrier, A., Guillout, P., Guiraud, J., Gúrpide, A., Gutiérrez-Sánchez, R., Guy, L. P., Haigron, R., Hatzidimitriou, D., Haywood, M., Heiter, U., Helmi, A., Hobbs, D., Hofmann, W., Holl, B., Holland, G., Hunt, J. A. S., Hypki, A., Icardi, V., Irwin, M., Jevardat de Fombelle, G., Jofré, P., Jonker, P. G., Jorissen, A., Julbe, F., Karampelas, A., Kochoska, A., Kohley, R., Kolenberg, K., Kontizas, E., Koposov, S. E., Kordopatis, G., Koubsky, P., Krone-Martins, A., Kudryashova, M., Kull, I., Bachchan, R. K., Lacoste-Seris, F., Lanza, A. F., Lavigne, J.-B., Le Poncin-Lafitte, C., Lebreton, Y., Lebzelter, T., Leccia, S., Leclerc, N., Lecoeur-Taibi, I., Lemaitre, V., Lenhardt, H., Leroux, F., Liao, S., Licata, E., Lindstrøm, H. E. P., Lister, T. A., Livanou, E., Lobel, A., Löffler, W., López, M., Lorenz, D., MacDonald, I., Magalhães Fernandes, T., Managau, S., Mann, R. G., Mantelet, G., Marchal, O., Marchant, J. M., Marconi, M., Marinoni, S., Marrese, P. M., Marschalkó, G., Marshall, D. J., Martín-Fleitas, J. M., Martino, M., Mary, N., Matijevič, G., Mazeh, T., McMillan, P. J., Messina, S., Michalik, D., Millar, N. R., Miranda, B. M. H., Molina, D., Molinaro, R., Molinaro, M., Molnár, L., Moniez, M., Montegriffo, P., Mor, R., Mora, A., Morbidelli, R., Morel, T., Morgenthaler, S., Morris, D., Mulone, A. F., Muraveva, T., Musella, I., Narbonne, J., Nelemans, G., Nicastro, L., Noval, L., Ordénovic, C., Ordieres-Meré, J., Osborne, P., Pagani, C., Pagano, I., Pailler, F., Palacin, H., Palaversa, L., Parsons, P., Pecoraro, M., Pedrosa, R., Pentikäinen, H., Pichon, B., Piersimoni, A. M., Pineau, F.-X., Plachy, E., Plum, G., Poujoulet, E., Prša, A., Pulone, L., Ragaini, S., Rago, S., Rambaux, N., Ramos-Lerate, M., Ranalli, P., Rauw, G., Read, A., Regibo, S., Reylé, C., Ribeiro, R. A., Rimoldini, L., Ripepi, V., Riva, A., Rixon, G., Roelens, M., Romero-Gómez, M., Rowell, N., Royer, F., Ruiz-Dern, L., Sadowski, G., Sagristà Sellés, T., Sahlmann, J., Salgado, J., Salguero, E., Sarasso, M., Savietto, H., Schultheis, M., Sciacca, E., Segol, M., Segovia, J. C., Segransan, D., Shih, I.-C., Smareglia, R., Smart, R. L., Solano, E., Solitro, F., Sordo, R., Soria Nieto, S., Souchay, J., Spagna, A., Spoto, F., Stampa, U., Steele, I. A., Steidelmüller, H., Stephenson, C. A., Stoev, H., Suess, F. F., Süveges, M., Surdej, J., Szabados, L., Szegedi-Elek, E., Tapiador, D., Taris, F., Tauran, G., Taylor, M. B., Teixeira, R., Terrett, D., Tingley,

B., Trager, S. C., Turon, C., Ulla, A., Utrilla, E., Valentini, G., van Elteren, A., Van Hemelryck, E., van Leeuwen, M., Varadi, M., Vecchiato, A., Veljanoski, J., Via, T., Vicente, D., Vogt, S., Voss, H., Votruba, V., Voutsinas, S., Walmsley, G., Weiler, M., Weingrill, K., Wevers, T., Wyrzykowski, Ł., Yoldas, A., Žerjal, M., Zucker, S., Zurbach, C., Zwitter, T., Alecu, A., Allen, M., Allende Prieto, C., Amorim, A., Anglada-Escudé, G., Arsenijevic, V., Azaz, S., Balm, P., Beck, M., Bernstein, H.-H., Bigot, L., Bijaoui, A., Blasco, C., Bonfigli, M., Bono, G., Boudreault, S., Bressan, A., Brown, S., Brunet, P.-M., Bunclark, P., Buonanno, R., Butkevich, A. G., Carret, C., Carrion, C., Chemin, L., Chéreau, F., Corcione, L., Darmigny, E., de Boer, K. S., de Teodoro, P., de Zeeuw, P. T., Delle Luche, C., Domingues, C. D., Dubath, P., Fodor, F., Frézouls, B., Fries, A., Fustes, D., Fyfe, D., Gallardo, E., Gallegos, J., Gardiol, D., Gebran, M., Gomboc, A., Gómez, A., Grux, E., Gueguen, A., Heyrovsky, A., Hoar, J., Iannicola, G., Isasi Parache, Y., Janotto, A.-M., Joliet, E., Jonckheere, A., Keil, R., Kim, D.-W., Klagyivik, P., Klar, J., Knude, J., Kochukhov, O., Kolka, I., Kos, J., Kutka, A., Lainey, V., LeBouquin, D., Liu, C., Loreggia, D., Makarov, V. V., Marseille, M. G., Martayan, C., Martinez-Rubi, O., Massart, B., Meynadier, F., Mignot, S., Munari, U., Nguyen, A.-T., Nordlander, T., Ocvirk, P., O'Flaherty, K. S., Olias Sanz, A., Ortiz, P., Osorio, J., Oszkiewicz, D., Ouzounis, A., Palmer, M., Park, P., Pasquato, E., Peltzer, C., Peralta, J., Péturaud, F., Pieniluoma, T., Pigozzi, E., Poels, J., Prat, G., Prod'homme, T., Raison, F., Rebordao, J. M., Risquez, D., Rocca-Volmerange, B., Rosen, S., Ruiz-Fuertes, M. I., Russo, F., Sembay, S., Serraller Vizcaino, I., Short, A., Siebert, A., Silva, H., Sinachopoulos, D., Slezak, E., Soffel, M., Sosnowska, D., Straižys, V., ter Linden, M., Terrell, D., Theil, S., Tiede, C., Troisi, L., Tsalmantza, P., Tur, D., Vaccari, M., Vachier, F., Valles, P., Van Hamme, W., Veltz, L., Virtanen, J., Wallut, J.-M., Wichmann, R., Wilkinson, M. I., Ziaeepour, H., & Zschocke, S. (2016). Gaia Data Release 1. Summary of the astrometric, photometric, and survey properties. *Astronomy and Astrophysics*, *595*. https://ui.adsabs.harvard.edu/\#abs/2016A&A...595A...2G

Crowther, P. A. (2007). Physical Properties of Wolf-Rayet Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, *45*(1), 177-219. https://doi.org/10.1146/annurev.astro.45.051806.110615

Danjon, A. (1940). Oculaire nadiral a images brillantes sur fond obscur;. In G. V. (Paris) (Ed.), *Bulletin astronomique. Mémoires et variétés* (23/09/2013 ed., pp. 5). Observatoire de Paris. http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6544393f

Davies, S. R. (2008). Constructing Communication:Talking to Scientists About Talking to the Public. *Science Communication*, *29*(4), 413-434. https://doi.org/10.1177/1075547008316222

Daycounter, I. (2016). *Lead Screw Torque and Force Calculator*. https://www.daycounter.com/Calculators/Lead-Screw-Force-Torque-Calculator.phtml

Aprendizagens Essenciais | Articulação com o Perfil dos Alunos 3º ano, (2018a). https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/1_ciclo/3_estudo_do_meio.pdf

Aprendizagens Essenciais | Articulação com o Perfil dos Alunos 7º ano, (2018b). https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/3_ciclo/fisico-quimica_3c_7a_ff.pdf

Aprendizagens Essenciais | Articulação com o Perfil dos Alunos 8º ano, (2018c). https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/3_ciclo/fisico-quimica_3c_8a_ff.pdf

DGE. (2018d). *Aprendizagens Essenciais do Ensino Básico*. https://www.dge.mec.pt/aprendizagens-essenciais-ensino-basico

Essen, L., & Parry, J. V. L. (1957). The Caesium Resonator as a Standard of Frequency and Time. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, *250*(973), 45-69. http://www.jstor.org/stable/91638

Fahed, R., F. J. Moffat, A., Zorec, J., Eversberg, T., Chené, A.-N., Alves, F., Arnold, W., Bergmann, T., Corcoran, M., G. Correia Viegas, N., M. Dougherty, S., Fernando, A., Frémat, Y., F. Gouveia Carreira, L., Hunger, T., H. Knapen, J., Leadbeater, R., Dias, F., Martayan, C., & M. Williams, P. (2011). *Spectroscopy of the archetype colliding-wind binary WR 140 during the 2009 January periastron passage* (Vol. 418). https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.19035.x

Feder, T. (2003). Mercury Telescope Spins Up [Article]. *Physics Today*, *56*(11), 24-25. http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=a9h&AN=11275647&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site

Fernández, G. (2018). *El museo de ciencia transformador: un ensayo a favor de la relevancia social del museo de ciencia contemporáneo*. Guillermo Fernández. https://books.google.pt/books?id=PG8zywEACAAJ

Fisher, R. (1996, 30 January 1996). *Astronomical Times*. Retrieved 4/12/2018 from https://www.cv.nrao.edu/~rfisher/Ephemerides/times.html

Folkner, W. M., Charlot, P., Finger, M. H., Williams, J. G., Sovers, O. J., Newhall, X., & Standish, E. M., Jr. (1994). Determination of the extragalactic-planetary frame tie from joint analysis of radio interferometric and lunar laser ranging measurements. *Astronomy and Astrophysics*, *287*, 279-289. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1994A&A...287..279F

Fraunhofer, J. (1817). Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre. *Annalen der Physik*, *56*(7), 264-313. https://doi.org/doi:10.1002/andp.18170560706

Fricke, W. (1973). 8. Positional Astronomy. *Transactions of the International Astronomical Union*, *15*(1), 29-41. https://doi.org/10.1017/S0251107X00024366

Gingras, J., Déry, J.-P., Yockell-Lelièvre, H., Borra, E., & Ritcey, A. M. (2006). Surface films of silver nanoparticles for new liquid mirrors. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *279*(1-3), 79-86. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.12.043

Glass, I. *Ian Glass: Telescopes made by Grubb Parson (Partial list)*. Retrieved 05/12/2020 from https://www.saao.ac.za/%7Eisg/gp.html

Guinot, B., & Arias, E. F. (2005). Atomic time-keeping from 1955 to the present. *Metrologia*, *42*(3), S20-S30. https://doi.org/10.1088/0026-1394/42/3/s04

Hammond, J. C., Watts, C. B., & Willis, J. E. (1931). Flexure determinations by the Bonsdorff method (abstract). *Publications of the American Astronomical Society,*, *6*, 1.

Hearnshaw, J. B. (2014). *The Analysis of Starlight: Two Centuries of Astronomical Spectroscopy*. Cambridge University Press. https://books.google.pt/books?id=HNbSAgAAQBAJ

Henriot, G.-. (1966). *Manual práctico de engranajes*. Barcelona : Marcombo.

Hickson, P. (1998). Large Zenith Telescope project: a 6-m mercury-mirror telescope. In G. A. H. Walker (Ed.): Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1998.

Holmes, A. W., & Longmire, M. J. (1996). *Optical head having an imaging sensor for imaging an object in a field of view and a tracking sensor for tracking a star off axis to the field of view of the imaging sensor* (United States of America Patent No. 5,525,793). U. S. Patent. https://patentimages.storage.googleapis.com/2b/3d/1f/41b03c5384d960/US5525793.pdf

Hsieh, H.-F., & Shannon, S. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *Qualitative health research*, *15*, 1277-1288. https://doi.org/10.1177/1049732305276687

Hsu, Y.-S., Lin, Y.-H., & Yang, B. (2016). Impact of augmented reality lessons on students' STEM interest. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, *12*(1), 2. https://doi.org/10.1186/s41039-016-0039-z

ICOM-CC. (2008). Terminology to characterize the conservation of tangible cultural heritage ICOM-CC 15th Triennial Conference, New Delhi.

Instalado no Monte da Virgem o mais importante telescópio do país. (1980). *O Comércio de Gaia*. https://repositorio-tematico.up.pt/handle/10405/47529

J. Aldoretta, E., St-Louis, N., Richardson, N., F. J. Moffat, A., Eversberg, T., Hill, G., & Wr Pro-Am Campaign Team, W.-W. (2015). *The Results of the 2013 Pro-Am Wolf-Rayet Campaign*.

Jespersen, J., & Fitz-Randolph, J. (1977). *From sundials to atomic clocks: Understanding time and frequency*. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1977nbs..reptR....J

Johnson, M. J. (1835). *A Catalogue of 606 Principal Fixed Stars in the Southern Hemisphere Deduced from Observations Made at the Observatory, St. Helena, from November 1829 to April 1833 by Manuel J. Johnson*. Royal Astronomical Society. https://books.google.pt/books?id=EWrsdOr299EC

Kelley, D. H., & Milone, E. F. (2005). Time and the Calendar. In *Exploring Ancient Skies: An Encyclopedic Survey of Archaeoastronomy* (pp. 85-107). Springer New York. https://doi.org/10.1007/0-387-26356-x_4

Kitchin, C. R. (1995). *Optical Astronomical Spectroscopy*. Institute of Physics Pub. https://books.google.pt/books?id=8MxtQgAACAAJ

Lemos, M., & Tissot, I. (2020). Reflections on the conservation challenges of scientific and technological objects. *Conservar Património*, *33*, 24-31. https://doi.org/10.14568/cp2018044

Lewenstein, B. (2003). *Models of public communication of science and technology*.

Lorenz-Spreen, P., Mønsted, B. M., Hövel, P., & Lehmann, S. (2019). Accelerating dynamics of collective attention. *Nature Communications*, *10*(1), 1759. https://doi.org/10.1038/s41467-019-09311-w

Maigurova, N., & Pinigin, G. (2008). Results of CCD Observations of Ecliptic Zone in Nikolaev Observatory.

Mann, P. R. (1989). Working exhibits and the destruction of evidence in the science museum. *International Journal of Museum Management and Curatorship*, *8*(4), 369-387. https://doi.org/10.1080/09647778909515181

Markowitz, W. (1954). PROBLEMS IN ASTROMETRY: Photographic determination of the moon's position, and applications to the measure of time, rotation of the earth, and geodesy. *The Astronomical Journal*, *59*, 69. https://doi.org/10.1086/106956

Mazurkiewicz, & J. (1995). The basics of Motion Control—Part 1. *Power Transmission Design*, 3.

Mazurkiewicz, & J. (1996). The basics of Motion Control—Part 2. *Power Transmission Design*, 3.

McCarthy, D. D., & Seidelmann, P. K. (2018). *Time: From Earth Rotation to Atomic Physics*. Cambridge University Press. https://books.google.pt/books?id=AsBtDwAAQBAJ

Micromo. Stepper Motor Technical Note: Microstepping Myths and Realities [Product Data sheet]. https://www.micromo.com/media/wysiwyg/Technical-library/Stepper/6_Microstepping%20WP.pdf

Morais, L., & Silva, P. O cÃ-rculo meridiano do espelho : prÃ©-texto e pretexto para uma performance. In.

Museum, T. a. W. A. (2008). Retrieved 05/12/2020 from http://www.tyneandweararchives.org.uk/DServe2/dserve.exe?dsqIni=Dserve.ini&dsqApp=Archive&dsqCmd=Show.tcl&dsqDb=Catalog&dsqSearch=((text)=%27telescope%27)&dsqPos=3

Nanotec. Precision Planetary Gears. https://en.nanotec.com/fileadmin/files/Baureihenuebersichten/Getriebe/Product_Overview_GPLE80.pdf

Neiner, C. (2018). *The BeSS database: a fruitful professional-amateur collaboration*.

Newey, H. (2000). Conservation and the preservation of scientific and industrial collections. *Studies in Conservation*, *45*, 137-139. https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.Supplement-1.137

Nielsen, A. V. (1968). Ole Rømer and his Meridian Circle. *Vistas in Astronomy*, *10*, 105-112. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0083-6656(68)90041-X

Nieoullon, A. (2002). Dopamine and the regulation of cognition and attention. *Progress in Neurobiology*, *67*(1), 53-83. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-0082(02)00011-4

OECD. (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework*. https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1787/9789264281820-en

Office, U. S. N. O. N. A., Newcomb, S., & Navigation, U. S. N. D. B. o. (1898). *Astronomical Papers Prepared for the Use of the American Ephemeris and Nautical Almanac*. Bureau of Navigation, Navy Department. https://archive.org/details/06AstronomicalPapersPreparedForTheUse/page/n17/mode/2up

Olmsted, J. (1942). The Scientific Expedition of Jean Richer to Cayenne (1672-1673). *Isis*, *34*. https://doi.org/10.1086/347762

Pinigin, G. I. (2003). *Astronomer's Meridian: Pulkovo - Nikolaev*. Atol.

Pinigin, G. I., & Markov, N. L. (2005). LEONID ALEKSEEVICH SUKHAREV - CREATOR OF HORIZONTAL MERIDIAN CIRCLE. *Astronomical Calendar*.

Pond, J., & Airy, G. B. (1834). *Astronomical Observations Made At The Royal Observatory Et Greenwich*. Bentley. https://books.google.pt/books?id=t01bAAAAcAAJ

Ramaseri Chandra, S. n. (2019). *2019 Joint Agency Commercial Imagery Evaluation - Land Remote Sensing Satellite Compendium*. https://doi.org/10.3133/cir1455

Reis, A. C. d., Farinha, J. P. B., & Farinha, M. B. d. C. (2012). *Tabelas técnicas*. Edições Técnicas E.T.L.

Relvas, B. (2009). *Projeto óptimo de ligações em estruturas metálicas segundo o Eurocódigo 3* [Tese de mestrado integrado, Universidade do Porto.]. https://hdl.handle.net/10216/58905

Rutten, H. G. J., van Venrooij, M. A. M., Berry, R., & Lucas, D. (1988). *Telescope Optics: Evaluation and Design*. Willmann-Bell. https://books.google.pt/books?id=x3LvAAAAMAAJ

Saemundsson, T. (1986). Atmospheric refraction. *Sky and Telescope*, *72*, 70.

Santerne, A., Moutou, C., Vanhuysse, M., Bouchy, F., Buil, C., Cochard, F., Thizy, O., Martinez, P., Desnoux, V., Pujol, M., & Colas, F. (2011). *French Pro/Am collaborations in exoplanet*.

Schuh, H., & Behrend, D. (2012). VLBI: A fascinating technique for geodesy and astrometry. *Journal of Geodynamics*, *61*, 68-80. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jog.2012.07.007

Servotronic. (1951). Synchros and associated equipment. In S. Sales (Ed.): Servotronic Sales. (A. Egan).

Sherrod, P. C., & Koed, T. L. (2003). *A Complete Manual of Amateur Astronomy: Tools and Techniques for Astronomical Observations*. Dover Publications. https://books.google.pt/books?id=4zjv84hHNPcC

Soulain, A., Millour, F., Lopez, B., Matter, A., Lagadec, E., Carbillet, M., La Camera, A., Lamberts, A., Langlois, M., Milli, J., Avenhaus, H., Magnard, Y., Roux, A., Moulin, T., Carle, M., Sevin, A., Martinez, P., Abe, L., & Ramos, J. (2018). SPHERE view of Wolf-Rayet 104. *A&A*, *618*, A108. https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832817

Sousa Nunes, R. S. (1958). A Conservação da Hora no Observatório da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. *Publicações do Aobservatório Astronómico da Faculdade de Ciências do Porto*, 220.

Spencer Jones, H. (1949). The Determination of Precise Time. In T. R. O. Greenwich (Ed.), *Annual report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution* (pp. 189-202). Online: Smithsonian Institution.

Strubbe, L. (2012). Guideline Principles for Designing Astronomy Activities. *Proceedings of the International Astronomical Union*, *10*, 543 - 543.

Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Velde, D., Van Petegem, P., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, *3*. https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525

Thizy, O. (2011). *Amateur Astronomical Pro-Am Spectroscopy*. Shelyak Instruments. http://www.shelyak-instruments.com/Web/slides/20110525%20Amateur%20Astronomical%20Pro-Am%20Spectroscopy%20(Olivier%20Thizy%20-%20SAS)-web.pdf

Trypsteen, M. F. M., & Walker, R. (2017). *Spectroscopy for Amateur Astronomers: Recording, Processing, Analysis and Interpretation*. Cambridge University Press. https://doi.org/DOI: 10.1017/9781316694435

UP, R. (2011). *ADUP FCUP OA - Desenhos de projeto do Círculo Meridiano de Espelho [1949-1969]* Retrieved 14/3/2021 from https://repositorio-tematico.up.pt/handle/10405/31770

Watts, C. B. (1935). Clamp flexure in the six-inch transit circle at Washington. *The Astronomical Journal*, *44*(21), 2.

Wynne, C. G. (1972). IV Field Correctors for Astronomical Telescopes. In E. Wolf (Ed.), *Progress in Optics* (Vol. 10, pp. 137-164). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0079-6638(08)70059-3

Xilouris, E., Bonanos, A., Bellas-Velidis, I., Boumis, P., Dapergolas, A., Maroussis, A., Liakos, A., Alikakos, I., Charmandaris, V., & Dimou, G. (2018). NELIOTA: The wide-field, high-cadence, lunar monitoring system at the prime focus of the Kryoneri telescope. *Astronomy & Astrophysics*, *619*, A141.

Yogev, D., & Efrima, S. (1991). Silver metal liquidlike films (MELLFs). The effect of surfactants. *Langmuir*, *7*(2), 267-271. https://doi.org/10.1021/la00050a011

Zverev, M. S. (1963). *Fundamental Astrometry*. Department of Commerce, Office of Technical Services, Joint Publications Research Service. https://books.google.pt/books?id=Svc4HQAACAAJ

APÊNDICE I

Sobre a condição do autor enquanto trabalhador do observatório astronómico

O restauro funcional da instrumentação astronómica do Observatório Astronómico Professor Manuel de Barros (OAMB) enquadra-se no âmbito de um programa de conservação do património histórico-científico da Universidade do Porto (UP), iniciado em 2009, com vista à sua utilização em atividades de divulgação científica.

Num contexto de cooperação entre a Faculdade de Engenharia (FEUP) e a Faculdade de Ciências (FCUP), teve lugar durante o ano de 2010 uma primeira intervenção sobre o Círculo Meridiano de Espelho (CME) com o objetivo de avaliar o estado do abrigo. A equipa que trabalhou no observatório era formada por técnicos da FEUP sob a supervisão técnica do Engenheiro Fernando Oliveira, professor do Departamento de Engenharia Mecânica daquela Faculdade.

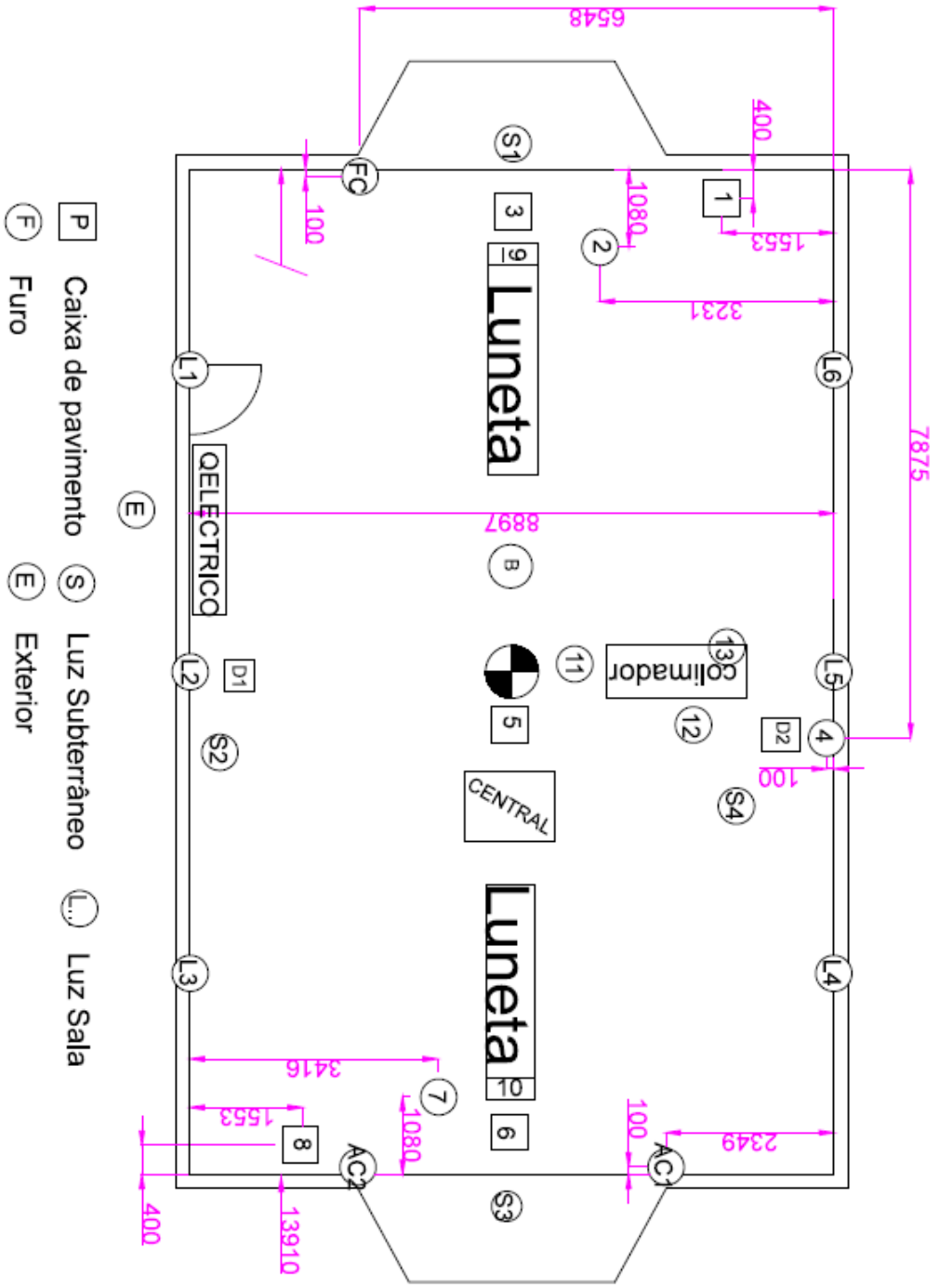
Em 2011 foi aberto um concurso para a atribuição de uma bolsa de iniciação à investigação no sentido de contratar um engenheiro mecânico que pudesse trabalhar no projeto a tempo inteiro. Essa bolsa foi atribuída ao autor e a sua participação no projeto iniciou-se em março. A coordenação do projeto ficou a cargo do Professor Doutor José Luís Santos, enquanto vice-diretor da Faculdade, e da Investigadora Principal Doutora Luísa Bastos enquanto diretora do OAMB.

Entre 2011 e 2020, o autor dedicou-se à recuperação de dois instrumentos emblemáticos do OAMB, situado no Monte da Virgem, em Vila Nova de Gaia, instituição dependente da FCUP, com vista à sua utilização no âmbito de projetos de divulgação e de investigação científica. Os instrumentos foram o CME e o Telescópio de 30”. É propósito deste trabalho verter em tese o trabalho realizado no domínio do restauro funcional, mas também o estudo realizado no sentido de estabelecer um conjunto de estratégias de divulgação do saber que lhes está afeto.

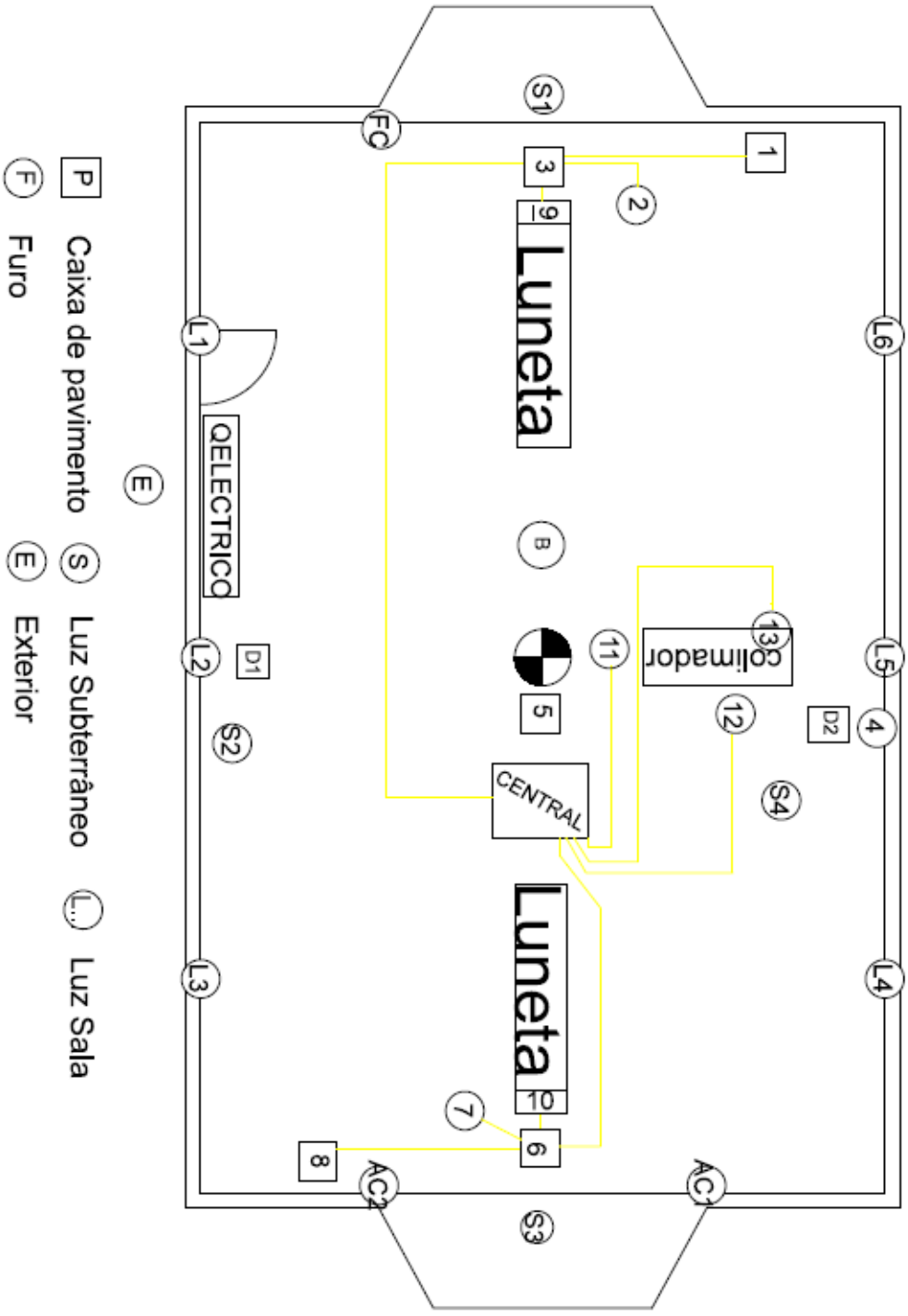
APÊNDICE II

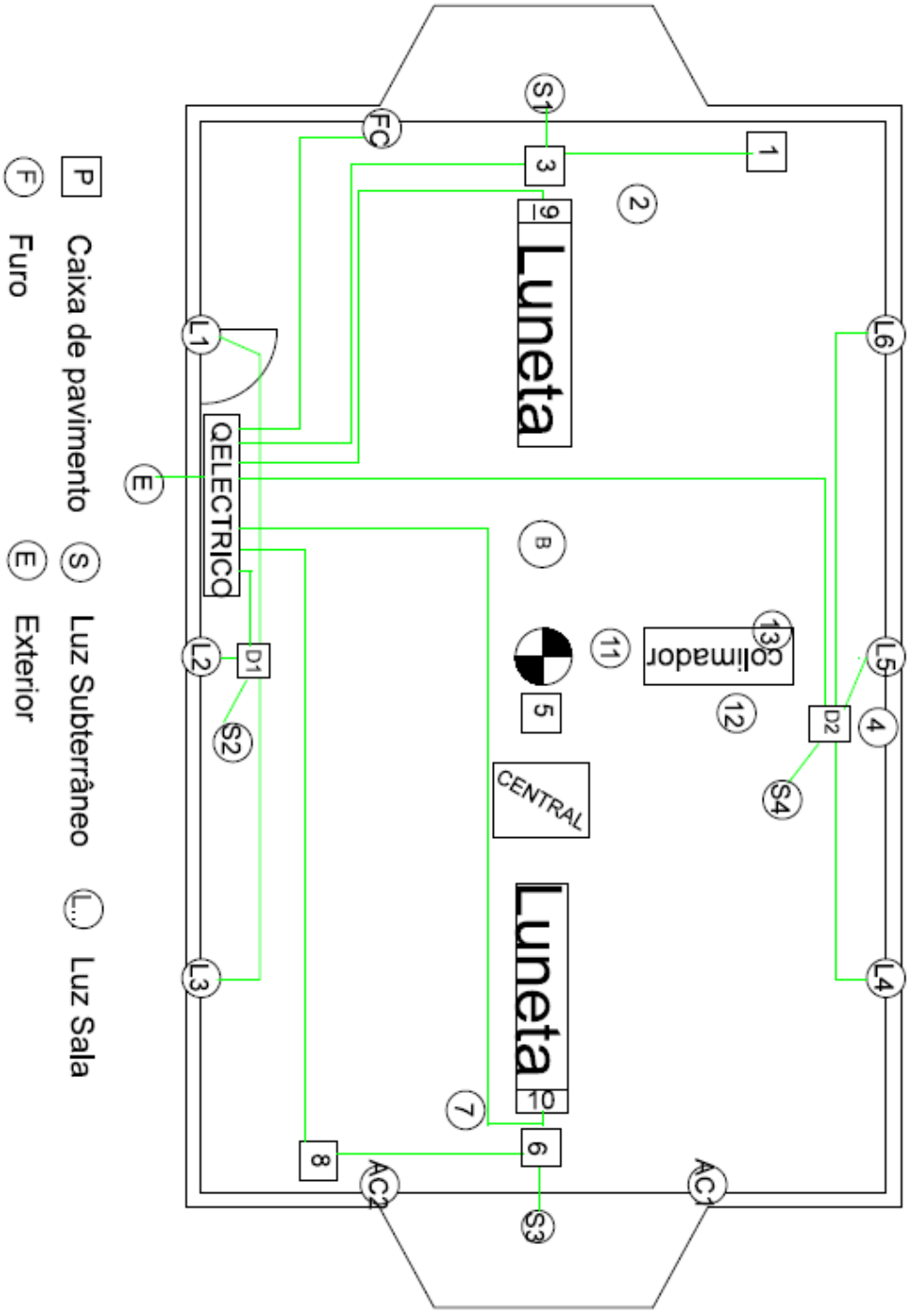
Diagramas das ligações elétricas no abrigo do CME.

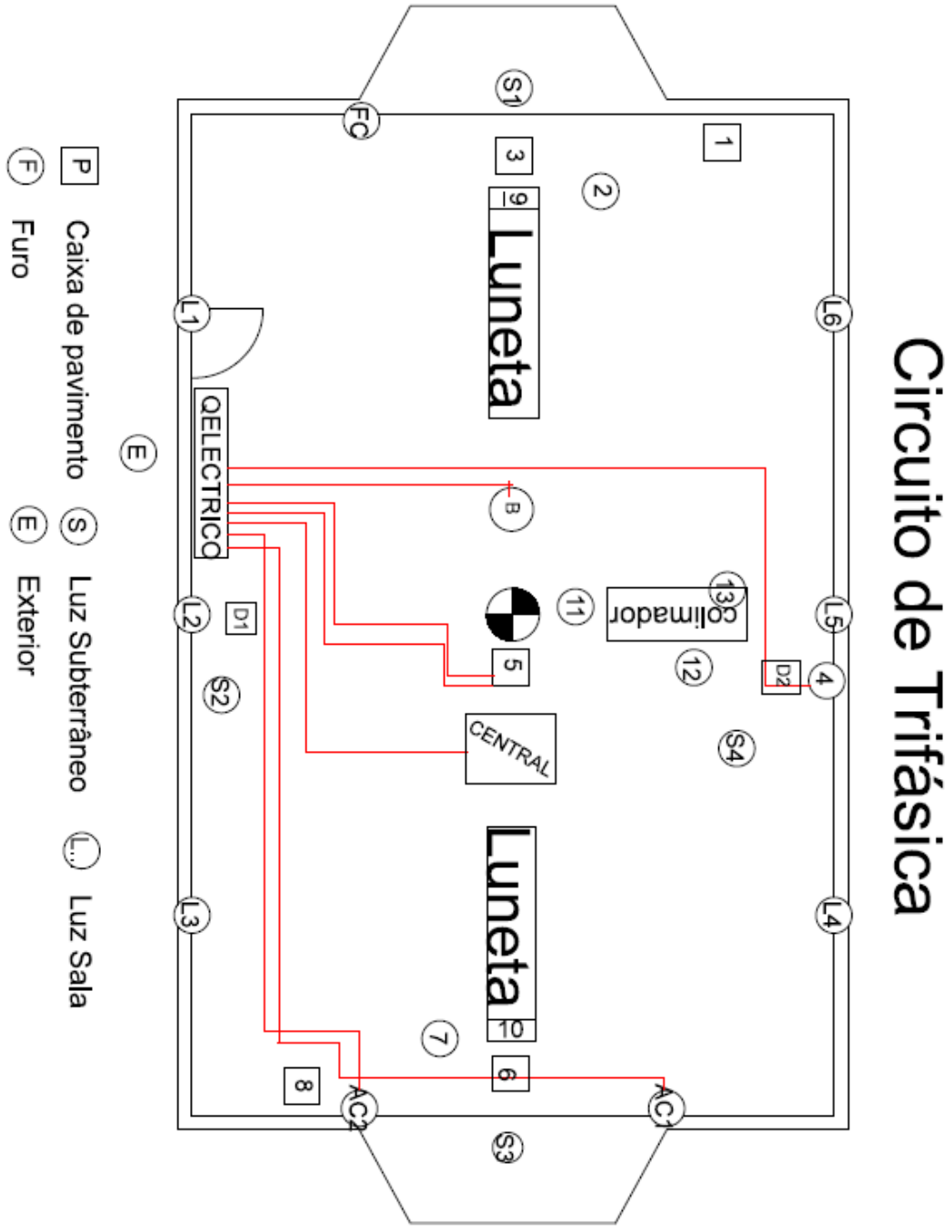
LAYER	LIGAÇÃO EXTREMO 1	EXTREMO 2	REFERENCIA	QUANTIDADE	TIPO DE TUBO
CONTROLO	CENTRAL	3	C-C3	3	50
	3	2	C-32	8	25
	3	9	C-39	6	25
	3	1	C-31	1	50
	CENTRAL	11	C-C11	2	50
	CENTRAL	12	C-C12	1	25
	CENTRAL	13	C-C13	1	25
	CENTRAL	6	C-C6	3	50
	6	7	C-67	8	25
	6	8	C-68	1	50
	6	10	C-610	9	25
MONOFASICA	QELETRICO	E	M-QE	1	25
		3	M-Q3	1	25
		8	M-Q8	1	25
		9	M-Q9	1	25
		10	M-Q10	1	25
		FC	M-QFC	1	25
		D1	M-QD1	2	25
		D2	M-QD2	2	25
	3	1	M-31	1	25
	3	S1	M-3S1	1	25
	6	S3	M-6S3	1	25
	8	6	M-86	1	25
	D1	S2	M-D1S2	1	25
		L1	M-D1L1	1	25
		L2	M-D1L2	1	25
		L3	M-D1L3	1	25
	D2	S4	M-D2S4	1	25
		L4	M-D2L4	1	25
		L5	M-D2L5	1	25
		L6	M-D2L6	1	25
REDE	QELETRICO	ROUTER	R-QR via 3 e 1	1 FIBRA OPTICA	25
	ROUTER	1	R-R1	1	25
		3	R-R3	1	25
		6	R-R6	1	25
		8	R-R8	1	25
		CENTRAL	R-RC	1	25
TRIFASICO	QELETRICO	D2	T-QD2	1	25
		B	T-QB	1	25
		AC1	T-QAC1	1	25
		AC2	T-QAC2	1	25
		5	T-Q5	2	25
		CENTRAL	T-QC	3	25
	D2	4	T-D24	1	25


6548
400
100
1080
1553
3231
7875
8897
3416
1553
1080
2349
100
100
400
13910
Luneta
Luneta
QELECTRICO
CENTRAL
Colimador
FC
AC1
AC2
P Caixa de pavimento
F Furo
S Luz Subterrâneo
E Exterior
L... Luz Sala

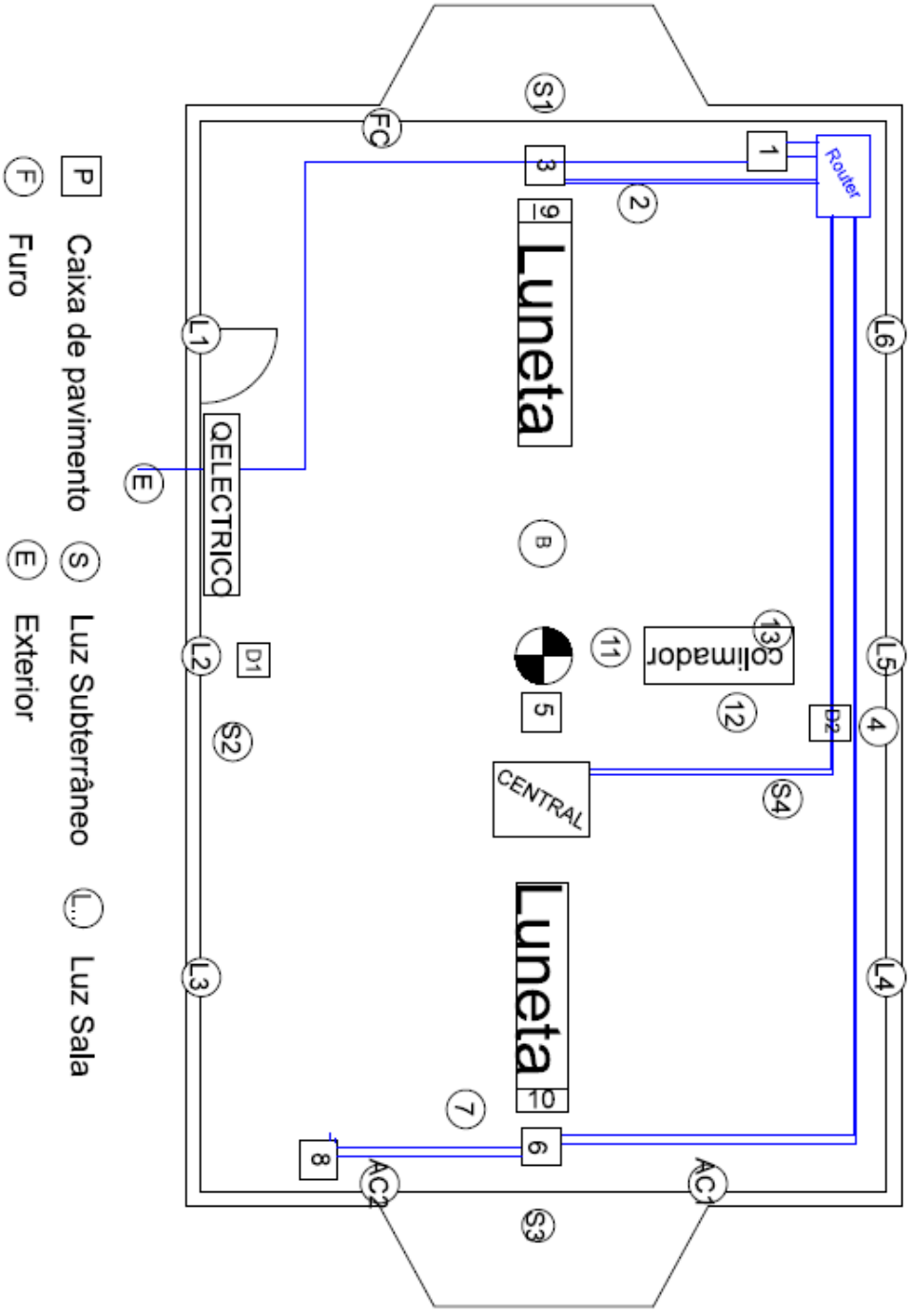
Circuito de Controlo




Circuito Monofásico
P Caixa de pavimento
S Luz Subterrâneo
L... Luz Sala
F Furo
E Exterior
Luneta
Luneta
Colimador
QELECTRICO
CENTRAL
FC
S1
S2
S3
S4
D1
D2
AC1
AC2
L1
L2
L3
L4
L5
L6
E
B


Circuito de Trifásica
Luneta
Luneta
Colimador
QELECTRICO
CENTRAL
FC
S1
S2
S3
S4
L1
L2
L3
L4
L5
L6
D1
D2
AC1
AC2
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
B
E
P Caixa de pavimento
F Furo
S Luz Subterrâneo
E Exterior
L... Luz Sala

Circuito Rede



APÊNDICE III

Conjunto de redações da Escola Básica Dr. Costa Matos escritas 15 dias depois da visita dos alunos do 7º ano ao Observatório. Visita diurna onde foram apresentados o Sartorius, o IPSE, o Círculo Meridiano e o Telescópio 30''.

S 1

Na visita de estudo ao Observatório Astronómico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, no dia sete de maio, vimos o maior telescópio de Portugal. No telescópio podémos observar o céu e antes de irmos ver o telescópio fomos a uma cúpula e lá dentro tinha um quadro onde podiamos ver as horas no Meridiano Greenwich, tinha uma televisão onde podemos observar as estrelas e um telescópio emorme.

O que mais gostei na visita foi quando fomos á cúpula e observámos as estrelas na televisão.

Aprendi muito, pois não sabia que neste lugar tinha o maior telescopio de Portugal.

Gostaria de ver uma estrela de noite no telescopio.

S 2

No dia 7 de maio fomos ao observatório astronomico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. No inicio fomos ver o 1º telescopio movel em Portugal. No segundo já estava preso ao chão. O treceiro era enorme e era controlado remotamente por um computador, esse mesmo telescopio estava numa especie de sala em que tinha uma cúpula que abria. No computador o guia espelicou que se carregasse numa estrela e quando estiver na meia noite carrega-se no botão e o telescopio vai para a direção da estrela.

Por fim, a ultima sala era a que tinha o telescopio com 30''. Achei fascinante o telescopio era enorme. Mas é claro que achei tudo o resto maravilhoso. Gostei de saber como foi a evolução dos telescopios. Gostei muito de fazer esta visita.

S 3

Visita ao Observatório Astronómico

No dia 7 de maio, eu e a minha turma fomos ao observatório de astronomia da Faculdade de Ciências do Porto.

Lá dentro vimos vários instrumentos antigos. Com esses instrumentos conseguimos ver todas as estrelas, também vimos o maior telescópio de Portugal. O que eu mais gostei foi de ver a cupula a abrir-se e a fechar-se. Dentro dessa cupula havia um telescópio. Esse telescópio estava ligado ao computador e era através do computador que ele se movimentava. Aprendi a usar os instrumentos e as suas funções. Eu gostava muito de saber como se monta um telescópio.

Para concluir, gostei muito desta visita de estudo e fiquei mais curiosa para saber mais coisas sobre os telescópios.

S 4

Visita de Estudo

O que vi?

Fotos espaciais, uma casa tipo bunker para medir os sismos com máquinas ligadas a um computador, o maior telescópio de Portugal, uma cúpula que tinha um telescópio e vimos alguns vídeos.

O que mais gostei?

Do observatório de astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do porto.

O que aprendi?

Nada. Só coisas de sismos e como surgiu o nome bikini.

O que gostaria de saber mais?

Quanto é que alcança o telescópio maior de Portugal.

S 5

Visita ao observatório astronómico

No passado dia 7 de maio eu e os meus colegas fomos visitar o Observatório de Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Lá, nós vimos os mais diferentes tipos de telescópios dos mais antigos aos mais recentes. Entre eles havia um telescópio de 30'' ainda a ser robotizado. Havia, também, um relógio que indicava as horas atuais no meridiano de Greenwich. Para além disso também usámos um programa de computador para identificar estrelas e afins.

A minha parte favorita foi quando fomos ver o telescópio de 30'' e o teto se abriu.

Aprendemos funções de algumas das peças dos telescópios e como se utilizam.

Gostei muito desta visita.

S 6

O que eu vi no obserbatorio astronomico vi muitas coisas como telescopios e muitas mais coisas maquinas antigas etc.

Vi cupulas foi o que mais gostei as cupulas os telhados a abrir. Aprendi muita coisa como as estrelas como nos localizar com as estrelas e etc. eu gostaria de saber como funcionavam verdadeiramente à noite.

S 7

Observatório de astronomia

No dia 7 de maio eu e os meus colegas da escola fomos a um observatório. Quando chegamos observei um enorme jardim com três pequenas casas e com uma enorme copula.

Em duas casas havia um pequeno telescópio mas na copula e numa das casas havia grandes telescópios em que os tetos mexiam-se para observar melhor as estrelas.

Aprendi que lá tinha o maior telescópio de Portugal e que até conseguia observar buracos negros.

Gostaria de saber como é que o teto da copula abria e onde é que a televisão estava ligada.

Gostei muito da atividade mas também achei que podia ser mais interativa.

S 8

Quando eu fui ao Observatório Astronómico no dia 7 de Maio de 2019, vi muitos telescópios de várias funções, o que eu mais gostei foi do telescópio 30 pulgares.

O que eu aprendi foi que através de máquinas conseguimos ver as estrelas de perto, ou seja, mais proximas, também aprendi como se utiliza o objeto e o que faz.

O que gostaria de saber era se existia um telescópio para observar planetas de perto.

Esta visita de estudo foi divertida, curiosa e espero voltar lá!

S 9

No dia, 7 de Maio, fui com a minha turma ao Observatório de astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Lá vi quatro telescópios, dois mais antigos, um muito grande que servia para ver o muvimento e o mumento em que a estrela passou e vimos também um quarto telescópio, o maior de Portugal. O quarto telescópio para mim foi aquele de que eu gostei mais. A sala onde estava o telescópio tinha um teto que se abria para podermos observar as estrelas.

Eu gostei muito da visita, mas gostaria de ter visto estrelas ou a lua através de um dos telescópios.

S 10

O que vi? Vi muitos telescópios inclusive o maior e o mais pesado telescópio de Portugal pesava 7tn e vi muitas estrelas na cupula de observação e aprendi como funciona diversas máquinas

O que mais gostei? Do autocarro.

O que aprendi? Aprendi muitas coisas como: como descobrir estrelas, como funcionam os telescópios.

O que gostaria de saber mais? Já sei tudo o que quero saber

S 11

Na passada terça-feira fui ao observatorio de astronomia da faculdade de ciências da univercidade do porto.

No observatorio vi uma copola e dentro dela tinha um telescopio gigante tinha tambem um plasma que tava ligado ao compotador e lá tinha um programa onde dava para ver as constelações e estrelas.

E perto da cupola tinha uma casa com um telescopio de 30 pulgadas.

Gostei muito desta visita de estudo mas gostava que a visita fosse á noite para ver as estrelas com o telescopio e gostava de saber porque que o sol tem aquela cor.

E com esta visita fiquei a saber mais sobre as estrelas e sobre os telescopios.

S 12

Observatório de astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Eu e alguns colegas, no dia 7 de maio numa terça-feira, fomos ao observatório de astronomia da Faculdade de Ciências na Universidade do Porto.

Lá pudemos ver o maior telescópio de Portugal e outros telescópios mais antigos.

Pudemos tbm ver as constelações e um vídeo, num ecrã gigante, a ver as estrelas passar.

S 13

Eu fui ao Observatório de Astronomia e vi lá telescópios que nunca tinha visto. Vi lá uma televisão TBLej 4K ultra HD que o senhor clicava lá num sítio e conseguia mexer o telescópio 30. Dentro do Observatório de Astronomia tinha um botão que quando o senhor clicava a cupola abria-se. dava para ver as estrelas.

O que eu gostei mais foi de ver foi o telescópio 30 que conseguia ver estrelas.

Aprendi que o telescópio 30 pesa mais ou menos 7 toneladas e aprendi tambem que quando espreito para dentro do telescópio eu conseguia ver umas linhas.

O que eu gostaria de saber mais é que quantas pessoas do (ilegível) ver o telescópio.

Como é que se chama uma coisa para ver as estrelas?

O telescópio 30 pulgadas dá para ver o buraco negro?

S 14

Na visita de estudo ao observatório de stronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, eu vi o maior telescópio de Portugal, vi tambem uma cupula.

O que mais gostei foi quando fui a cupula e a cupula a abrir, dentro da cupula tinha tambem uma televisão com um programa que falava sobre as constelações. Vi tambem uma espécie de relogio digital. Aprendi uma coisa que eu desconhecia quando a cupula abriu ☺.

Gostava de saber mais acerca do maior telescópio de Portugal.

S 15

No dia 7 de maio, visitamos o Observatório de Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, onde pudemos ver o maior telescópio de Portugal e vários telescópios antigos. Observamos também um monitor onde pudemos ver as constelações e observar as estrelas a passar.

Eu aprendi como funcionava um telescópio, como é que se pode saber as horas através das estrelas, como nos podíamos orientar pelas estrelas e também qual é a forma correta de observarmos uma estrela.

Eu gostaria de saber mais sobre o tempo sideral e gostaria de aprender como é que se constrói um telescópio.

O que eu mais gostei foi de ver o maior telescópio de Portugal e de poder observar o céu através dele. Gostei também de conhecer o programa onde podemos localizar as estrelas e outros objetos celestes.

Para concluir, adorei esta visita e fiquei mais curiosa sobre a história e a funcionalidade dos telescópios. Para além disso, achei interessante podermos observar o espaço sideral através de um programa de computador.

S 16

Observatório Astronomico da Faculdade de Ciências do Porto

Eu vi o grande telescópio de 30 polgadas quase pronto e ele pesa mais ou menos 7 toneladas, também vi uma cúpula que tinha lá dentro uma Tv Led que tinha umas constelação em que nós clicavamos com o rato e o telescopio ia automaticamente apontar para essa constelação.

O que mais gostei foi de clicar no botão para aquela cúpula abrir.

O que aprendi é que o telescopio de 30 polgadas dava para ver “buracos negros”.

Pergunta?

Gostaria de saber as constituintes de um telescopio.

S 17

Dia 7 de Maio, terça-feira, eu e alguns colegas da minha turma fomos ao observatório de astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

O que gostei mais foi de ver a cupula a abrir e tambem ver o maior tlescópio de Portugal.

Com esta visita aprendi como se utiliza um telescópio.

Gostaria de ter aprendido a montar um telescópio.

Gostei muito desta visita de estudo, pois fiquei a saber mais sobre telescópios.

S 18

No passado dia 7 de maio, eu e a minha turma fomos numa visita de estudo ao Observatório de Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Vimos vários telescópios antigos incluindo o maior telescópio de Portugal, um telescópio de 30 polegadas, onde podemos observar a atmosfera bastante ampliada. Aprendemos como funciona um telescópio, como observar corretamente uma estrela ou corpo celeste, como podemos saber as horas através das estrelas e como podemos orientar-nos através delas.

Aquilo que gostei mais foi saber que, quando uma estrela passa pelo meridiano do lugar, podemos saber a hora exata. Gostaria de aprofundar mais o meu conhecimento sobre o tempo sideral, nomeadamente como calcula-lo.

S 19

Observatório de astronomia

Na terça-feira dia 7 de maio eu e a minha turma fomos a um observatório astronómico.

O que vi no observatório foi alguns telescópios diferentes e 3 cúpulas.

Um dos telescópios era o maior de Portugal, esse telescópio era bastante interessante.

Dois dos primeiros telescópios que vimos eram antigos. O que mais gostei foi o maior telescópio e de ver as cúpulas a abrir.

O que aprendi foi sobre algumas estrelas e também algumas coisas sobre telescópios.

Eu gostaria de saber o nome da lente que amplia, para ver as estrelas e não só (do maior telescópio).

Também o nome de algumas estrelas.

S 20

Quando eu fui ao Observatório de astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto eu vi 4 telescópios, incluindo o maior telescópio de Portugal, uma cúpula e uma televisão para monitorizar o movimento das estrelas.

Nesta visita de estudo aprendi que a astronomia é muito divertida e interessante. O que eu mais gostei foi os telescópios e as aberturas das cúpulas. Eu gostei de saber como é que tudo aquilo funciona e gostava de saber mais sobre o espaço e as suas estrelas.

S 21

Observatório de astronomia

Durante a semana, terça-feira, fomos a um observatorio astronomico, nós fomos para lá por volta das quatro horas da tarde.

Nesse local vimos o maior telescopio de Portugal, havia uma enorme cupola que abria ao meio.

Eu gostei da atividade so que podia ter sido mais animada e interativa.

S 22

Dia 7 de maio, terça-feira, fui ao observatório de Astronomia da faculdade de ciências da universidade do Porto.

Vi o maior telescopio de portugal, tinha 30 polegadas, nesse sitio, a cupula abrio-se, o telescopio mexeu-se, e podia ver o céu, essa foi a minha parte parte favorita.

Adorei essta vissita.

S 23

Dia 7, de Maio de 2019, a nossa turma fez uma visita de estudo ao Observatório de astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Quando chegamos lá, fomos recebidos por um homem muito simpático que nos mostrou os diferentes lugares.

Primeiro entramos num pequeno espaço, onde vimos um telescópio. O senhor falou-nos um pouco sobre ele e até pudemos mexer nele.

Mais à frente, vimos uma cúpula gigante. Entramos lá e logo de seguida o teto abriu-se. Gostei bastante desse momento.

O último sitio onde fomos, tinha um telescópio gigante! Pesava muitas toneladas e era muito alto. Nesse espaço, o teto também se abriu e foi muito fixe.

Depois disto, fomos para o autocarro. Foi uma experiência muito divertida e educativa.

S 24

Eu gostei muito de tudo. Eu me apaixonei pelo telescópio. Eu particularmente adoraria visitar novamente mas desta vez durante a noite para conseguir ver melhor a lua e as estrelas.

S 25

Eu gostei muito do passeio especialmente porque quando eu era mais pequeno eu ficava horas a olhar para o céu e para as estrelas. Gostei de ver o maior telescópio de Portugal. O senhor Bernardo é muito simpático e o cãozinho Caju é muito fofinho. Se pudesse iria mais uma vez ao observatório da Universidade do Porto.

S 26

A visita que fui foi divertida e aprendi muitas coisas novas. O que deixou a visita mais interessante foi o cãozinho que lá estava a passear e a brincar connosco.

Estava muito calor mas mesmo assim foi fantástico e houve muita alegria, adorei tudo mas minhas partes favoritas foi na camioneta. Nós cantavamos, dançavamos, nós riamos, etc. E além disso foi com a melhor turma que adorei ter. Agradeço muito.

S 27

Gostei muito do passeio onde vimos o telescópio onde tinha o cachorro Caju muito fofo e o museu do astronauta foi muito divertido. As coisas os objetos os papéis com as historias, com a historia do tragico acontecimento em lisboa. Gostei muito do local. Das historias que a moça contava muito legal!

S 28

Eu achei super fixe a todos os lados que a gente foi no dia do passeio. Adorei super ir ao museu e tudo mais eu quero ir lá de noite porque quero ver naquela televisão a Lua. E também adorei o sr. é muito simpático e também tinha um cachorrinho muito giro que se chama caju ele era adorável e queridinho; so me apetecia apertá-lo. Acho que foi isto. Adorei super.

Redações de alunos que não foram ao observatório

S 29

Um observatório de astronomia é um lugar onde se pode observar estrelas e coisas do espaço. Eu gostaria de ver curiosidades sobre o espaço e sobre as estrelas. Também gostava de ver os telescópios antigos e os mais novos.

É divertido trabalhar aí? Qual a sua função? É verdade que têm o maior telescópio de Portugal? O observatório é muito grande?

S 30

Para mim um observatório é um local onde podemos observar determinada coisa.

Eu gostaria de saber o que se observa num observatório de astronomia.

Mas sei que astronomia está relacionada com astros e coisas relacionadas com o espaço.

Gostaria de saber como se organizam as constelações e também gostaria de saber quantas constelações existem. Gostaria de ver um telescópio ao vivo.

APÊNDICE IV

Apresentação PowerPoint sobre o desenvolvimento das técnicas para medir o tempo.



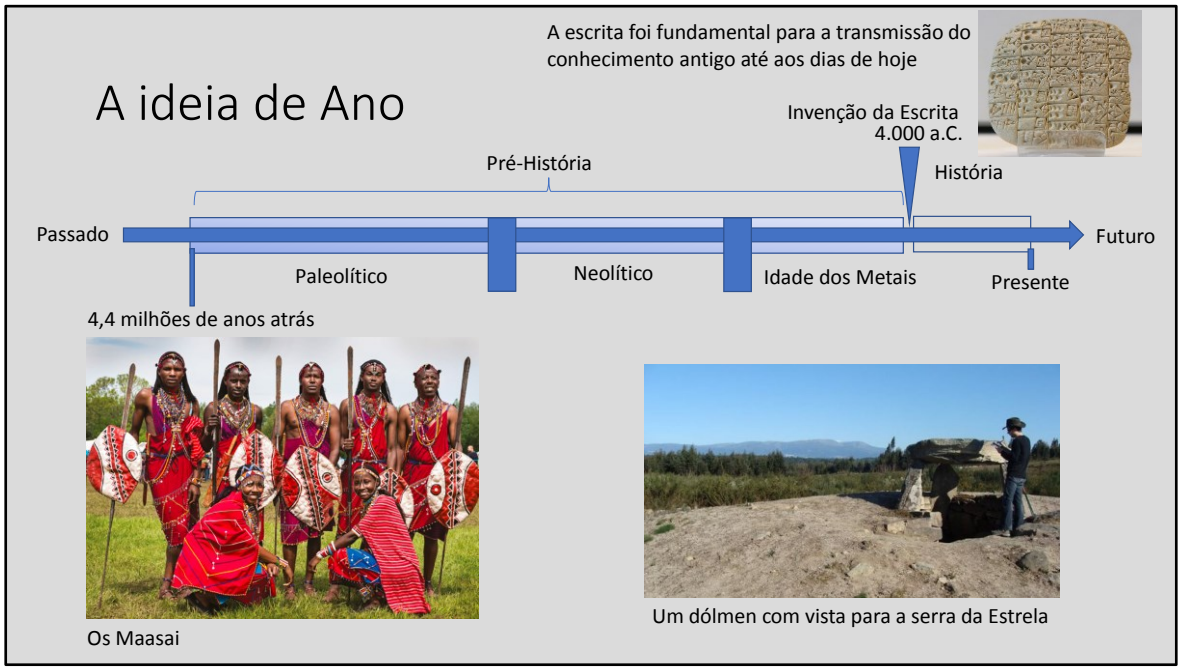
Determinação da hora com as estrelas

Sejam muito bem vindos ao Círculo Meridiano de Espelho, um dos três instrumentos deste género construídos no mundo e o único em funcionamento. Fazem alguma ideia para que serve um instrumento destes? (Esperar respostas)

Um Círculo Meridiano é um instrumento usado para determinar a hora pela observação das estrelas. Este instrumento distingue-se dos telescópios tradicionais que se encontram habitualmente nos observatórios porque os telescópios estão fixos e a estrelas são observadas usando um espelho rotativo central onde a sua luz se reflete. Para determinar a hora, o astrónomo serve-se da posição conhecida de estrelas de referência, estrelas que podem ser usadas para determinar a posição da Terra no espaço sideral num dado momento.

Nos próximos 45 minutos iremos ficar a conhecer o papel dos círculos meridianos na determinação da hora mas primeiro falaremos da forma como, desde a Pré-história o homem foi encontrando maneiras de medir o tempo. Começando pelos grandes períodos como os anos, as estações do ano e os meses, pelo advento do conceito de hora na Roma Antiga, até aos dias de hoje, com a medição de períodos mais curtos, os minutos, os segundos e suas frações mais ínfimas como os períodos de vibração dos

átomos. Iremos ficar a conhecer as circunstâncias que levaram à invenção do primeiro relógio, culminando na invenção dos relógios atómicos e nas implicações que eles têm no nosso dia-a-dia.



Mas retrocedamos à Pré-História em que a Terra era povoada por tribos nómadas.

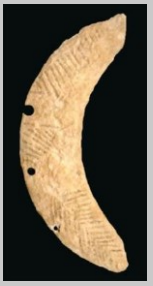
As primeiras tribos nómadas de coletores-caçadores tinham como prioridade a sobrevivência num território virgem com uma fauna e um clima implacáveis. A caça e a recolha de vegetação eram a sua forma de subsistir. Para o fazer, aproveitavam as noites de lua cheia para caçarem em grupo e para garantir subsistência nas épocas mais frias começaram a dominar a pastorícia, que se traduziu na recolha de animais vivos, na constituição de pequenos rebanhos conduzindo-os até pastagens mais favoráveis noutros pontos do território. Na viragem para o Neolítico, o Homem começou a dominar a agricultura e as tribos nómadas tornam-se sedentários. Foi a permanência no mesmo lugar que lhes permitiu apreciar a evolução da agricultura e reconhecer a existência de períodos em que havia mais caça e mais alimento e outros períodos em que estes escasseavam. O domínio da agricultura suscitou no homem ancestral um verdadeira revolução intelectual que foi a capacidade de relacionar uma causa com um efeito, o princípio basilar do espírito científico. Desta perceção da renovação do meio ambiente ao seu redor resultou na ideia de “ano” e de estações do ano que se devem ao movimento de translação da Terra e à inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do Sol [que é de 23,5 graus].

No Neolítico, o Homem começa a associar a posição de certos astros com a sua atividade de pastoreio. A serra da Estrela, por exemplo, deve o seu nome ao aparecimento da estrela Aldebaran sobre o seu cume quando se inicia a estação fértil. Esta observação era feita através dos dólmens que se encontram todos alinhados na direção da mesma encosta.

(https://expresso.pt/sociedade/astronomo-descobre-origem-pre-historica-do-nome-da-serra-da-estrela=f807844?fbclid=IwAR1RQgW58rBEIGF8Os9b1cOoS6HIuA6EhxXpfTPXXXmxHw_iQHr-Alrk7Bw)

A ideia de Mês







Lúnula da Serra de Baútas e Escultura de coelho da Anta Grande do Olival da Pega, Reguengos de Monsaraz, Évora (Portugal). Museu Nacional de Arqueologia de Lisboa

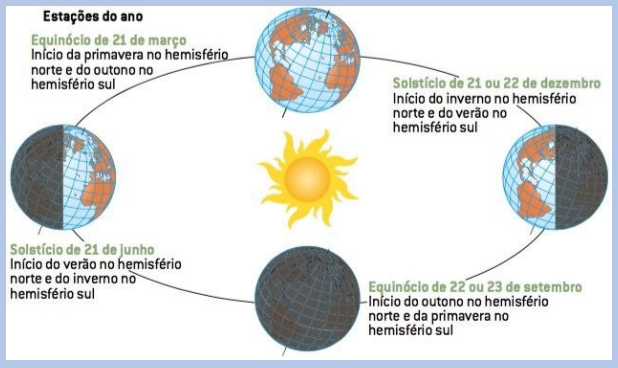
Sabe-se também que os povos do neolítico reconheciam as fases da Lua e atribuíam-lhe cultos em função do seu ciclo. (Imagem: https://www.infoescola.com/sistema-solar/fases-da-lua/)

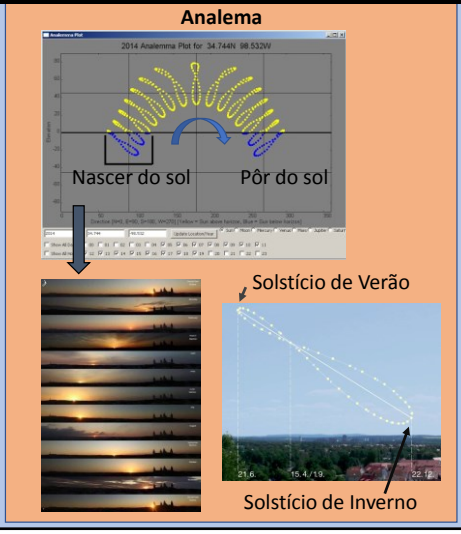
As fases da Lua permitiram construir calendários rudimentares baseados no número de lunações, ou seja, o tempo que passa entre duas fases consecutivas que os povos do neolítico usavam para gerir a agricultura.

Por curiosidade, conseguem ver algum animal na fotografia da Lua? (Imagem: https://www.scienceabc.com/pure-sciences/think-theres-giant-rabbit-moon.html)

Foto da lúnula e da escultura: https://www.celtiberia.net/es/biblioteca/?id=2943

Solstícios e Equinócios



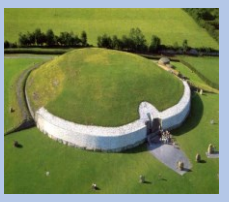


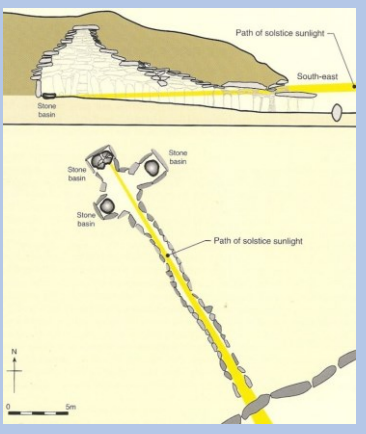
Por forma a preparar e gerir as reservas para os meses frios, saber qual era a melhor altura para fazer a sementeira, guardar água para o regadio e prever a seca, o homem neolítico sentiu necessidade de determinar de forma sistemática quando começavam o Inverno e o Verão. Estes momentos chave do ano são conhecidos como os solstícios. O solstício de Verão, acontece no dia 21 de Junho, e é o dia do ano em que o sol ao meio-dia se encontra mais alto. O solstício de Inverno, acontece no dia 23 de Dezembro, e é o dia do ano em que o Sol ao meio-dia toma a sua posição mais baixa. Por outro lado, os equinócios marcam os dois momentos do ano em que o dia dura o mesmo que a noite.

As comunidades mais desenvolvidas perceberam que para além do sol subir e descer no céu com o decorrer do ano, ele não nasce nem se põe sempre no mesmo sítio. Na imagem da direita podemos ver o trajeto que o sol desenha no céu, quando se regista a sua posição todos os dias à mesma hora. A este grafo chama-se Analema. Na imagem do centro podemos ver as posições que o sol toma ao nascer, ao longo de todo o ano.

Solstícios e Equinócios

Newgrange
(Irlanda, 3.200 a.C.)





Trajeto da luz em Newgrange

Stonhenge
(Inglaterra, 4,500 a.C.)





Os povos do neolítico, baseados em séculos de experiência, construíram os monumentos de Stonehenge e Newgrange através dos quais determinavam as datas dos solstícios.

Stonhenge é monumento megalítico localizado no Reino Unido, formado por um conjunto de anéis concêntricos formados por pedras de 9 metros de altura chegando algumas a pesar 25 toneladas. Nos tempos remotos foi uma cripta funerária mas este monumento tornou-se famoso graças à sua função astronómica. As pedras formam janelas para o horizonte que permitem determinar as datas dos dois solstícios. O solstício de Verão acontece quando o sol nasce por trás de uma pedra localizada fora da estrutura principal chamada Heel Stone para de seguida iluminar o coração da estrutura. O solstício de Inverno é determinado ao pôr do sol com os últimos raios de luz a entrarem pela janela voltada para sudoeste iluminando uma pedra central.

Newgrange é uma construção maciça com um túnel que se ilumina perfeitamente, sem deixar sombras, ao nascer do sol no dia em que se dá o solstício de inverno.

Também o equinócio da Primavera tem a sua implicação no nosso calendário. Na tradição pagã, esta data é celebrada com as festas das colheitas mas para os cristãos, o

equinócio da Primavera serve de referência à marcação do domingo de Páscoa. A regra é que a Páscoa deve ser celebrada no domingo a seguir à primeira lua cheia a seguir ao equinócio de Primavera.

Calendários

- **Babilónio** baseado no ciclo lunar de 29 dias e meio.
- **Egípcio** O ano era dividido em três períodos de quatro meses: inundações (julho a outubro), plantio (novembro a fevereiro) e colheita (março a junho).
- **Juliano** - calendário baseado nos ciclos lunares encontrava-se desfasado das estações em 3 meses.
- **Maia** baseado no ciclo de Vénus. Um ano tem 365 dias de 18 meses de 20 dias.
- **Gregoriano** sensivelmente igual ao calendário Juliano, mas ajustado ao século XVI.




Calendário Maia


Fragmento de calendário babilónio

Foram os Babilónios que construíram o primeiro calendário baseado na sucessão de ciclos lunares. O ciclo lunar dura um sexto do tempo que decorre entre os solstícios, é um fenómeno que se observa facilmente, e as fases da lua fornecem ainda períodos mais pequenos que permitem detalhar o calendário, as semanas. Com o passar das décadas, começaram a notar que os solstícios não acontecia sempre no mesmo dia. Isto gerava um desfasamento entre o calendário e as estações. Esta consciência de dessincronização entre o ciclo da lua e o ciclo solar revela a atenção que os Babilónios depositavam no aperfeiçoamento do seu calendário.

Os Egípcios, em vez de usar a Lua como referência para a construção do calendário, recorreram à observação da estrela Sirius, uma das mais brilhantes do céu noturno. Ao contarem o número de dias que a estrela demorava a nascer novamente no mesmo sítio concluíram que o ano tinha 365 dias. Dividiram o ano em 12 meses de 30 dias e acrescentavam 5 dias no final de cada ano. Incapazes de medir períodos mais curtos que o dia, não se deram conta que o ano tinha 365 dias e 6 horas. Foram os Egípcios que lançaram o método para a determinação da hora que hoje usamos.

No tempo de Júlio César, o calendário em uso era baseado nos ciclos lunares e solares, à imagem do calendário babilónio. Como a dada altura já se encontrava desfasado das

estações em 3 meses, o imperador decide acrescenta noventa dias ao ano 46 a.C. e começa o novo calendário a 1 de janeiro do ano 45. Alertado pelos astrónomos que o ano durava 365 dias e 6 horas, decide introduzir o conceito de ano bissexto de 4 em 4 anos. Nesse ano especial, acrescenta-se um dia ao mês de fevereiro, o mês mais curto do calendário Romano.

Outro calendário de nota é o Maia que se baseia no movimento de Vénus. No calendário desta civilização os dias são representados por dois conceitos: **13 gráficos** representados de forma numérica e **20 glifos** representados de forma escrita. Estes dois círculos interagem, fazendo com que cada dia tenha uma combinação única e um significado específico. Os Maias inventaram dois calendários: o calendário sagrado ***tzolkyn*** *(que significa contagem dos dias)* para a prática religiosa com 20 linhas e 13 colunas totalizando 260 dias, e outro, o **calendário *haab***, que era utilizado para recolha de impostos e agricultura. Como sabemos hoje, um ano solar deve ser constituído por 365 dias. Mas é claro que os maias sabiam disso! Este calendário continha **360 dias**, divididos por **18 meses** com **20 dias cada**. Os **5 dias** que faltavam era um período chamado de ***Wayeb'***.
Os "dias sem nome", ou *Wayeb'*, eram períodos em que os Maias acreditavam ser de extremo perigo, pois os portais entre o reino mortal e o "submundo" desapareciam.
Um dos aspetos mais curiosos do calendário Maia é que durante cada ciclo de 52 anos não há dois dias nem dois meses com o mesmo nome.
É importante sublinhar que o calendário Maia é ainda mais preciso que o que hoje utilizamos, o calendário gregoriano.

Fonte: https://www.hipercultura.com/calendario-maia/

O calendário Juliano estimava que o ano solar era 11 minutos e 14 segundos mais curto do que a sua duração real, ou seja, um atraso de três dias a cada 400 anos. No século XVI, percebeu-se que esse pequeno erro se tinha acumulado totalizando uma discrepância de 10 dias entre o calendário e a realidade, algo mais percetível nas datas dos equinócios que tinham influência na marcação da Páscoa. Para não se alterar a duração do ano Juliano, o Papa Gregório XIII decretou que ao dia 4 de Outubro de 1582 iria suceder o dia 15 de Outubro resultando no calendário que usamos hoje em dia, o calendário gregoriano.

[**Informação adicional: Por que é que Fevereiro tem 28 dias?** Os 28 dias de fevereiro remontam ao segundo rei de Roma, Numa Pompilius. Antes de se tornar rei, o calendário lunar de Roma durava apenas 10 meses. O ano começava em março e terminava em dezembro. Para Rómulus, o primeiro rei de Roma, o período entre dezembro e março não tinha importância, porque não tinha nada que ver com a agricultura.

Quando Numa Pompilius assumiu o reinado, decidiu tornar o calendário mais preciso alinhando-o com os 12 ciclos lunares do ano. Para compensar o tempo perdido, o novo ano de 355 dias precisou de dois meses adicionais, para o que se adicionou janeiro e fevereiro ao final do calendário.

Como os romanos acreditavam que os números pares davam azar, cada mês tinha um número ímpar de dias, que alternava entre 29 e 31. Mas, para atingir 355 dias, um mês tinha que ser um número par. Fevereiro foi escolhido para ser o mês de azar, com 28 dias, porque segundo reza a lenda já era nesse período que se honravam os mortos. O termo «februare» está relacionado aliás com a ideia de purificar.

Depois de alguns anos usando o novo calendário de 355 dias do Numa Pompilius, as estações e os meses começaram a ficar fora de sincronismo com as estações. Na tentativa de realinhar os dois, os romanos adicionaram um mês bissexto de 27 dias, conforme necessário.

Como o mês bissexto foi inconsistente, isso também gerou as suas falhas óbvias. Em 45 a.C., Júlio César contratou um especialista para criar um calendário baseado no sol como o que os egípcios usavam. O calendário juliano adicionava pouco mais de 10 dias a cada ano, tornando cada mês 30 ou 31 dias, exceto em fevereiro. Por forma a reproduzir o ano de 365,25 dias, passou-se a adicionar um dia a fevereiro a cada quatro anos, agora conhecido como "ano bissexto". Durante a maioria dos anos, isso deixou fevereiro com apenas 28 dias.

Para recolocar Roma sincronizada com o calendário juliano, o ano 46 AEC durou 445 dias!] https://www.childrensmuseum.org/blog/why-feb-28-days

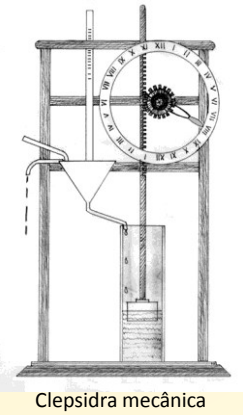
Contar períodos curtos



Clepsidra chinesa.
(Crédito: art-and-archaeology.com)

A clepsidra era regulada pelo fluxo de água entre os três baldes dispostos em socalco na parte superior do dispositivo. Um cilindro na base segura uma alavanca de nível que indica o tempo de acordo com o nível da água dentro do cilindro. A figura humana com os timbais, acionada por um mecanismo de transbordamento (balde basculante), bate com seus pratos a cada quinze horas.

A clepsidra mecânica opera da mesma forma que a clepsidra por gravidade mas a alavanca de nível contem uma cremalheira que move o ponteiro indicando as horas diretamente no mostrador.



Clepsidra mecânica
(WikiCommons)

Até aqui, temos visto como as civilizações mais antigas **contavam** os grandes períodos de tempo, o papel que as estações do ano tinham em fornecer uma referência em relação ao tempo que já passou e o que estava para vir. Vimos também como nasceram os primeiros calendários, formados por dias, meses e anos, construídos sobre a **determinação** de datas importantes como os solstícios e os equinócios e regulados pelo ciclo da Lua. Iremos ver agora como o Homem passou a contar os períodos curtos, como a hora, o minuto e o segundo.

Terá sido no Antigo Egito, que o Homem sentiu pela primeira vez a necessidade de contar períodos mais curtos do que o dia. A construção das Grandes Pirâmides (século 26 a.C.), por exemplo, terá constituído um enorme desafio de gestão de recursos humanos já que se estima que a obra terá durado 30 anos e terá empregue aproximadamente 10,000 pessoas em turnos de 3 meses. Segundo os historiadores foram obras como esta que estiveram na origem da primeira unidade de tempo: a jornada de trabalho, isto é, o período que ia do nascer ao pôr do Sol. Por volta de 1400 a.C. surgem no Egito as clepsidras. Uma clepsidra é um relógio de água que consiste num tanque com um furo através do qual a água escoa de uma forma que se pretende o mais regular possível. As clepsidras foram usadas pelos Egípcios, pelos Gregos, pelo

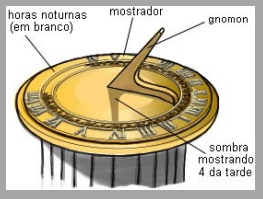
Império Romano em geral, pelas civilizações Árabes, na China e na Europa até ao século XVI e conheceram pelo menos duas variantes: a clepsidra por gravidade que consistia em observar o nível do depósito de água para saber quanto tempo tinha passado e as clepsidras mecânicas que já tinham mostrador e ponteiro. Paralelamente, também se usavam ampulhetas de areia cuja origem é muito anterior.

[**Informação complementar**: Em 539 a.C. a Babilónia foi absorvida pelo Império Aqueménida (persa). No ano 334 a.C. o imperador Alexandre Magno, cujo império já abarcava a Grécia, o Egito, estendendo-se à Índia, toma o Império Aqueménida absorvendo todos os conhecimentos adquiridos pelos Babilónios e confirma o Império Macedónio como a super potência.]

Da Grécia Antiga para o Mundo

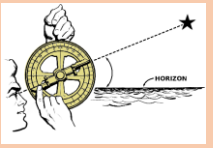
Relógio de sol grego

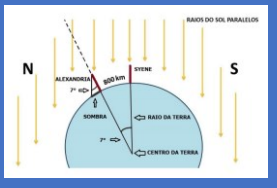


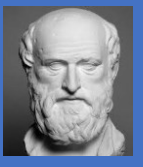




O astrolábio







Determinação do perímetro da Terra por Eratóstenes (200 a.C.)

→ 40.000 km

Da Grécia Antiga chegaram-nos os relógios solares, apesar de se pensar que foram concebidos na Ásia Menor. Foram os conhecimentos gregos cultivados em Alexandria que tornaram possível a primeira determinação do perímetro da Terra por Eratóstenes 200 anos antes de Cristo. Já na nossa era, o astrolábio, pela mão de Ptolomeu e outros tornou-se o instrumento predileto do mundo muçulmano porque permitia determinar o instante das cerimónias religiosas, e continua a ser usado hoje em dia. Um dos trabalhos mais importantes da era medieval é o Tratado da Esfera [escrito por John de Hollywood, conhecido por Sacrobosco] que nos permitiu ter acesso aos elementos da astronomia esférica desenvolvidos na Grécia Antiga, de onde resultou uma conceção mais lógica da medida do tempo pelo céu. Foi nesta altura que surgiram na Europa os relógios de sol que permitiram marcar uma hora regular ao longo de todo o ano.

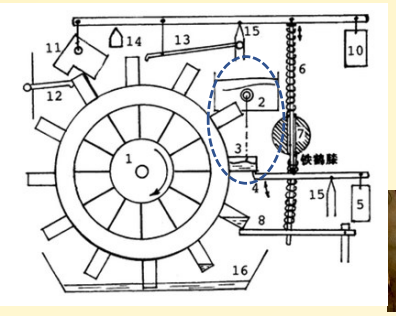
O relógio de sol é composto por duas partes: um mostrador plano com a numeração gravada e uma peça vertical a que chamamos gnómon. É a sombra do gnómon que indica as horas. Foi a perceção que a sombra se movia a velocidade constante que inspirou a reprodução mecânica deste movimento culminando na construção do mecanismo que conhecemos por relógio. O conceito de hora tal como a conhecemos

foi ignorado pelo menos até ao século III d.C. Foi a velocidade das nossas atividades que nos forçou a contar os minutos, os segundos e as frações de segundo. As ligações ferroviárias fizeram com que o minuto se nos impusesse; o desporto automóvel e outros, deram ao segundo uma grande importância; as comunicações rádio têm em conta as frações de segundo e os circuitos eletrónicos operam em microssegundos.

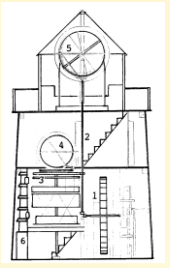
O relógio astronómico de Su Song

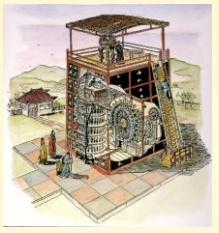


- No século XI, Su Song, constrói o primeiro relógio astronómico movido a água.
- As horas eram indicadas através do som de sinos e tambores e de figuras humanas à escala natural que se mostravam à janela.
- O relógio de Su Song foi o primeiro relógio a possuir o mecanismo de escape que permitia ao relógio andar lentamente, de forma contínua e a velocidade constante.









fineartamerica.com

http://history.lib.tsinghua.edu.cn/academic/zhongbiao.htm

Su Song, da dinastia Sung do Norte, foi um polímata chinês que inventou uma esfera armilar e um globo celeste movidos a água por volta do ano 1088 d.C. Os instrumentos estavam montados numa torre e o seu movimento era baseado num relógio mecânico movido a água com um regulador de escape. A esfera armilar permitia determinar a posição dos planetas em torno da Terra e o globo celeste mostrava a posição das estrelas. Ambos os instrumentos moviam-se sincronizadamente em função do sistema de contagem do tempo. [https://amc.stust.edu.tw/en/node/t05]

O sistema de contagem do tempo que transmitia o seu movimento à esfera armilar e ao globo celeste funcionava através do movimento intermitente de uma roda d'água gigante (1) cujos baldes eram enchidos à vez. O escape inventado por Su Song, consistia num sistema articulado (barra de cima articulado em 15) que produzia o encravamento da roda (barra 13) enquanto se procedia ao enchimento de cada balde (3). Porém, e porque a precisão era um valor absoluto para Su Song, cada porção de água tinha que ser pesada antes de entrar na roda. Do outro lado do sistema articulado existia uma balança de braços desiguais, apoiada num fulcro (peça 15) que pesava cada balde à medida que este era cheio por um tanque superior (2). Quando atingia o peso certo, a roda começava a girar lentamente, desencravando-se a pouco e pouco para que o

balde seguinte pudesse ser abastecido. [texto inspirado de Reconstruction Designs of Lost Ancient Chinese Machinery, por Hong-Sen Yan, página 172 e seguintes]

O movimento da roda d'agua animava duas noras horizontais que estavam revestidas por esculturas humanas cada uma correspondente a uma hora do dia e da noite, figuras esses que apareciam à janela do respectivo andar. Ao longo do veio vertical encontrava-se a meia altura o globo celeste e no piso superior a esfera armilar. A cada hora tocava o sino e a cada quarto de hora ouvia-se um tambor.

De todos os inventores de escapes que possam ter existido, Su Song foi o primeiro a deixar patente em livro detalhes da estrutra, componentes e diagramas de movimentos do relógio movido a água por ele desenvolvido.

No relógio de Su Song encontramos as três partes fundamentais de um relógio: a fonte de energia que é a queda da água, a transmissão que é a roda d'água e todas as engrenagens que num relógio normal faria mover os ponteiros, e os elementos reguladores constituídos pela balança de água e pelas alavancas que formam o escape e que emprestam a função repetitiva e intermitente ao relógio. Todos os relógios mecânicos modernos conservam estes três conceitos apesar da sua mecânica se ter alterado ao longo da história.

[Sobre estes temas consultei também https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01589249/document]

http://www.messagetoeagle.com/ancient-chinese-ingenuity-created-sophisticated-time-keeping-machines-proof-of-remarkable-ancient-knowledge/

Os primeiros relógios mecânicos

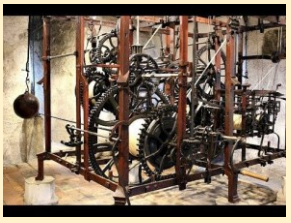


gilbertscott.org

A construção da Catedral Bury St. Edmunds com a sua torre sineira, foi terminada em 1135.

Relógio monumental da Torre de Berna, 1525. Consiste de um relógio solar num nível superior, um relógio astronómico a meia altura e um nicho com vários autómatos. No topo da torre junto ao pico encontra-se a figura de homem de armas que toca o sino com um martelo.





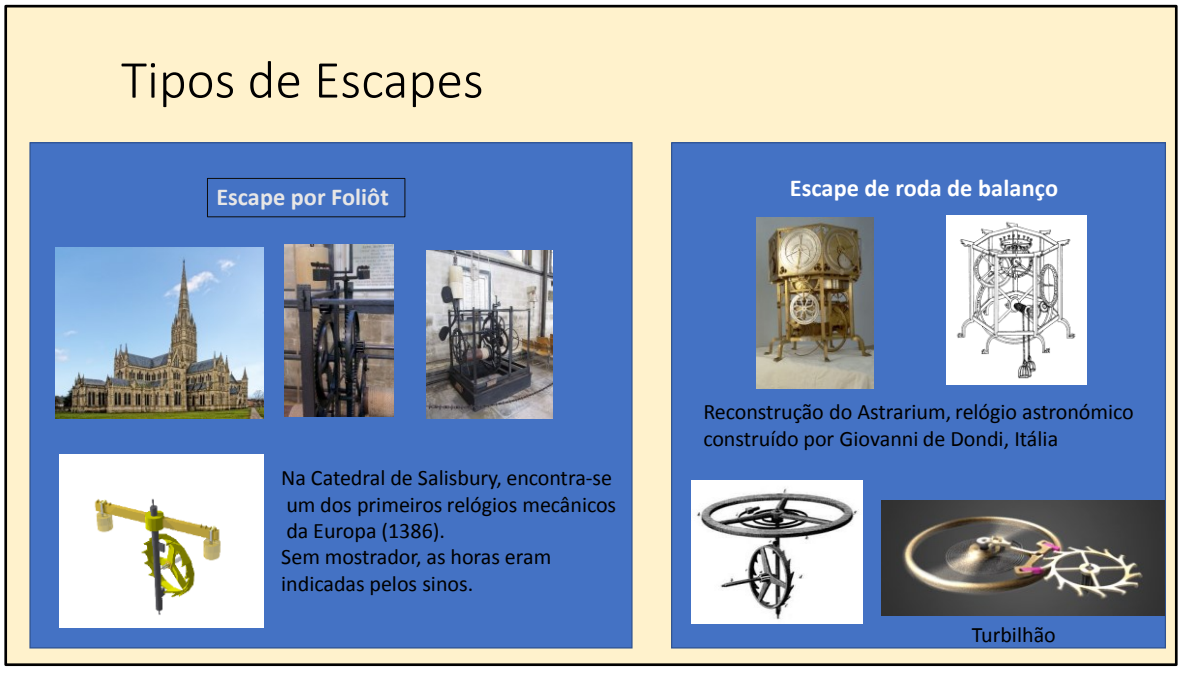
(Crédito: www.bern.com)

Os primeiros relógios mecânicos surgem na Europa a meados da Idade Média, período que decorreu entre o século V e o século XV. Esta é uma altura conturbada da história europeia em que se assiste à invasão e posterior expulsão dos muçulmanos dos territórios mais setentrionais do continente. O aparecimento do relógio mecânico na Europa segue duas correntes distintas que atuaram quase simultaneamente, uma de inspiração árabe e outra baseada nos conhecimentos orientais. Os registos históricos referem que o primeiro relógio mecânico foi construído na península ibérica, pelo engenheiro árabe al-Murandi, no século XI. Este relógio mecânico de qualidade inultrapassável até ao século XIV continha diversos sistemas hidráulicos a mercúrio que faziam mover autómatos. Os trabalhos de al-Murandi tornaram-se conhecidos dos engenheiros de Afonso X de Castela (século XIII) e por isso acredita-se que tenha tido um papel importante no desenvolvimento do relógio europeu.
Por outro lado, na Europa cristã, os grandes centros religiosos concentravam em si não só o culto mas também a tradução e cópia de textos vindos de todo o mundo, muitos deles contendo os avanços científicos mais recentes. Acredita-se que o livro de Su Song se tenha introduzido na Europa deste modo, popularizando o conceito.

Numa clara alusão aos princípios desenvolvidos por Su Song, os primeiros relógios europeus também empregavam a força da água como forma de energia, como sugere

Jocelin de Brakelond ao narrar o episódio de um incêndio na abadia de Bury St. Edmunds, Inglaterra, em 1198, durante o qual os monges correm para o relógio. Pensa-se que o relógio teria um reservatório suficientemente grande para extinguir as chamas. Tal como o relógio de Su Song, também as nossas catedrais teriam os chamados relógios astronómicos, onde se podiam ver as posições dos planetas e do sol em torno da Terra, sendo este planetário movido pelo relógio principal. Muitas vezes os relógios faziam mover autómatos que tocavam os sinos, como acontece no relógio de Berna. Assim, os relógios das catedrais teriam duas funções: uma administrativa, dando as horas, e outra científica, mostrando a posição dos astros.

O século XIII na Europa é caracterizado pela reconquista do sul de França aos mouros. Para animar o espírito cristão e consolidar o poder da Igreja, assiste-se à construção de catedrais imponentes com altas torres sineiras que tocavam o céu. A mais significativa é a catedral de Sens cuja torre foi uma das primeiras a ter relógio. Ainda que inicialmente os primeiros relógios monumentais não possuíssem mostrador e a hora fosse dada pelos sinos, o facto de se ouvirem em todo o lado, contribuiu em grande medida para a difusão pública da hora.



Ao longo do século XIV, os relojoeiros europeus adaptaram o mecanismo de escape à nova realidade. Como os relógios eram montados no alto das torres das catedrais, deixou de se poder usar a queda de água como fonte de energia, levando a grandes alterações ao esquema original. Em vez de água, os relojoeiros passaram a usar pesos suspensos por cordas que se enrolavam num tambor. A energia potencial do peso faz o mesmo efeito que uma queda de água controlada, com a diferença que a água é uma fonte inesgotável mas o peso precisa de ser puxado para cima com uma certa periodicidade, normalmente a cada 48 horas. É daqui que vem a expressão “dar corda ao relógio”, isto é, puxar os pesos para cima. Os relojoeiros europeus também trataram de melhorar o mecanismo de escape de Su Song que consistia no encravamento da roda de água por uma série de alavancas. A roda d’água foi substituída por coroa dentada e o encravamento passou a ser feito por um veio vertical com duas palhetas, um em cima e outra em baixo, que deixam passar um dente da roda de cada vez. Na maior parte dos relógios do norte da Europa o mecanismo de escape é formado por uma haste horizontal com dois pesos suspensos nas pontas que faz lembrar uma balança antiga. Esta haste chamada Foliôt, encontra-se pendurada por uma mola que permite a sua oscilação no plano horizontal. O movimento alternado do Foliôt regula o movimento da roda de escape, dotando o relógio do movimento intermitente. Este mecanismo é conhecido como escape por Foliôt. Nos relógios das grandes catedrais do

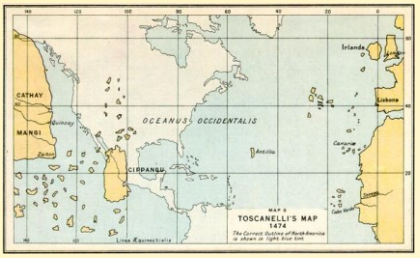
sul da Europa, como em Itália e em Espanha, o Foliôt já não aparece. Aqui, os relojoeiros usavam um volante que oscilava no plano horizontal por ação de uma mola espiral plana, seguindo o mesmo princípio. Este mecanismo ficou conhecido por roda de balanço. Os conjuntos Fôliot/pesos/mola helicoidal e roda de balanço/mola espiral constituem os reguladores destes primeiros relógios.

O mecanismo de escape de roda de balanço é muito parecido com o mecanismo de turbilhão, inventado para tornar o relógio de pulso mais independente aos saltos.

Relógio de foliot: https://www.worthpoint.com/worthopedia/iron-gothic-style-verge-foliot-weight-307940518
Glossário de termos técnicos: http://pt.presentwatch.com/novidades/826064.html

Sobre relógios monumentais: http://campaners.com/pdf/pdf966.pdf

Orientação em alto-mar na Era dos Descobrimentos



Reprodução do planisfério terrestre de Toscanelli (1474) a amarelo vivo justaposta à localização verdadeira das Américas. De Lawrence J. Burpee, *An Historical Atlas of Canada* (Toronto: Thomas Nelson and Son Limited, 1927) 4. Map by John Bartholomew and Son, Ltd., Edinburgh Geographical Institute.



A bússola foi desenvolvida e aperfeiçoada em Itália, por Flavio Gióia, em 1280





No final da idade Média alguns países da Europa iniciavam as suas aventuras marítimas. Mas como se orientavam os navegadores no mar?

Contrariamente à nossa intuição, a noção de Terra esférica é muito antiga, sendo anterior ao tempo de Cristo. Afinal de contas os Gregos não iriam calcular o perímetro se achassem que ela era plana. Alguns textos antigos fazem alusão aos globos terrestres mas na Idade Média a Igreja havia proibido a representação da Terra esférica e o globo terrestre mais antigo que se conhece data de 1492.

Antes desta data, foram desenhados inúmeros planisférios com base nas viagens anteriores. Um destes mapas, traçado pelo geógrafo italiano Paolo Toscanelli, teve consequências imprevistas: À semelhança de todas as cartas dessa época, Toscanelli ignorava a existência do Oceano Pacífico e situava a costa do Japão e da China muito mais próxima da Europa do que é na realidade. Este erro feliz induziu Cristóvão Colombo a procura das Índias pelo Ocidente. Vasco da Gama tinha já dobrado o Cabo da Boa Esperança atingindo o País das Especiarias pelo Este, e por isso Espanha tinha todo o interesse em encurtar a rota pelo Oeste. Ao chegar ao Novo Mundo, ficou convencido que tinha chegado ao Japão, muito perto das Índias fabulosas. O nome

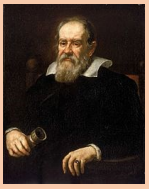
“índios” perdurou até aos dias de hoje para designar os povos aborígenes da América Central.

Sabe-se que Cristovão Colombo já usava a bússola para se orientar em alto-mar, mas antes dele os navegadores da Polinésia, por exemplo, que fizeram inúmeras viagens ao Hawai já se orientavam pelas estrelas, pelas vagas oceânicas regulares e pela comparação do nascer do sol de um dia para o outro, seguindo o mesmo raciocínio do Homem do Neolítico para descobrir o dia do Solstício.

A descoberta da América originou uma reflexão sobre a determinação das coordenadas em alto mar de um modo mais científico. A determinação da latitude não constituía um problema para os navegadores pois bastava determinar a altura da estrela Polar, algo que faziam facilmente com um quadrante ou pela determinação da altura do sol ao meio dia usando um sextante. Observando o sol com o sextante também se podiam calcular as horas. Porém, a determinação da longitude era um problema muito mais complicado.

Em 1553, o astrónomo belga Gemma Frisius, propôs o método para a determinação da longitude em alto mar. A ideia consistia em comparar a hora local no sítio onde o barco se encontrava com a hora do ponto de partida, ou de um meridiano de referência. Mas havia um problema, para comparar a hora local do barco com a hora local do ponto de partida, era necessário inventar um relógio que conseguisse conservar a hora do ponto de partida com grande precisão, não obstante a duração e os incidentes de uma viagem longa.

Relógios de pêndulo



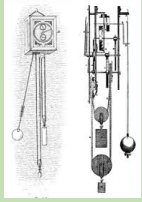
Galileu Galilei
(*1564- †1642)



O escape é um mecanismo que transfere energia ao relógio e que permite que as oscilações sejam contadas.

Horloge Oscillatorum







Em 1657, Huygens modifica o mecanismo de Foliôt regulando o movimento do escape por um pêndulo.

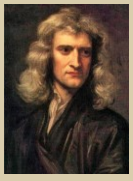
Em 1667, é inventado o relógio com mola espiral dando início à miniaturização dos relógios

Um dia, em 1583, enquanto estava na igreja da Catedral de Pisa, Galileu observava um lustre enquanto ele balançava. A partir de suas observações, testou o efeito do comprimento do arco no período do pêndulo. Galileu descobriu que o tempo que um pêndulo leva para percorrer o seu comprimento do arco e voltar ao seu ponto de partida era o mesmo, independentemente do comprimento do arco. Se o pêndulo fosse libertado de um ponto mais alto, ele viajaria mais rápido e, portanto, levaria o mesmo tempo que um pêndulo libertado de um ponto mais baixo que viaja mais devagar. Ele também descobriu que a única variável que afetou o tempo, conhecida como período, foi o comprimento da corda do pêndulo. O relógio da esquerda foi construído a partir dos desenhos de Galileu e usa o pêndulo como fonte de energia, e não as molas difíceis de calibrar dos relógios anteriores. Se esse relógio for muito rápido ou muito lento, a massa do pêndulo pode ser movida para cima para acelerar ou diminuir a velocidade.

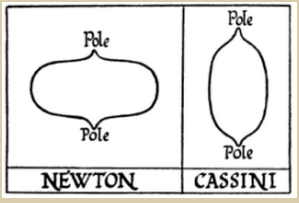
Baseado na experiência de Galileu, Christian Huygens [Oiggins] melhora substancialmente o comportamento dos relógios ao modificar o mecanismo de Foliôt acrescentando-lhe um pêndulo. Para relógios de Foliôt, um erro diário de cerca de 15 minutos era normal, mas com a invenção do relógio de pêndulo isso foi bastante reduzido para apenas alguns minutos por dia.

Relógios de pêndulo na determinação da forma da Terra

- Durante 3 séculos os relógios de pêndulo foram os relógios mais precisos para a conservação do tempo.



Isaac Newton



Principia

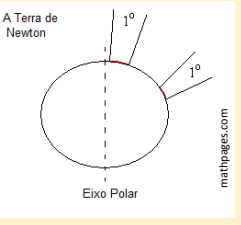


Giovanni Cassini

Vouz avez confirmé dans des lieux pleins d'ennui
Ce que Newton connut sans sortir de chez lui.



Google



Em 1687, Isaac Newton sugere que a Terra é achatada nos polos devido à rotação sobre si própria, como uma bola de massa que ao rodar sobre si própria faz aumentar a região equatorial e aproxima e alisa os polos.
Os esforços dos geógrafos e físicos do século XVII para determinar a forma exata da terra obtiveram um fracasso temporário mas foram bem sucedidos no final.
Durante uma expedição à Guiana Francesa em 1672, o cientista francês Jean Richer, percebeu que um relógio de pêndulo que mantinha a hora exata em Paris marchava mais devagar na América do Sul. Com uma visão brilhante, ele explicou o ritmo mais lento do pêndulo devido à menor intensidade de gravidade perto do equador do que nas latitudes mais altas. A dedução de que a Terra não é uma esfera perfeita, mas um elipsóide achatado nos pólos, apesar de aprovado por Newton, foi posta em dúvida por uma medição incorreta dos Cassinis, que pensavam ter descoberto que os graus do meridiano diminuem de comprimento conforme a pessoa viaja do equador para os polos, o que implicaria que a forma da Terra é um elipsóide alongado, em vez de alisado, nos pólos. Após muita discussão, a Academie des Sciences francesa enviou duas expedições, uma ao equador e a outra ao extremo norte, para fazer novas medições. Enquanto Godin, Bouguer e de la Condamine foram ao Peru para determinar o comprimento de um arco do meridiano, Maupertuis e Clairaut viajaram, com o

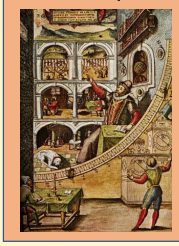
mesmo objetivo, para a Lapônia, no topo do golfo da Bósnia. A descoberta de que um grau de latitude próximo ao equador mede 363.800 pés e que um grau de latitude próximo ao Círculo Ártico mede 367.100 pés finalmente resolveu a questão em favor dos newtonianos e provou o achatamento da terra nos pólos.

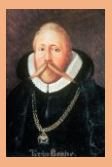
[https://books.google.pt/books?id=U_nCAwAAQBAJ&pg=PA89&lpg=PA89&dq=temporary+failure+and+final+success+geography&source=bl&ots=_xYEu2bVfs&sig=ACfU3U36vlmDHqaD5AHTl88zm2-RSSHdHw&hl=pt-PT&sa=X&ved=2ahUKEwjIrvHTwubpAhVDAGMBHVnECvIQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q=temporary%20failure%20and%20final%20success%20geography&f=false] pág.89

Mais informação em: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Cassini/

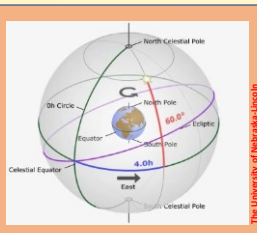
Observações diretas para medir o tempo

Grande Quadrante Meridiano





Tycho Brahe
(*1546-†1601)

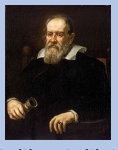


Sistema equatorial

The University of Nebraska-Lincoln



Hans Lippershey
(*1570- †1609)



Galileu Galilei
(*1564- †1642)



Um dos primeiros telescópios de Galileu



Ole Romer



AllanDystrup, ClowdyNights

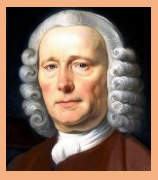
Círculo Meridiano de Ole Romer, 1704
Medição precisa da declinação e da ascensão reta.

O problema da determinação da longitude em alto-mar motivou a compilação de catálogos de estrelas o que impulsionou por sua vez o aperfeiçoamento dos relógios. A produção de catálogos de estrelas envolve a determinação precisa das coordenadas que localizam as estrelas na esfera celeste, ou seja, os ângulos que as estrelas fazem com linhas de referência: ascensão reta na horizontal e declinação na vertical.
Tycho Brahe foi um astrónomo dinamarquês que se dedicou à produção sistemática de catálogos de estrelas conseguindo obter resultados com rigor surpreendente tendo em conta que ainda não existiam telescópios. O instrumento que Tycho Brahe usou ficou conhecido como o Grande Quadrante Meridiano
Sete anos após a morte de Tycho Brahe, o telescópio é inventado na Holanda por Hans Lippershey. Ao saber desta invenção, Galileu Galilei decide usá-lo para observar o céu e descobre que afinal a Via Látea era formada por muitas mais estrelas do que aquelas que se suponham existir.

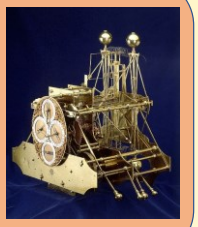
Em 1704, o astrónomo dinamarquês Ole Romer montou um telescópio num instrumento similar ao grande quadrante meridiano, originando o círculo meridiano. Esta invenção expandiu os catálogos de estrelas, tanto em número de páginas como em rigor. A partir desse momento tornou-se possível medir com precisão a longitude e o tempo local em qualquer ponto do globo observando as estrelas catalogadas. Antes da

invenção do relógio atómico, esta era a fonte de tempo preciso mais confiável.

Cronómetro Marítimo



John Harrison
(*1693- †1776)

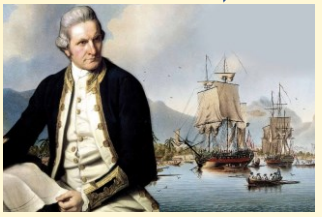


H1, de 1776



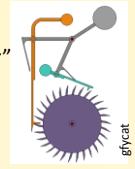


H4



James Cook

Escape de tipo “Grasshopper” (Gafanhoto) desenvolvido por Harrison para o H3 para um movimento suave.



Até ao século XVI, os relógios eram objetos de grandes dimensões, que equipavam as catedrais medievais, e que se atrasavam na ordem dos 15 minutos por dia. Galileu e Huygens tornaram-los mais pequenos e estáveis, mas a ondulação do mar interferia inevitavelmente com o movimento do pêndulo, tornando-o inviável para aplicações marítimas. Muitas vezes os relógios chegavam até a parar, para horror dos marinheiros que se viam assim perdidos na imensidão do oceano.

Após um grande naufrágio em 1707, em que se perderam 2000 homens, o Painel da Longitude do Reino Unido estabeleceu um prémio equivalente a 5 milhões de euros, a ser atribuído a quem conseguisse determinar a longitude em alto-mar com um erro inferior a 56 milhas. O principio teórico assentava em comparar a hora da embarcação com a hora dum ponto de partida ou meridiano de referência, sabendo que o sol viaja no céu a 15 graus por hora, mas faltava o mecanismo capaz de conservar a hora do ponto de partida a bordo dos grandes navios.

Em meados da década de 1720, John Harrison, carpinteiro de profissão, projetou uma série de relógios que atingiam uma precisão de um segundo num mês. O primeiro relógio foi o H1, imensamente mais preciso do que qualquer outro relógio da época,

embora muito complicado e delicado demais para a maioria dos usos. Harrison construiu mais dois relógios empregando diversos melhoramentos de sua autoria : o H2 e o H3. No entanto, nenhum dos 3 relógios se revelou suficientemente bom para o Painel.

No relógio H4 Harrison resolveu três fontes de imprecisão dos relógios anteriores. Primeiro que a mola se altera com a temperatura; Segundo, que as molas tendem a perder elasticidade à medida que endurecem; e terceiro, que os relógios paravam quando se lhes dava corda. As suas soluções para os dois primeiros desses problemas tornaram-se o seu legado. Atualmente, formam parte de qualquer relógio. O relógio H4 é muito diferente dos anteriores principalmente por causa do seu tamanho parecendo mais um relógio de bolso. Isto deve-se ao facto de que Harrison percebeu que quando a mola se movia muito rapidamente o relógio conservava a sua energia por muito mais tempo. Então, Harrison abandonou a construção de relógios grandes e concentrou-se na sua miniaturização. Em vez de um pêndulo que oscila, Harrison pôs a caixa do relógio a oscilar.
Para testar os seus relógios, Harrison construiu no seu quintal, nada mais nada menos, que um círculo meridiano o que lhe permitia avaliar a marcha dos relógios durante vários dias, esperando pelo aparecimento do sol em dias sucessivos, bem como observando estrelas à noite consultando tabelas com as horas que as estrelas deviam passar. Esta metodologia permite-nos compreender as noções de determinação e conservação da hora. A observação do movimento dos astros permite-nos determinar a hora quando estes são visíveis, os sistemas de contagem de intervalo de tempo permitem-nos complementar a informação. Assim, tal como na Antiguidade o relógio de Sol determinava a hora e a clepsidra “conservava-a”, nos últimos três séculos, os círculos meridianos determinaram a hora e os relógios mecânicos conservaram-na.

https://momentousbritain.com/go/John_Harrison

Foto Harrison: https://www.elperiodico.com/es/ciencia/20180403/john-harrison-6730567
Foto cronómetro: https://www.orologiecronografi.com/john-harrison-creatore-del-cronometro-marino-15808.html

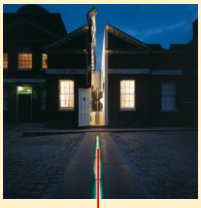
O meridiano de Greenwich





National Maritime Museum





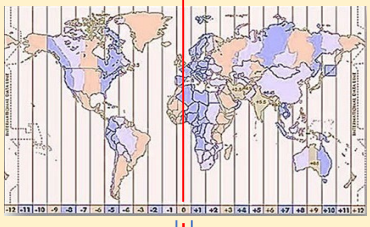


Conferência de Washington, 1884, definiu o meridiano que passa em Greenwich como meridiano de referência.

Círculo Meridiano de Airy, Observatório de Greenwich, marca a posição do meridiano de referência

Meridiano é uma linha imaginária centrada no fuso horário

Fuso horário, teoricamente, é uma **região de 15° de largura** onde a hora local é a mesma. Algumas parcerias comerciais tornaram desejável adotar a hora dos países vizinhos.



Linha de mudança de data



Antigamente a hora certa era um bem escasso.

Sabem quando é que passou a ser necessário coordenar o tempo entre cidades e países?
Durante a segunda metade do século XIX, cada grande cidade dos EUA tinha a sua hora certa. Um viajante que apanhasse o comboio na costa Oeste para a costa Leste iria acertar o seu relógio mais de 20 vezes se quisesse saber a hora em todas as paragens. Para tornar os horários dos comboios mais compreensíveis, o governo decidiu criar zonas no mapa cuja largura era de 15 graus de longitude. Os fusos horários foram estendidos ao resto do mundo após a conferência de Washington de 1884 tendo como referência o meridiano que passa no centro do círculo meridiano principal do Observatório de Greenwich.

A posição do meridiano de Greenwich foi definida em 1856 usando um conjunto de "estrelas relógio", estrelas que pela sua proximidade ao polo celeste nunca desaparecem no horizonte. Para as observar, os astrónomos utilizaram um círculo meridiano nivelado por mercúrio e a gravidade local. Apesar do cálculo ter sido bastante preciso naquela altura, é bastante menos do que os sistemas de

posicionamento global (GPS) isto porque as formas tradicionais de medir a longitude, baseadas em medições à superfície, dependem dos sítios onde são feitas. Por um lado, porque a Terra não é perfeitamente redonda, por outro, porque a variedade dos tipos de terreno e elevações condicionam a força da gravidade. As medições por GPS concluíram que a posição do meridiano de Greenwich afinal passa 102 metros a este do que foi anteriormente definido, não que isso interfira na sua utilidade real hoje em dia porque o que interessa é a referência.
Porquê Greenwich? Escolheu-se Greenwich como meridiano de referência por duas razões. Por um lado, os EUA já usavam Greenwich como base para o seu sistema de zonas a nível nacional. Em segundo lugar, no final do século XIX, 72% do comércio mundial dependia de cartas marítimas que usavam Greenwich como meridiano de referência.
https://observador.pt/2015/08/17/afinal-meridiano-greenwich-passa-um-bocado-ao-lado/

A convenção dos fusos horários só foi aplicada em Portugal em 1912. A partir de 1 janeiro desse ano, a hora em Portugal, deixou de ser local (dada pelo meridiano de Lisboa) e passou a ser coordenada com as 00 horas do fuso horário de Greenwich. À meia noite de 1 de janeiro de 1912 a Hora Portuguesa foi adiantada de 36 minutos e 44.68 segundos, a diferença entre longitudes dos meridianos de Lisboa e de Greenwich.
http://oal.ul.pt/hora-legal/legislacao-sobre-a-hora-legal/

Algumas curiosidades sobre as horas:
Atualmente, existem 24 zonas horários. A zona zero está centrada numa linha norte-sul que passa em Greenwich. As zonas a Este de Greenwich estão adiantadas e as zonas a Oeste estão atrasadas – uma hora de diferença para cada zona. Alguns casos curiosos: Qual é o país que tem mais diferença horária entre o extremo Este e o Oeste? É a França que tem mais regiões horárias, 12, devido aos seus territórios ultramarinos, seguida da Rússia com 11 fusos horários consecutivos e os EUA também com 11 por causa do Havai.
Há também a linha de mudança de data, no Oceano Pacífico. Quando se atravessa essa linha de Leste para Oeste, isto é, quando se viaja dos EUA para o Japão, tem que se acrescentar um dia ao calendário. Recordemo-nos que Sydney é a primeira grande cidade a entrar no Novo Ano. Quando no Porto são 11:59 do dia 21/11, a Este da linha de mudança da data ainda são 23:59 horas do dia 20/11 e a Oeste são 23:59 horas do dia 21/11.
A linha internacional da data já teve algumas alterações. As ilhas Samoa, por exemplo, estiveram a Oeste da IDL até 1892 quando o país adotou a hora americana (três horas menos que a Califórnia substituindo a hora asiática (4 horas à frente do Japão). Em 2011, as ilhas Samoa passaram novamente para o lado oeste uma vez que a Austrália e a Nova Zelândia se tornaram ao longo do tempo nos seus maiores parceiros comerciais. O facto de estarem 21 horas atrás tinha como consequência só terem 4 dias de trabalho

em comum.

Relógios de Pêndulo de Precisão



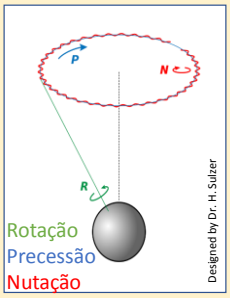
W. H. Shortt
(1881-1971)

Relógio Clemens Riefler
Precisão 0,02 – 0,04 seg/dia













Nutação -> 0,003 segundos/dia => Relógio preciso a pelo menos 1 segundo/ano



Com o advento da eletricidade no final do século XIX, os relógios de pêndulo deixaram de ser puramente mecânicos para se transformarem em máquinas elétricas de conservação de tempo de verdadeira precisão. Clemens Riefler foi o primeiro fabricante a introduzir no mercado um relógio de pêndulo regulado eletricamente. Para reduzir o atrito do ar com o movimento do pêndulo, todo o relógio funcionava dentro de um cilindro de vidro em vácuo com a quantidade de ar certa para que a presença das moléculas de ar não afetassem o seu movimento (Isto já se fazia no século XIX!). Para que o relógio mantivesse a sua marcha à frequência de 1 Hz (um vai vem a cada 2 segundos) a cada 30 segundos o pêndulo era excitado por um sinal elétrico que se convertia em impulso mecânico, um empurrãozinho, conseguindo uma precisão de 10 milissegundos por dia. Os reguladores Clemens Riefler foram usados como padrão de tempo dos Estados Unidos entre 1904 e 1929. O relógio de Riefler ficaria conhecido como o relógio do pêndulo quase livre porque a transmissão entre o pêndulo e os ponteiros era mecânica que provoca o atraso inevitável do relógio. Este problema seria eliminado relógio de pêndulo completamente livre Shortt.

O Relógio de pêndulo Livre Shortt considerado o relógio de pêndulo mais preciso já fabricado, mudou toda a filosofia da manutenção do tempo. O relógio Shortt foi inventado pelo engenheiro rodoviário inglês William Harrison Shortt e foi patenteado

em setembro de 1921.

O relógio Shortt é inspirado no princípio dos relógios Riefler mas é composto não por um, mas por dois pêndulos ligados entre si eletricamente. Tal como no relógio Riefler, existe um pêndulo, a que se chama mestre, que se encontra fechado num tanque de cobre em vácuo por forma a reduzir o arrasto aerodinâmico e eliminando variações no ritmo do relógio devido a mudanças na pressão atmosférica. O pêndulo marcha livre de quaisquer acessórios mecânicos sendo que a única perturbação no pêndulo livre é um impulso mínimo aplicado a cada 30 segundos para mantê-lo em funcionamento. O relógio do pêndulo escravo está alojado numa caixa de madeira e é sincronizado com o pêndulo mestre (livre). O relógio escravo é um relógio Synchronome modificado que controla o tempo e produz os impulsos elétricos quando deteta um atraso em relação ao mestre superior a 0,9 segundos. Quando foi inventado, tornou-se famoso por se atrasar apenas 1 segundo por ano. No entanto, em 1985, comparou-se o seu funcionamento tendo como referência o relógio atómico e concluiu-se que era muito melhor do que isso. Afinal, atrasava-se 1 segundo a cada 12 anos.

Com o advento de relógios de pêndulo regulados eletricamente foi possível detetar variações de período muito curto no movimento de rotação da Terra. Como os romanos perceberam por volta do segundo século depois de Cristo, as estações vão regredindo ao longo do ano e por isso tiveram que ajustar o calendário com as estações. Ora, esse movimento de retrocesso das estações, que é um fenómeno muito lento, acontece porque o eixo de rotação da Terra que está inclinado a 23,5 graus com o plano dos planetas roda em torno de outro eixo perpendicular ao plano dos planetas formando um cone. Cada volta deste movimento dura 27 mil anos. O que os relógios de pêndulo livre permitiram descobrir é que afinal a precessão, ou seja, a regressão das estações, não é um movimento linear mas sim ondulatório como se a Terra se movesse aos solavancos ao longo desses 27 mil anos. Esses solavancos foram medidos com a precisão dos relógios Shortt e em 1927 o observatório de Greenwich determinou que isso se devia à influência do campo gravítico da Lua, do Sol e dos outros planetas do sistema solar, cada um a puxar a Terra para si à medida que a Terra viaja pelo sistema solar. Os efeitos da nutação, como é designado este fenómeno, atingem no máximo 3 milésimos de segundo por dia, ou 1 segundo por ano, o que é indicativo da qualidade do relógio. Os relógios finalmente haviam ultrapassado a rotação da Terra em precisão e estabilidade. O relógio Shortt despoletou uma revolução que acabaria por levar os relógios atômicos a substituir as observações astronómicas como o padrão de cronometragem.

Os relógios Shortt tornaram-se os principais cronómetros em todo o mundo até serem substituídos por relógios de quartzo na década de 1940. Eles foram usados em muitos observatórios, incluindo o Observatório de Greenwich, de 1925 a 1945, e o Observatório Naval dos Estados Unidos, de 1930 a 1946.

[http://www.clockvault.com/heritage/]

O Círculo Meridiano de Espelho



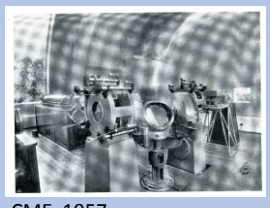
Prof. Manuel de Barros
(1908 – 1971)



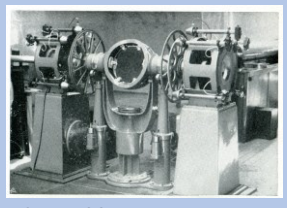
Observatório Astronómico em 1948



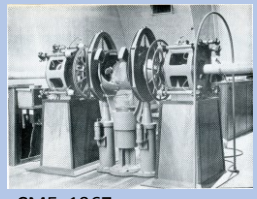
O Círculo Meridiano de Espelho do Porto foi o primeiro instrumento deste género a ser construído no mundo



CME, 1957



CME, 1964



CME, 1967

E chegamos ao ponto em que este observatório astronómico e este instrumento foram construídos. Encontramo-nos no final da década de 1940 e, tradicionalmente, o papel dos observatórios centrava-se na determinação, conservação e disseminação da hora pelo território. Para executarem estas tarefas, os observatórios contavam com um grande quadro de pessoal que operava os círculos meridianos, as pêndulas e a telefonia sem fios para divulgar a hora. Um dos instrumentos indispensáveis nos observatórios astronómicos desde pelo menos há 3 séculos eram os círculos meridianos, amplamente estudados quanto às suas potencialidades e limitações.

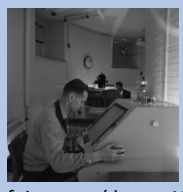
O aparecimento dos relógios de precisão tipo Shortt 20 anos antes, produzira dois efeitos junto da comunidade científica. Por um lado tornou aparente que a Terra tinha um movimento mais errático do que aquilo que se pensava; por outro, fez notar alguns erros caraterísticos dos círculos meridianos existentes, que se vinham a tornar cada vez maiores à medida que os relógios iam evoluindo. O busílis da questão encontra-se no facto de que estrelas mais longínquas movem-se menos em relação ao resto. Como se movem menos, a cronometragem da sua passagem sucessiva permite obter melhores resultados no cálculo da hora. No entanto por se encontrarem mais longe são necessárias objetivas cada vez maiores tornando o tubo ótico mais pesado. Quanto mais pesado o tubo, mais ele se deforma, logo maiores os erros. Este efeito contrário ao esperado motivou os astrónomos a procurar alternativas aos instrumentos clássicos.

A construção do círculo meridiano de espelho vem precisamente no sentido de eliminar a flexão dos círculos meridianos clássicos, ao substituir a luneta por um espelho rotativo central que encaminha a luz para uma luneta fixa. Ao contrário dos círculos meridianos clássicos em que se podia orientar o tubo para qualquer dos hemisférios, neste caso, são necessários dois tubos para observar os dois lados do céu.

Apesar do cálculo da hora ser conceptualmente relativamente simples, na prática a tarefa reveste-se de uma série de dificuldades que os avanços tecnológicos vieram a simplificar. Na altura em que o Círculo Meridiano de Espelho foi construído todos os sistemas elétricos funcionavam a válvulas e não havia computadores. Como tal, todo o trabalho de preparação das observações tinha que ser feito à mão. O mesmo acontecia com os cálculos posteriores à observação: a aplicação das fórmulas, o cálculo dos erros, as médias, etc. A determinação da hora é baseada na observação da passagem pelo meridiano local de um conjunto de estrelas muito brilhantes chamadas estrelas-relógio, cujas posições foram determinadas com grande precisão ao longo de séculos. Quando foi construído, este instrumento conseguia determinar a hora ao centésimo do segundo.

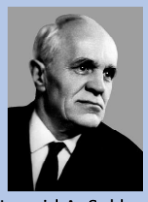
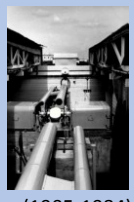
Círculos Meridianos de Espelho no mundo



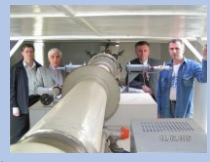
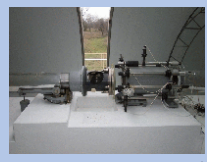





O círculo meridiano de Ottawa, Canadá, foi construído em 1961 por George Brealey (de bata branca) com a assistência de Manuel de Barros (Crédito: RASC)


Leonid A. Sukharev (1905-1984) foi o constructor do círculo meridiano de espelho de Pulkovo, Rússia.

Círculo Meridiano Horizontal, Obs. Nikolaiev, Ucrânia. Os construtores: Yu. Protsyuk, G. Pinigin, A. Shulga, A. Kovalchuk

Só foram construídos mais dois instrumentos como este em todo o mundo: um no Canadá, no observatório Dominion em Ottawa e outro no observatório de Pulkovo na União Soviética.

Discurso para a sequência superior de imagens:

A operação do instrumento complexo durante as observações noturnas é realizada neste painel de controle remoto protegido, para que o calor do corpo do astrónomo não perturbe o funcionamento delicado.
O telescópio de tipo revolucionário está alojado num edifício branco em forma de cruz. O Observatório Dominion, em Ottawa, está em segundo plano.
Os dados da posição da estrela registados pelo círculo meridiano de espelho são posteriormente gravados na máquina e depois transferidos para cartões perfurados.
Malcolm Thomson, refletido no espelho de quartzo fundido, conversa com o designer do telescópio, George Brealey.
Engenheiros-astrônomos ajustam o telescópio norte. As seções do abrigo fecham com o toque de um botão.
Malcolm Thomson, chefe de astronomia posicional, observa através de um dos muitos dispositivos de gravação no telescópio.

Discurso sobre a sequência inferior:

Leonid A. Sukharev (1905-1984) foi o constructor do círculo meridiano de espelho do observatório central da academia de ciencias russa em Pulkovo, São Petersburgo.
O círculo meridiano de espelho no alinhamento norte sul.
O grupo de trabalho conjunto do círculo meridiano de espelho com membros dos observatórios de Kazan e de Pulkovo.

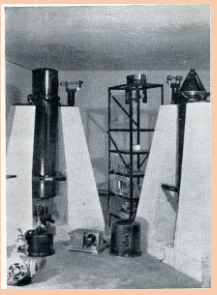
Os conhecimentos técnicos adquiridos por este programa seriam usados no projeto dos círculo meridiano horizontal construído na Ucrânia que ficou a funcionar até 2009.

Leonid A. Sukharev (1905-1984) foi o constructor do círculo meridiano de espelho de Pulkovo.

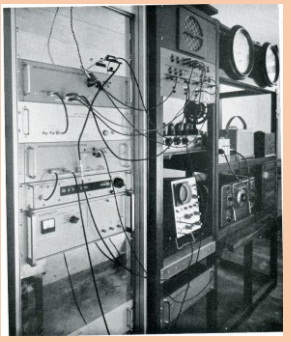
Conservação da hora no OAUP



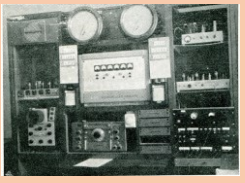
Dr. Rogério Nunes
(1920 – 1999)



Vista parcial da sala das pêndulas em 1958 (Anais do OAUP)



Relógio de quartzo na sala da hora 1972



Vista parcial da sala da hora em 1958.

No observatório em que estamos também a conservação da hora era uma necessidade premente e à imagem dos outros As pêndulas existentes na sala da hora do observatório foram cá construídas por Rogério Nunes Em plena construção do CME, Manuel G. Pereira de Barros contactou a prestigiada firma inglesa The Synchronome Company para a aquisição de duas pêndulas astronómicas tipo Shortt. O orçamento apresentado foi de £1700 libras por cada pêndula. Adicionalmente, dado o carácter particular da encomenda, o prazo de entrega nunca seria inferior a 30 meses. A alternativa foi o estudo e construção, no Observatório, de duas pêndulas astronómicas, adaptando quando possível partes de outros relógios já existentes. Esta tarefa ficou a cargo do Dr. Rogério Nunes, o pai da Informática em Portugal. [https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/124929/2/371593.pdf]

Seguindo a filosofia dos relógios Shortt, Rogério Nunes e Manuel de Barros construíram dois relógios em câmaras de vácuo. Tal como no relógio Shortt também os relógios aqui construídos eram excitados regularmente com um impulso elétrico para manterem a sua marcha. O relógio não tinha um mostrador mas sim vários que se encontravam distribuídos pelos abrigos em que se faziam observações. A cadência do segundo era

distribuída por cabo elétrico mas a hora tinha que ser acertada manualmente. Para tal, usa-se o cronómetro Nardin que se acertava eletricamente ligando-o ao relógio central e de seguida transportado-o cuidadosamente até cada abrigo para acertar o mostrador antes das observações. A isto chamava-se “vou levar a hora”!

A partir dos anos 1970 foi possível adquirir um relógio de quartzo. Em termos de estabilidade, o relógio de quartzo era 10 vezes superior.

Padrões de tempo

Os padrões de tempo são dados pela cadência de máquinas, a que vulgarmente chamamos relógios. Na verdade, a parte importante de um relógio é o regulador. Os padrões de tempo foram:

- Desde 1921, pelo regulador Shortt: o último padrão de tempo baseado num regulador de pêndulo. Atrasava-se 1 segundo por ano e foi usado até 1947.
- Regulador de quartzo até 1960 (1 segundo a cada 7 anos);
- Regulador atómico desde 1960 (1 segundo a cada 2,7 milhões de anos)



Tipo	Q
Relógio de Foliôt	1.000 (10^3)
Relógio Riefler	25.000
Relógio Shortt	110.000
Relógio de quartzo	10^5 - 10^6
Relógio de Rubídio	10^6
Relógio de Césio	10^7 – 10^8
Maser de Hidrogénio	10^9

O aparecimento dos relógios regulados eletricamente tornou evidente que a Terra possuía um movimento mais errático do que aquilo que se pensava. Durante muito tempo, o sol e as estrelas serviram de referência à marcha dos relógios. Em qualquer altura, o astrónomo-observador podia acertar as horas do relógio tendo em conta a posição das estrelas no meridiano. Os relógios mecânicos não permitiam perceber se os atrasos que se observavam se deviam à mecânica dos relógios ou a irregularidades no movimento da Terra e por isso era necessário manter observações regulares para manter os relógios acertados. À medida que a tecnologia foi evoluindo também a definição de segundo se alterou para acomodar o movimento irregular da Terra. Até 1956, o segundo de tempo era definido em função do dia solar médio, ou seja, da média dos tempos que decorrem entre dois aparecimentos sucessivos do sol num círculo meridiano ao longo do ano. Um segundo era a duração do dia solar médio a dividir por 86400, pois teoricamente existem 86400 segundos num dia apesar de já se saber que os dias não têm a mesma duração devido à trajetória elítica da Terra. Esta duração diferente dos dias pode ser cronometrada pela passagem das estrelas que se encontra muito mais longe do que o sol e fornecem uma referência muito mais estável. Com o aparecimento dos primeiros relógios eletrónicos, como o relógio de quartzo, os desvios entre o comportamento da Terra contra o fundo de estrelas e a cadência do segundo dado pelas relógios tornou-se novamente evidente, o que forçou a uma

diluição dos erros numa definição do segundo tendo em conta um período maior. No interregno de 11 anos, entre 1956 e 1967, a definição de segundo era baseada na duração do ano tropical de 1900 a dividir por 31 milhões, 556 mil, 925 vírgula 9747, e era chamado de segundo de efeméride. Esta escala de tempo estranha reflete a tentativa de sincronizar a escala de tempo astronómica com a escala de tempo atómica, algo que não resultou muito bem porque se percebeu que a Terra se atrasava sistematicamente. Para a história ficou a ideia de "segundos de borracha", que se esticavam para ir ao encontro da escala astronómica na qual os segundos eram maiores…

Em 1967 adotou-se uma definição de segundo bastante diferente. O segundo passou a ser baseado unicamente e exclusivamente na cadência dada pelo relógio atómico. A partir deste ano o segundo passou a ser definido como "o tempo de duração de 9.192.631.770 vibrações da radiação emitida pela transição eletrónica entre os níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133". A definição do segundo estabelece a definição da escala de tempo, ou seja, a que equivale a duração de um segundo em fenómenos do mundo real.

A capacidade que um relógio tem em conservar a sua energia ao longo do tempo é uma medida da sua qualidade, a que se deu o nome de factor Q. Quanto mais elevado o factor Q, mais estável é o relógio.
Como vimos, primeiro apareceram os relógios de sol que eram mais do que suficientes para as atividades humanas na Antiguidade. Mais tarde apareceram os relógios mecânicos de água que davam as horas, depois os relógios de Foliôt que já mostravam as horas e os minutos, depois os relógios de pêndulo com precisão de 1 segundo por mês e os tipo Shortt com precisão de 1 segundo por ano.
No campo dos relógios eletrónicos, primeiro apareceu o relógio de quartzo que serviu de padrão de tempo até 1960 e que tinha uma precisão de 1 segundo a cada 7 anos. Em 1960, apareceu o relógio atómico que se atrasava apenas 1 segundo em aproximadamente 2,7 milhões de anos, sendo adotado como padrão de tempo.

Tempo Atómico Internacional

1 s = o tempo de duração de 9.192.631.770 vibrações da radiação emitida pela transição eletrónica entre os níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133".

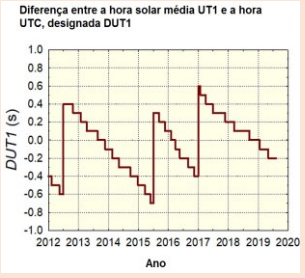




Relógio atómico CS-2 do laboratório PTB (Precisão 1 segundo em 2 milhões de anos)



Rede de relógios atómicos dispersa pelo mundo (BIPM)

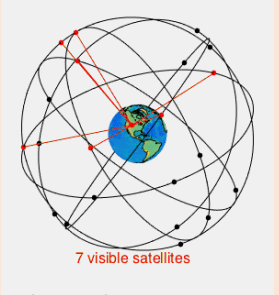


Hoje em dia, o padrão de tempo chama-se **Tempo Atómico Internacional** e é definido por 400 relógios atómicos pertencentes a mais de 80 laboratórios diferentes espalhados pelo mundo. Em conjunto têm uma precisão de um segundo em 14 biliões de anos.

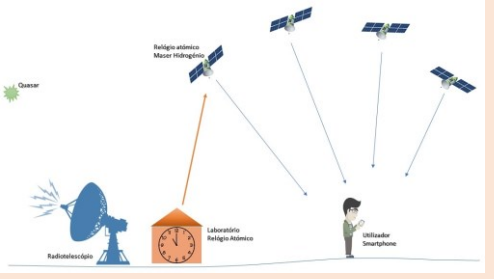
Porém estes relógios são apenas máquinas que não refletem por si só a posição da Terra em relação ao Sol. A hora solar média, aquela que usamos no dia a dia, é a hora UTC, que é definida a partir do tempo atómico internacional, ao qual é adicionado um segundo sempre que as irregularidades dos movimentos da Terra em relação às estrelas somem 0,9 segundos. Esses segundos extra, que refletem o afastamento da Terra em relação a um movimento uniforme continuam a ser determinados por técnicas astronómicas. No gráfico seguinte podem-se ver essas diferenças ao longo dos anos.

https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-442.html

Métodos modernos de determinação da hora



Os satélites visíveis no Colorado, USA
(Crédito:Paulsava/WikiCommons)



Crédito: Américo Magalhães/OAUP

Como vimos, a definição de segundo alterou-se de forma paradigmático no último século. Passou-se do segundo puramente astronómico, para um segundo elástico que tentava sincronizar a escala astronómica com a escala atómica até que finalmente se definiu o segundo, como tendo uma duração fixa, excluindo-se aqui os efeitos devidos à teoria da relatividade. Pela teoria da relatividade de Einstein, o ritmo de um relógio está intimamente relacionado com a velocidade a que o relógio se desloca. Porém, como estamos a analisar a determinação da hora à superfície do planeta e o observador se encontra também à superfície do planeta, a velocidade de um em relação ao outro é negligenciável e os efeitos da teoria da relatividade não se manifestam. Podemos considerar portanto o segundo como uma quantidade fixa.

Atualmente, o método para determinar a hora é um método misto assente na sucessão de segundos dados pelo relógio atómico e corrigida em relação à posição da Terra no Universo. Esta correção é necessária porque o movimento de rotação da Terra tem vindo a desacelerar. Se a Terra rodasse a velocidade uniforme bastava-nos determinar a hora uma vez e pedir ao relógio atómico que a conservasse à velocidade certa, mas infelizmente não é o caso.
Mas como se processa tudo isto?

No final da década de 1950, os astrónomos descobriram um conjunto de corpos celestes muito parecidos com estrelas cujas posições variavam muito pouco em relação às estrelas da sua vizinhança. Estes objetos celestes de aparência quase estelar, que emitiam fundamentalmente como fontes de rádio, ficaram conhecidos como quasares. Mais tarde percebeu-se que os quasares são aglomerados super densos e super brilhantes de galáxias nos confins do Universo. Pela teoria da expansão do Universo de Edwin Hubble, os quasares são dos objetos que se movem mais depressa do Universo. Porém esse movimento dá-se na linha de vista e no plano das estrelas eles parecem parados. Pelo facto de quase não se moverem no plano das estrelas, estes objetos tornaram-se ideias para servir como pontos de referência na medição do movimento da Terra em relação ao universo. Assim, tal como as estrelas-relógio deram o lugar aos quasares como astros de referência, também os círculos meridianos deixaram de ser utilizados para serem substituídos pelos radiotelescópios como instrumentos na determinação precisa da hora. Ora como os quasares podiam ser considerados como pontos fixos no Universo, as únicas irregularidades observáveis eram devidas ao movimento irregular da Terra. Baseado neste pressuposto, construiu-se a escala de tempo que utilizamos atualmente nos nossos telemóveis e computadores. Esta nova escala, tempo universal coordenado, resulta da comparação do movimento de rotação irregular da Terra (escala de tempo universal, ex-GMT) com o ritmo regular dos relógios atómicos (escala de tempo atómico). Tecnicamente, estamos a comparar a escala astronómica com a escala atómica, acrescentando 1 segundo cada vez que a diferença totaliza 0,9 segundos. Desde 1967 já se adicionaram 32 segundos sinal de que a Terra tem vindo a desacelerar o seu movimento.

Esperamos com isto desmistificar um pouco a função dos relógios atómicos. Os relógios atómicos são máquinas que não reproduzem a natureza. Para isso continua a ser necessário observar as estrelas para que de forma sistemática se possa manter a hora civil acertada.

Atualmente qualquer dispositivo móvel tem acesso à hora certa e esse sinal é fornecido pelos satélites em órbita. A bordo de cada satélite existe pelos menos um relógio atómico com a precisão de 1 segundo a cada 14 biliões de anos. A função destes relógios é cronometrar o tempo que a mensagem de tempo lhe demorou chegar desde o laboratório da hora na Terra, para a seguir determinar quanto tempo vai demorar a chegar ao utilizador. O funcionamento contínuo da ligação entre o laboratório da hora, satélite e utilizador, multiplicado pelos vários satélites em órbita permite uma precisão de tempo da ordem dos 40 nanossegundos apesar desse facto nos ser impercetível. Sim, essa é precisão que nós conseguimos obter com os nossos telemóveis. A rede de satélites que usamos para ter a hora nos telemóveis é a mesma que usamos quando precisamos do Google Maps ou outro programa de navegação: é a rede de satélites responsável pelo posicionamento global também conhecido por GPS. A Europa encontra-se a ultimar o seu próprio sistema neste momento. O mesmo sistema que nos

dá a hora com aquela precisão incrível permite-nos obter a nossa localização com uma precisão de 70 centímetros. Se considerarmos que os satélites se encontram a 20 mil km de altitude e que as mensagens são enviadas para os satélites à velocidade da luz (299 mil km por segundo), cada mensagem demora cerca de 0,13 segundos a chegar ao satélite. Por cada microssegundo de erro na duração da transmissão, a precisão aumenta logo para os 300 metros. Desta forma compreendemos melhor a importância de ter relógios de elevada estabilidade nos satélites e como isso está relacionado com uma distribuição eficaz da hora certa utilizando métodos modernos. [https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/]

ANEXO I

Magslip Data Catalogue

SERVO AND ELECTRONIC SALES LTD.,
1, HOPTON PARADE, Telephone: STReatham
STREATHAM HIGH ROAD, 6165
LONDON, S.W.16.

The general arrangement of our catalogue is as follows:

Page M.D.1 onwards .....Magslip Data
S.D.1 onwards.....Selsyn Data
R.M.D.1 onwards.....Repeater Motor Data
P.L.1 onwards.....Synchro and Repeater Prices
R.P.C.S.1 & 2.....Position Control Instrument Servo
E.H.D.1.....Electrohydraulic Servo Unit
P.C.U.1.....Polar Co-ordinate Plotter Unit
A.G.S.1 & 2.....Automatic Gyro Stabiliser
S.M.D.1.....Instrument Servomotor Data
T.A.D.1.....Torque Amplifier Data
H.S.D.1.....Reversible A.C.Servomotor Data
B.P.1.....Ball and Plate Integrator Data
V.D.1 onwards.....Velodyne Motor Generator Data
A.D.1 onwards.....Amplidyne Motor Generator Data
W.F.G.1.....Waveform Generator Data
S.C.P.1.....Sine-Cosine Potentiometer Data
I.D.1 & 2.....Ipot Data
M.A.1 onwards.....Magslip Hardware & Computing Assemblies
M.I.D.1 onwards.....Miscellaneous Items

Alphabetical Index

A.C. Potentiometer	M.D.3
Amplidyne Motor Generators	A.D.1&2
Analogue/Digital Converters	R.M.D.2
Automatic Gyro Stabiliser Equipt.	A.G.S.1&2
Ball and Plate Integrators	B.P.1
Cable, Magslip	M.A.1
Capacitors	M.I.D.3
Chokes	M.I.D.1
Clamping Rings, Magslip	M.A.1
Coincidence Transmitters	M.D.1&2,4&5
Computation, Electrical	M.D.3
Control Transformers, see Coindce. Txs.	M.D.1&2,4&5
Differentials	M.A.7
Differential, Magslip Operation	M.D.3
Differential Transmitter, see F.T.Tx.	M.D.1,3,4&6
Digital Counters, Remote	R.M.D.1
Electrohydraulic Servo Power Unit	E.H.D.1
Follow Through Transmitters	M.D.1,3,4&6
Gears	M.A.2-13
Handles, Magslip Transmitter	M.A.4
Hunters, Magslip	M.D.1-5
Induction Generators	M.D.4
Integrators, Ball and Plate	B.P.1
Ipots	I.D.1&2
Lead Screws	M.A.11
Magslips	M.D.1-8
Motors, Magslip	M.D.1,4,6-8,M.A.13
Mountings, Magslip	M.D.3,M.A.1,8.
M-Type Transmission	R.M.D.1&2

Phasing Mountings, Magslip	M.A.1
Pointers, Magslip	M.A.2
Polar Co-ordinate Plotter Unit	P.C.U.1
Position Control Instrument Servo	R.P.C.S.1&2
Potentiometers	M.I.D.2
Potentiometers, Inductive	I.D.1-2
Potentiometers, Sine-Cosine	S.C.P.1
Receivers, Magslip	M.D.1, 3-4
Receivers, Mountings for	M.A.6,12,14
Repeater Motors	R.M.D.1&2
Resolvers, Magslip	M.D.1, 3-6
Resolvers, Mechanical	M.A.11
Scales, Magslip	M.A.3,4,8
Screening Magslips	M.D.3, M.A.2
Selsyns	S.D.1&2
Servomotors A.C.	H.S.D.1
Servomotors, 2 phase	M.D.4,7&8
Servomotors, Instrument	S.M.D.1
Servomotors, Split Field	V.D.1&2
Sine-Cosine Potentiometers	S.C.P.1
Sine-Cosine Resolvers	M.D.1, 3-6
Synchronous Link	M.D.2,S.D.1&2
Thyratrons	M.I.D.2
Torque Amplifiers	T.A.D.1
Transformers	M.I.D.1
Transmitters, Magslip	M.D.1-6
Transmitters, Mountings for	M.A.8,12
Two phase Servomotors	
Variable Frequency Source	M.D.3,W.F.G.1
Variable Phase Source	M.D.3
Velodyne Motor Generators	V.D.1&2
Vernier Scale	M.A.8
Waveform Generators	W.F.G.1

TERMS AND CONDITIONS OF SALE

1. All prices are subject to variation without notice.
2. All equipment is covered by our unconditional guarantee but any items must be returned for credit within one calendar month of receipt by the customer.
3. Inclusion of any item in our catalogue does not imply an undertaking to supply.
4. Every precaution has been taken to ensure the accuracy of description of items in our catalogue but we disclaim all responsibility for loss or damages of any kind, incurred by any party whatsoever, whether caused directly or indirectly by such information or by failure of any apparatus supplied by us.
5. On Home Orders, carriage is extra on all ordersof less than £25. 0. 0. in value; packing cases and containers are returnable; settlement is nett monthly or 3¾% discount for payment within 7 days of date of invoice
6. On Export Orders, shipping and customs formalities are dealt with by our shipping agents and are invoicedby them direct; F.O.B. charges are paid for orders over £25. 0. 0. in value; Packing is charged extra at cost; settlement by sight draft or as agreed.

OVERSEAS REPRESENTATIVES:-

Australia:R.J.T.Payne Pty Ltd. Richmond, Victoria.
France:G.Tranchant & Cy., 4 Avenue de l'Opera, Paris,1er.
India:The Scientific Instrument Co. Ltd.,Calcutta,1.
Sweden:Herbert Lembcke, Disponentgatan 3, Stockholm, K.

Dúvidas: wound rotor
synchronos / as-
Coincidence transmitter
flying leads

MAGSLIP DATA

Magslips comprise a family of electrical devices which have been developed over the last twenty five years by the Admiralty Research Laboratory in collaboration with several prominent electrical manufacturers. The name originated from the term MAGnetic SLIP rings which was a characteristic of early designs and which is still the principle upon which the Magslip Receiver operates. Most other types of Magslip consist of a wound rotor and stator the type of winding depending upon the duties which the element is to be called upon to perform, connection to the rotor being made via slip rings and brushes, flying leads or ligaments. Magslips have been grouped for the purposes of manufacture into two sizes two inch and three inch; a recent development is the one and a half inch type.

The following are the functional groups into which Magslips may be divided:-

Transmitters: available in 2 and 3 inch sizes. Have single phase rotor and three phase stator. Normally fitted with slip rings but types intended for restricted rotation with low friction fitted with flying leads or ligaments. Some types wound with H form rotor giving increased torque.

Receivers: available only in 2 inch size as only function to operate a light pointer or disc. Operation depends upon alignment of a vane of magnetic material in the field set up between energised "rotor" and three phase stator winding energised from transmitter. Transmitters may be used as receivers where increased power at the receiver is required.

Resolvers: available 2 and 3 inch sizes. Normally consist of a rotor carrying two single phase windings (sometimes only one when for use at high frequencies) and a stator comprising two windings mutually spaced at 90° so that outputs corresponding to the sine and cosine of the angle of rotation are obtained.

Hunters: available in 2 and 3 inch sizes. Normally have three phase rotor and stator windings, the rotor being fitted with flying leads. Usually intended to convert an electrical error signal into a mechanical movement. Certain types are for indication purposes only and others are fitted with free races to reduce friction.

Coincidence Transmitters: This type is basically similar to a normal transmitter except that the rotor winding is of high impedance. Available in 2 and 3 inch sizes.

Follow through Transmitters: Available in 2 and 3 inch sizes. This type is basically similar to a Hunter but is normally fitted with slip rings so that unlimited rotation is possible.

Motors: Nominally available in 2 and 3 inch sizes. Consist of motors of conventional design mounted for convenience in a Magslip frame.

M.D.1. 17.11.53.

Cavotec

Uses of Magslips.

As synchronous Link or for Remote Indication.

The simplest function of Magslips is to provide a flexible shaft between two mechanisms, or to provide remote indication of the motion of a shaft. It is clear from the brief data given above that when the rotor of a transmitter is energised from a 50v. 50c.p.s. supply (the normal Magslip supply), voltages will be induced in the stator windings of the element. When two transmitters have their rotors energised from the same supply and their stators are connected together, phase for phase, then the rotors will attempt to align themselves until the induced voltages are equal. This is the principle of operation of Magslips as a synchronous link. As there is but one position in which the above condition is satisfied, the system is self-aligning. Similar considerations govern the operation of Magslip Receivers for remote indication. Ideally, SY-L transmitters should be employed as synchronous links but normal transmitters perform the same function but with a lower efficiency and accuracy. The following example is of interest; when two AP 10855 transmitters are used, the maximum torque available is 6 oz-in., assuming a working angular lag of 20°. If step up gearing of 5:1 is employed and the operating handle rotated at 200 r.p.m. and if a final speed of rotation of 1 r.p.m. is required, then by using a reduction gear of 1,000:1 at the receiving end, a torque of 6,000 oz-in. becomes available from an input torque of 30 oz-in. Operation at distances up to a quarter of a mile is quite normal practice, while for remote indication, where AP 6549 Receivers are used, distances up to 5 miles may be covered without loss of accuracy.

Use for Power Control.

Magslips may be used for the remote or automatic control of quite large apparatus. In this case, the main power is derived either from a hydraulic motor or an electrical machine controlled by the Magslip. When a hunter Magslip is used in conjunction with two transmitters, a misalignment between the positions of the rotors of the transmitters causes the operating arm of the hunter to turn. The hunter can either operate an oil valve or an electric switch thus controlling the main system.

A coincidence transmitter may also be employed; its stator is connected to a normal transmitter on turning the rotor of which, an output may be derived from the coincidence transmitter rotor which after amplification may be used for energising one phase of a two phase motor. In the case of the hunter system, one transmitter is controlled e.g. by hand while the other is actuated by the controlled mechanism thus forming a closed loop circuit, while in the second system, the coincidence transmitter is turned by the controlled mechanism. In the latter case, an induction generatormay be used to provide a signal proportional to speed to prevent hunting i.e. overshoot due to the inertia of the system.

→ = Hunter c/ slip rings p/ terms Selsyn eliminated

Operation as a differential

A follow-through transmitter, having its rotor and stator connected respectively to the stators of two transmitters, will operate as a differential between them. It will turn through an angle which is the sum or difference, according to phase connections, of the individual rotations of the two transmitters. Alternatively, the rotors of a transmitter and a follow-through transmitter may be turned, when the rotor winding of the follow-through transmitter can be employed to operate a Magslip receiver in accordance with the differential movement. This operation is, of course, effected dynamically as well as statically.

Electrical Computation.

Apart from the application of the follow-through element to mathematical operations, sine and cosine functions of an angular rotation may be derived as voltages by the use of a Magslip resolver. This element has two stator windings mutually spaced at 90° and normally has two rotor windings similarly disposed. The rotor is normally energised from a 50v. 50c.p.s. supply, when the output is $50k\sin\phi$ from one winding and $50k\cos\phi$ from the other, where k is a constant, the "transformation ratio" and ϕ is the angle of rotation. Normally one winding of the rotor is short circuited but it can be employed to affect electrically the alteration in field produced by rotation of the rotor.

Miscellaneous Uses.

Magslips may be used as a high precision variable phase source and may conveniently be the phase shifting element for an A.C. potentiometer. Further, if the rotor of a Magslip transmitter is energised from a D.C. source, then a single or three phase output may be derived from the stator at a frequency depending on the speed of rotation. A sine wave output of exceptionally good waveform is obtained. (See data on Waveform Generators).

Mounting and other information.

Magslips are normally mounted by means of a clamping ring which fits closely over the end of the element, thus ensuring a rigid fit in the panel which should be drilled to accept the spigot end of the Magslip. Magslips are sometimes provided with gear teeth cut partly round one end of the element for phasing purposes, these we can supply without extra charge. Maximum power ratings are given in the attached table; these may be exceeded if the element is housed in a tightly fitting casing providing an adequately conducting path to the base plate. Magslip transmitters and resolvers normally carry a hub and clamping plate for gear mounting purposes. To obtain the highest accuracy from a Magslip receiver it is essential to use an accurately balanced pointer, these we can supply to order. Magslips produce an appreciable external magnetic field and where they are to be used in the proximity of sensitive electronic equipment, it is advisable to employ screening cans.

Detailed Magslip Information

Description	A.P. Number.	Our Cat. No.	Length Inches	Supply	Power Watts	Main Characteristics
2" Transmitter	6550	M001	4.875	50v. 50c/s.	12	Torque 0.15oz.in. per degree. Operates 12 Receivers
2" Transmitter	10681	M020	4.875	50v. 1000c/s	12	Torque 0.15 oz. in. per degree.
2" SY-L Transmitter		M042	4.875	50v. 50c/s.	15	Torque 0,15oz. in. per degree.
2" Coincidence Transmitter	10682	M002	4.875	50v. 50c/s.	7	Output 0.6v. per degree.
2" Coincidence Transmitter	10739	M037	4.875	50v. 1000c/s	7	Output 0.6v.per degree.
" Receiver	6549	M004	3.50	50v. 50c/s.	5	Torque 0.0005oz. in. per degree.
2" Receiver	6549A	M047	3.50	50v. 50c/s	5	Improved A.P. 6549.
2" Receiver	6549	M039	3.50	50v. 50c/s.	5	AP 6549 with pointer.
2" Hunter	10645	M003	5.781	50v. 50c/sex transmr.	8	Torque 0.1oz. in. per degree. 17 c/s springs.
2" Hunter	10872	M050	5.781	50v. 50c/sex transmr.	8	Torque 0.1oz. in per degree. 17c/s springs.
2" Hunter	10646	M049	5.781	50v. 50 c/s ex transmr.	8	Torque 0.1oz. in. per degree Free hunter.
2" Resolver	10873 T.R.E. 11F	M045	5.186	50v. 50c/s.	6	Single rotor wdg.Rotn. 355° Transfmn.ratio 0.8.
" Resolver	10874 T.R.E. 11C	M046	5.186	50v. 50c/s.	6	Single rotor winding.Transfmn. ratio 0.8.
2" Follow thro' Transmitter	6552A	M053	5.186	50v.50 c/s ex. transmr.	12	Torque 0.1oz. in. per degree.
2" Follow thro' Transmitter	10742	M051	5.186	50v.1000 c/s ex transmr.	12	Torque 0.1oz. in. per degree.
2" Follow thro' transmitter	10742M	M052	5.186	50v.1000 c/s ex transmr.	12	Torque 0.1oz.in. per degree.Free transmitter.
2" Induction Generator	10877	M005	4.531	50v. 50c/s.	10	Output 7v.at 1000 r.p.m.
2" Induction Motor	10743	M006	4.688	50v. 50c/s	15	Max torque 4.5 oz.in.

0.25 oz. in. per degree ⇐⇒ (~~0,0023 Kg~~) ⇐⇒ 0,1778 Kg mm/°

↑ onça (massa) ↑ polegada

1 oz ≃ 0,028 Kg

1 in ≃ 25,4 mm

≃ 1,78 N mm/°

Description	A.P. Number.	Our Cat.No.	Length Inches	Supply	Power Watts.	Main Characteristics
3' Transmitter	6547	M007	6.000	50v. 50c/s	20	Torque 0.25oz. in.per degree Operates 20 Receivers.
3' Transmitter	10855	M008	6.000	50v. 50c/s	20	Torque 0.3oz. in.per degree. Operates 20 Receivers.
3' Transmitter	10456	M054	6.620	50v. 50c/s	25	Torque 0.45oz. in.per degree.
3' Transmitter	10428	M040	6.000	50v.1000 c/s	20	Torque 0.25oz. in.per degree.
3' Transmitter	1372	M055	5.875	50v 50c/s	20	As AP 6547 transmitter but with flexible leads,free races
3" SY-L Transmitter		M031	6.000	50v. 50c/s	20	Torque 0.25oz. in. per degree
3" Coincidence Transmitter	10636	M009	6.000	50v. 50c/s	13	Output 0.6v. per degree.
3" Coincidence Transmitter	10429A	M018	6.000	50v. 1000c/s	13	Output 0.6v. per degree.
3" Hunter	6548	M010	6.375	50v.50 c/s from transmr.	12	Torque 0.16oz. in per degree 15 c/s springs
3" Hunter	6548B	M057	6.375	50v.50 c/s from transmr.	12	As AP 6548 but different operating arm.
3" Hunter	6548A	M056	6.375	50v.50 c/s from transmr.	12	Torque 0.16oz. in per degree. Free Hunter.
3" Hunter	OS 1901A	M015	6.375	50v.50 c/s from transmr.	12	As AP 6548 but different operating arm.
3" Hunter	OS 1902A	M016	6.375	50v.50 c/s from transmr.	12	As AP 6548 but carrying s.p.c.o.switch,230v. 5A.
3" Hunter	10731	M058	6.375	50v.50 c/s from transmr.	12	As AP 6548A but different operating arm.
3" Hunter	10851	M060	6.375	50v.50 c/s from transmr.	12	As AP 6548A but different operating arm.
3" Moving Coil Hunter	10865	M034	5.000	D.C.		For producing a linear movement from a D.C.input.
3" Resolver No.1.	10640	M011	6.250	50v. 50c.p.s.	8	Transformation Ratio 1.16.
3" Resolver No.5.	10861	M012	6.250	50v. 50c.p.s.	8	Transformation Ratio 0.95.

M.D.S. 17.11.53.

Description	A.P. Number.	Our Cat.No.	Length Inches.	Power Supply	Watts	Main Characteristics
3" Resolver	10748 T.R.E. 2.	M032	6.250	50v. 1000c/s	8	Transformation Ratio 2.3
3" Follow thro' Transmitter		M038	6.250	50v.50 c/s from transmr.	20	
3" Follow thro' Transmitter	10455	M062	6.250	50v.50 c/s from transmr.	20	
3" Follow thro' Transmitter	10687	M043	6.250	50v.1000 c/s	20	
3" Follow thro' Transmitter	10689	M044	6.250	50v.50 c/s from transmr.	20	355° rotation.
3" Motor 3 ph.	OS 409A	M030	5.00	50v.50 c/s	40	Torque 12oz.in.
3" Motor 3 ph.	10642	M017	5.00	230v.50 c/s	40	Torque 12oz.in.

General Magslip Notes.

Magslips are normally fitted with pre loaded bearings to suppress 100 c.p.s. noise which is present in the 50 c.p.s. transmitters, these races have very small radial clearances. For certain purposes, e.g. where accurate following of the movement of a transmitter by a receiving transmitter is required, steps must be taken to minimise the frictional forces arising from this cause and from the brush and slip ring assembly. This may be done by carrying out one or more of the following alterations in design; a. replacing pre loaded races with free races. b. replacing pre loaded races with magneto type races. c. fitting special precious metal brushes and small diameter slip rings. d. replacing the commutator assembly with flexible leads (thus of course restricting rotation). e. replacing the commutator assembly with ligaments. Thus for example, types which are designated "Free" in the list above have flexible leads and free races and synchronous link types are fitted with the special brush and slip ring assembly mentioned above. The Resolver Type AP 10748 (Cat.No. M032) has fitted on its rotor a segmented switch which makes during one half of a revolution and breaks during the other. Transmitters Type AP 10855 (Cat.No. M008) and Type AP 10456 (Cat.No. M054) may be used in conjunction with hunter or follow through types to yield a greater torque in the differential element. Magslips have standard maximum external dimensions according to the size of stampings used thus the 2" types have an external diameter of 2.495" and the 3" types 3.370".

2,495" = 63,373 mm
3,370" = 85,598 mm

MAGSLIP MOTOR DATA.

As noted on page M.D.1, a series of more of less conventional motor elements has been mounted for convenience in Magslip type frames either two or three inch size. We now have six different types available and details of these are given below; in addition details of the two inch Magslip Induction Generator are included as it is so widely used in servomotor applications.

2" Magslip Motor No. 3, AP 10743, Cat. No. M006.

This type is a two phase servomotor which is now very widely used in control instrumentation. Where Magslips are used to provide an indication of position and the error signal is thus in the form of an amplitude modulated A.C. carrier, it is convenient to employ an electronic amplifier and to apply the output to the control phase of a two phase induction motor, the other phase being permanently energised from the supply. The AP 10743 motor is manufactured with a wound rotor and carries on its shaft a load resistor wound on a former external to the body of the motor, this design enables the desirable torque/speed characteristics of the motor to be attained while the heat produced is extraneous to the main body of the motor. Maximum torque is developed in the stalled position, this enhancing the value of the motor for servo control purposes as it increases the tendency towards a damped system. Detailed characteristics of the motor are:-

Supply: 50v. 50c.p.s. to reference phase
Torque stalled: 4.5oz.in.
Torque at 1800r.p.m. 2oz.in., at 2800r.p.m. zero.
Power consumption: 30-15 watts.
Moment of inertia of rotor: 1oz.in.in.

2" Magslip Induction Generator AP 10877, Cat. No. M005.

This element, although not in fact a motor, has been included here as its characteristics are of great importance when the use of feedback is considered in servo systems. The induction generator produces an output of 7v. per 1000r.p.m. and is excited from the 50v. 50c.p.s. supply. When used in conjunction with the two phase servomotor mentioned above, the induction generator produces a signal proportional to velocity and which is of opposite phase to the error signal produced e.g.by the controlling coincidence transmitter, and thus tends to prevent the tendency of a servo system to overshoot by providing a form of negative feedback in the amplifier.

A suitable amplifier for us with these elements may be based on a conventional resistance-capacitance coupled design with suitable provision for phase adjustment and for mixing the induction generator and transmitter error signals.

3" Magslip Motor AP 10940, Cat. No. M090

This motor which is of the normal split field type is mounted in the standard long frame 3" Magslip body. The overall length of the motor is 6¾", the shaft diameter is 0.312" and the length ⅜" at the spigot end and 5/16" at the brush end of the frame.

The armature is for use with a 220v. D.C. supply the current when fed via a 270 ohm resistor is 0.75amp. The split fields are intended for use in conjunction with an electronic amplifier and take only 40mA each section. The moment of inertia of the rotor is 1.8oz.in.in. and the stalled torque for maximum field current is 17oz.in. The maximum speed is 7500r.p.m.

3" Magslip Rectifier No. 2 Mk. 1, AP 10863, Cat. No. M091.

The Magslip Rectifier, so called because of its function, consists of a 230v. 3 phase synchronous motor carrying on its rotor divided slip rings, so arranged to give a rectified output (brushes C-D) from a synchronised A.C. input (brushes A-B). As the output of the rectifier is phase sensitive, the rotor is a composite one consisting of two parts: 1. A low resistance squirrel cage and 2. A permanent magnet, the latter ensuring consistent polarity of the rectified D.C. output. A limited phase adjustment of the instrument is provided by making the brush assembly rotatable over a small angle. The rectifier may be used in conjunction with a moving coil hunter producing a linear movement suitable for operating a hydraulic valve in a servo system etc.

3" Magslip Synchronous Motor AP 10643, Cat. No. M092.

This is a 50v. 50c.p.s. induction motor with a low resistance squirrel cage rotor, a small number of teeth of which have been removed on opposite sides to produce a pair of salient poles causing the motor to run in synchronism. The speed of the motor is 3000r.p.m. and the torque 4oz.in.

3" Magslip Induction Motor OS 409A, Cat. No. M030.
3" Magslip Induction Motor AP 10642, Cat. No. M017.

These elements are conventional induction motors with high resistance squirrel cage rotors. Their speeds are 2200r.p.m. and their maximum torque 12oz.in. The first named (Cat. No. M030) is for 50v. 3 phase operation and the second is for 230v. 3 phase, both 50c.p.s.

MAGSLIP MOTOR PRICES

Type of element	Service No.	Cat. No.	Price
2" Induction Motor (2 phase)	AP 10743	M006	75/-
2" Induction Generator	AP 10877	M005	75/-
3" Split Field Motor	AP 10940	M090	80/-
3" Rectifier	AP 10863	M091	50/-
3" Synchronous Motor	AP 10643	M092	50/-
3" Induction Motor	OS 409A	M030	45/-
3" Induction Motor	AP 10642	M017	45/-

SELSYN DATA

Selsyns derive their name from the term "SELf SYNchronous" indicating that two such machines, when interconnected, are self aligning. In the U.S.A., "Selsyn" was used originally by the General Electric Company, but the term is also used in the U.K. notably by the British Thomson-Houston Company Ltd. It has become customary to use the term to describe torque transmission machines of medium to high power, while the term "Magslip" when applied to this type of instrument normally brings to mind instruments of low power.

These machines are normally wound with a single phase rotor and a three phase stator. When the rotors of two Selsyns are excited from the same A.C. supply and the stator windings are connected phase for phase, the rotors of the two machines align themselves so that no current flows in the secondary windings, i.e. so that the magnetic fields set up in the two instruments are parallel. Thus when one rotor is turned, the other machine exerts a torque in its effort to satisfy the condition that there should be no rotor misalignment. Power is of course taken from the single phase source.

We normally stock the following types of Selsyn machines; we would point out that size 5 and smaller American synchros are normally included in our Magslip range and are grouped with the synchronous link types although the line of demarcation between the two groups is somewhat ill-defined.

The type SJ 2512 Selsyn

This is the B.T.H. code SJ 2512 Selsyn (Admiralty Pattern APW 325A) and was developed for military use for example in aerial rotation applications. This machine has a 230 volt 50 c.p.s. rotor and the maximum torque available is 45lb.in. The maximum primary current is10 amps and the maximum secondary voltage 285 volts. Dimensions are 13" long, 7" diameter. The shaft at each end is $\frac{3}{4}$" long and $\frac{1}{2}$" diameter.

The type SM 1406 Selsyn

This is identical to the B.T.H. code S 1406 machine. The rotor is wound for 230 volt 50 c.p.s. operation and the secondary maximum voltage is 50 volts. The torque available is 0.5 oz.in. per degree with a pull out torque of 35 oz.in. The maximum primary current is 0.75 amp and the maximum secondary 2.75 amps. Dimensions are 8" long & 5" diameter

The type SM 1813 Selsyn

This is identical to the B.T.H. code S 1813 machine. The rotor is wound for 230 volt 50 c.p.s. supply operation and the secondary maximum voltage is 50 volts. They may be used in conjunction with up to 10 SM 1406 Selsyn receivers. The torque available is 2.5 oz. in. per degree and the pull out torque is 275 oz. in. The maximum primary current is 5 amps. and the maximum secondary 15 amps. Dimensions are 10" long & 5" diameter.

The type 2J65FA2 Selsyn

This is the General Electric (U.S.) Selsyn for operation on 120 volts 60 c.p.s. supplies. The maximum secondary voltage is 55 volts. These elements may conveniently be run in series from the 230 volt 50 c.p.s. mains supply and develop a torque of 8 oz.in. for a 20° displacement with an accuracy of 1° under no load conditions. This instrument is essentially equivalent to the type SM 1406 Selsyn. Elements can be supplied with a damping disc if required. Dimensions are 8" long and 5" diameter.

The type 60 Selsyn

This is also a B.T.H. Selsyn in a modified frame intended specifically for flange mounting. The rotor is wound for 45 volt 50 c.p.s. operation and the secondary maximum voltage is 90 volts. The maximum rotor current is 3 amps and the available torque 0.5 oz. in. per degree. Dimensions are 8" long and 5" diameter.

The type 54 Selsyn

This is again a B.T.H. Selsyn in a modified frame intended specifically for flange mounting. The rotor is, however, in this case for 60 volt 50 c.p.s. operation. The secondary maximum voltage is again 90 volts and the performance is as for the type 60 machine, as also the dimensions.

The type SM 1105 Selsyn

This is again a B.T.H. Selsyn although the performance is more reminiscent of a Magslip SY-L transmitter as is its size. This element is for 50 volt 50 c.p.s. operation and the maximum stator voltage is again 50 volts. The available torque is 0.25 oz.in. per degree and the pull out torque 10 oz.in. when the rotor current reaches 1 amp.

Selsyn accessories

Mounting Plates for SJ 2512 Selsyn units. These are of mild steel and carry four metal/rubber anti-vibration mountings with fixing centres for a Selsyn of this type.

Cat. No. S010. Price 8/6 each.

Operating Handles for SJ 2512 Selsyn units. For use where the Selsyn has to be turned by hand.

Cat. No. S011. Price 5/- each.

For prices of the other items mentioned above see page 2 of our Magslip price List.

See also Worm and Pinion reduction Gear assembly Cat. No. G083.

S.D.2. 12.12.55

D.C.Repeater Motor Systems.

By far the commonest system of this type is the "M" type transmission system which depends on the energising of the field windings of a motor element by such combinations of the positive and negative poles of a D.C. source as to provide a magnetic field directed sequentially into a number of set directions.

A very high torque/size ratio is achieved and by the use of suitable gearing to the transmitter, each step of the repeater may be made to correspond to a small angle of rotation of the driving shaft. It should be noted, however, that the system is not self-aligining in contrast to the Magslip system. The repeater units are made with multi-slot stators and interleaved laminated rotors.

There are two main types of transmitter:-
a. the cam operated contact type
and b. the brush operated motor type.
Each of these is designed to provide the necessary combinations of the negative, positive and zero applied voltages to the three terminals of the repeater.

Three typical repeater motors are:-
a. the AP 9297 which performs 24 steps per revolution
b. the AP 9298 which performs 12 steps per revolution
and c. the AP 9299 which performs 12 steps per revolution.

The normal load currents are:- 1 amp., 0.38 amp. and 0.52 amp. respectively; the supply voltage is 20v. D.C. The load capacity of the AP 9523 transmitter is 5 amps and thus may be used to drive, for example 13 type AP 9298 repeaters.

The contact sequence for a 12 step per rev. repeater are:-

Position No.:-	1	2	3	4	5	6
Line 1	plus	plus	plus	dis	minus	minus
Line 2	minus	dis	plus	plus	plus	plus
Line 3	minus	minus	minus	minus	minus	dis

Positions 7-12 are similar combinations but with the sign of the supply reversed. Any switching arrangement to give the above combinations will cause the repeater to rotate. The cam-operated type of transmitter, for example, consists of three cams which cause three sets of contacts to operate as above while the brush type consists of a commutator upon which the three output brushes bear and which is so segmented as to pick off the required outputs at fixed angles of rotation. The AP 9523 transmitter yields the above series of outputs over 360 actual degrees and thus produces 12 steps per revolution.

Other D.C. systems are based on similar principles but the number of poles vary from type to type. Prices of these types are given on the general price list page. M type prices are repeated overleaf, together with mechanical details of the elements available.

"M" type Motor details

Type No.	Length	Dia.	Type of input or output	Cat.No.	Price
AP 9298	2.0"	2.25"	Pinion 10T, 20.4t.p.i.	M013	15/-
AP 9299	3.75"	2.25"	Shaft 0.625"x0.219"dia.	M076	25/-
AP 9297	3.5"	3.125"	Coupling	M063	50/-
AP 9297	3.5"	3.125"	Shaft 2" long with worm	M041	50/-
AP 9323	1.375"	4.75"	Pinion 15T, 11t.p.i.	M077	50/-
AP 9323	1.375"	4.75"	Spur Gear 60T 11t.p.i.	M078	50/-
AP 9323	1.375"	4.75"	Coupling	M079	45/-
AP 9 27	3.0"	3.25"	Coupling	M024	50/-

Accessories for M type Repeaters

Cat. No. G066 Lead screw output for AP 9298 Repeater. Converts the rotational motion of the repeater into a linear movement proportional to rotation. Total linear displacement2.15" for 26 revolutions of the repeater. Total overall size 5.75" x 2.75" x 2.75" with mounting for repeater motor. 8/6 each.

Cat. No. G151 Cover for AP 9298 Terminal Panel These fit snugly over the end of the repeater rendering the electrical connections substantially watertight and in addition, protect the bearings of the motor. 2/- each.

Digital Counter Mountings for AP 9299 Repeaters.

These units consist of an aluminium alloy housing for the repeater which carries a geared digital counter assembly comprising up to four revolving drums. Each step of the repeater moves the counter through its smallest sub-division this varying with the type of counter. Most of the units have figures 1 cm. high and form useful analogue/digital converters. The overall width of the counters is 10cm. and height 7 cm. The units carry a mounting for a 24v. lamp.

The following types are in stock:

Cat. No.	Range	Rotation	One step equals	No. of drums
G152	0-300	Continuous	one unit	three
G153	0-600	Continuous	two units	three
G154	0-600	Continuous	0.25 unit	four
G155	0-300	Continuous	0.5 unit	four
G156	0-30.0	Continuous	0.1 unit	three
G157	0-60	Continuous	1 unit	two
G158	120-0-120	Restricted	1 unit	three
G159	0-180-360	Restricted	1 unit	three

Prices

Two drum types	37/6	These prices include
Three drum types	42/6	repeater motor and
Four drum types	47/6	terminal panel.

R.M.D. 2. 6.2.56.

SYNCHRO AND REPEATER PRICE LIST

MAGSLIPS AND SYNCHROS OF COMPARABLE POWER

A1 A2 A3 A4 → Two inch Magslips:-

Type of element	Service No.	Cat. No.	Supply	Price.
→ Transmitter	AP 6550	M001	50v.50c.	45/-
Transmitter	AP 10681	M020	20v.1000c.	45/-
M5 → Coincidence TX	AP 10682	M002	50v.50c.	75/-
Coincidence TX	AP 10739	M037	20v.1000c.	60/-
Coincidence TX	AP 11112	M083	115v.400c.	120/-
G.E. Control Trsfr.	2J1G1	M067	115v.400c.	80/-
SY-L Transmitter	AP 10638	M042	50v.50c.	145/-
Receiver	AP 6549	M004	50v.50c.	35/-
Receiver	AP 6549A	M047	50v.50c.	75/-
Receiver & Pointer	AP 6549	M039	50v.50c.	40/-
Hunter	AP 10645	M003	50v.50c.	35/-
Hunter	AP 10646	M049	50v.50c.	35/-
Hunter	AP 10870	M084	50v.50c.	35/-
Hunter	AP 10732	M085	50v.50c.	35/-
Resolver	AP 10873	M045	50v.50c.	50/-
Resolver	AP 10874	M046	50v.50c.	55/-
M3 → Induction Generator	AP 10877	M005	50v.50c.	75/-
M2 → Two ph. Ind. Motor	AP 10743	M006	50v.50c.	75/-
Two ph. Ind. Motor	OS 3255A	M066	50v.50c.	75/-
Follow Through TX	AP 10742	M051	20v.1000c.	50/-
Follow Through TX	AP 10742M	M052	20v.1000c.	50/-

Three inch Magslips:-

Transmitter	AP 6547	M007	50v.50c.	41/-
Transmitter	AP 10855	M008	50v.50c.	37/6
Transmitter	AP 10456	M054	50v.50c.	75/-
Transmitter	AP 10428	M040	20v.1000c.	50/-
Transmitter	AP 11101	M082	115v.400c.	120/-
Transmitter	AP 1372	M055	50v.50c.	35/-
Transmitter	AP 10688	M068	50v.50c.	35/-
G.E.Selsyn Genr.	2J5HC1	M080	115v.60c.	60/-
M4 ? → SY-L Transmitter	AP 10637	M031	50v.50c.	145/-
Synchro Transmitter	C 78428	M086	115v.60c.	60/-
Synchro Transmitter	C 78411	M087	50v.50c.	55/-
Synchro Repeater	C 78473	M088	50v.50c.	55/-
Coincidence TX	AP 10636	M009	50v.50c.	75/-
Coincidence TX	AP 10429A	M018	20v.1000c.	50/-
M1 → X-CO Transmitter	AP 10747	M069	50v.50c.	80/-
Hunter	AP 6548	M010	50v.50c.	37/6
Hunter	AP 6548B	M057	50v.50c.	37/6
Hunter	OS 1901A	M015	50v.50c.	37/6
Hunter	AP 6548A	M056	50v.50c.	37/6
Hunter	OS 1902A	M016	50v.50c.	37/6
Hunter	AP 10731	M058	50v.50c.	45/-
Hunter	AP 10735	M070	50v.50c.	45/-
Hunter	AP 3946	M071	50v.50c.	45/-
Sectr.Aligt.Hunter	OS 410A	M089	50v.50c.	35/-
Movg.Coil Hunter	AP 10865	M034	D.C.	37/6

Continued overleaf.....

Synchro and Repeater Price List contd....

Three inch Magslips (contd):-

Type of element	Service No.	Cat. No.	Supply	Price
Resolver No. 1	AP 10640	M011	50v.50c.	70/-
Resolver No. 2	AP 10859	M072	50v.50c.	120/-
Resolver No. 2	AP 10966	M073	50v.50c.	130/-
Resolver No. 5	AP 10861	M012	50v.50c.	45/-
Resolver TRE 2C	AP 10748	M032	20v.1000c.	45/-
Resolver TRE 2CA	AP 10860	M074	20v.1000c.	45/-
Follow Through TX	AP 10455	M075	50v.50c.	85/-
Follow Through TX		M038	50v.50c.	80/-
Follow Through TX	AP 10687	M043	20v.1000c.	45/-
Follow Through TX	AP 10689	M044	50v.50c.	50/-
Motor 3 phase	OS 409A	M030	50v.50c.	45/-
Motor 3 phase	AP 10642	M017	230v.50c.	45/-

Please note that in the above list, the supply indicated is that required either for the element itself or in the case of coincidence transmitters etc. that draw their supply from a parent transmitter, that required for the parent element.

POWER SYNCHROS - SELSYNS

Type	Cat. No.	Price
B.T.H. SM 1406	S005	100/-
B.T.H. SJ 2512	S001	140/-
B.T.H. SM 1813	S009	140/-
G.E. 2J65FA2	S003	55/-
Type 60	S002	85/-
Type 54	S010	70/-
Type 45	S007	70/-
B.T.H. SM 1105	S011	80/-
Delco Type A 6897	S008	90/-

REPEATER MOTORS

Type	Service No.	Cat. No.	Price
M Type Repeater	AP 9298	M013	15/-
M Type Repeater	AP 9299	M076	25/-
M Type Repeater	AP 9297	M063	50/-
M Type Repeater	AP 9297	M041	50/-
M Type Repeater	6A/1057	M048	12/6
B Type Repeater	9/2282	M026	10/-
B Type Repeater	5U/2947	M027	10/-
B Type Repeater	5U/2849	M028	10/-
M Type Transmitter	AP 9523	M077	50/-
M Type Transmitter	AP 9527	M024	50/-

We also have in stock very small quantities of the following Magslips:

2" SY-L Transmitter AP 11123
2" H.F. X-CO TX AP 10952 Prices on application
1½" H.F. Transmitter

TERMS AND CONDITIONS OF SALE:- Please see separate page for revised terms and conditions of sale.

P.L.2. 15.8.56.

PRECISION REMOTE POSITION CONTROL INSTRUMENT SERVO

This equipment is intended to rapidly and faithfully reproduce at a remote point, the rotor position of a controlling Magslip transmitter. A conventional system is employed with a coincidence transmitter at the remote position; the 50 c.o.s. error signal derived from this element when angular misalignment exists between the controlling transmitter and the coincidence transmitter energises after amplification the control phase of a two phase servo motor. Stabilizing feed-back is provided by an induction generator geared to the induction motor. The system uses "coarse" and "fine" coincidence transmitters, the coarse transmitter providing the over-riding control until the error signal falls below a certain value at which point the error signal derived from the "fine" transmitter is automatically fed to the amplifier in place of the "coarse" signal. Provision is made for the accurate manual setting of the output shaft.

Constructional Details. The four Magslips are mounted in a cast aluminium alloy housing which also forms the mounting for the reduction gear box. The overall size of the main gear box and Magslip assembly, including the Magslips but excluding the coupling to the manual position control is 9.75" x 10.75" x 7.5" high. The manual position control and its associated gearbox is housed in a separate compartment 7.5" x 3.75" x 4.75" high. To this compartment are attached three 12-way Jones chassis plugs two carrying control circuit connections and one spare. A sheet metal cover is provided.

Three alternative models are available differing in gear ratios but all basically the same general design. The 2" Magslip two phase induction motor AP 10743 drives through a four stage spur gear reduction gearbox an output gear 7.6" in diameter with 300 teeth for mounting on a $\frac{1}{2}$" shaft. The 2" Magslip induction generator is geared down from an intermediate shaft while the "coarse" and "fine" 3" and 2" coincidence transmitters are similarly driven. The manual alignment shaft is coupled directly to the gear train driving the output gear while the servo motor drive is transmitted through a friction clutch. The manual adjustment control is by means of a calibrated dial fitted with a handle; this drives through a single stage spur gear drive and a worm and pinion stage, a coarse indicating dial. The weight of the complete assembly excluding the cover is 27lb.

The amplifier and channel change over unit are mounted on separate chassis each fitted with plugs and sockets and each 10.75" x 2.875" x 7.75" overall height. The weight of the units combined is 10lb.

Circuit Details. The amplifier incorporates an EF36 pentode pre-amplifier stage, resistance capacity coupled to an 807 output stage which feeds the control phase of the servo motor via an output transformer. Two of the types of equipment available are fitted with lead screws carrying adjustable stops which operate microswitches which disconnect the supply to the control phase of the servo motor when the limit stops are reached.

R.F.C.S.L. 17.4.57.

GB2 → 1
6 → 1

Circuit Details (continued).....

The "coarse" channel control is automatically switched from the input to the amplifier and replaced by the "fine" error signal by means of a relay energised by a 6J5 triode the grid potential of which is governed by the magnitude of the "coarse" error signal which is rectified by an EB34 double diode. The input network combining the induction generator and error signal from the "fine" coincidence transmitter is located in the gear box section of the equipment.

Available Gear Ratios	Mod.E	Mod.B	Mod.R
AP 10743 Motor : Output Gear	288:1	432:1	360:1 = 0.1 0.0 27 (7)
AP 10743 : AP 10877 Indn.Genr.	3:1	3:1	3:1
AP 10682 Co.TX: Output Gear	12:1	36:1	15:1
AP 10747 Co.TX: Output Gear	2:3	1:1	5:6
AP 10682 : AP 10747	18:1	36:1	18:1
Manual input: Output Gear	12:1	36:1	30:1
Manual fine:coarse dial	18:1	36:1	36:1
Coarse dial calibration	-10-1100-360 over240°	0-360°	0-30,000 300°
Fine dial calibration	0-10x 0.1	0-10x 0.1	0-1000x 10
Accuracy of O'put gear setting	0.3°	0.1°	0.12°
Lead Screw	yes	no	yes

Prices

The complete equipments consist of servo gearbox, four Magslips, output gear, sheet metal cover and cable sockets for the three Jones plugs; amplifier and channel change over unit each complete with chassis plugs and valves; circuits and connection details. The basic catalogue number is MG021 with the appropriate suffix E, B or R indicating the model required. All models are priced at £26.10. 0. each.

Power Units

We have a limited number of power units available only to purchasers of the above equipments which provide the requisite D.C. and A.C. supplies from the 230v. A. . mains. Each unit will handle three of the above systems and will provide the 6.3v. heater supplies and the anode and screen voltages for the amplifier and change-over unit valves. Paper capacitors are used throughout and a 5U4G valve used as the rectifier. The unit is fitted with a 12 way Jones chassis plug and socket and is priced at £5.10. 0. each. The catalogue number of these units is MG022.

R.P.C.S.2. 17.4.57.

Motor: Magslip típico — 12:1
Saída a montar — $\frac{400}{25}$ = 16:1
Motor: saída pequena — 36:1

bom 5,3 Kg cm na saída pequena o motor patina
bom 4,5 " " " " " " " deslocando
cerca de 18° depois
de passar 26 KΩ → 7,4 KΩ

CONNECTION DETAILS FOR THE REMOTE POSITION CONTROL INSTRUMENT SERVO EQUIPMENT

The complete equipment consists of four main units:-

The Amplifier Unit	Plugs coded A
The Changeover Unit	Plugs coded C
The Power Unit	Plugs Coded PU
The Servo Gearbox Unit	Plugs coded AC1 and AC2.

In addition, sensitivity controls for the Changeover Unit are necessary and the circuit details are shown on that unit circuit diagram. Plug connections for these components are coded TP. All connections marked "S" should be screened. The chassis plugs mounted on the units are 12-way Jones type and the following are the inter-unit connections:

	UnitA	UnitC	Unit PU	UnitAC1	UnitAC2	TP
1	PU1	A5, PU6	A1	coarse6547-X	C5S	
2	PU2	A7, PU3, C9	A2	coarse6547-Y	C6S	
3	C11	50v.A.C. (blue)	C2	coarse6547-Z AC1-6	C4S	C9
4	A7, C12	AC2-3S	PU6	fine6547-X	50v.A.C. (red)	
5	C1	AC2-1S	Earth	fine6547-Y		
6	AC1-12	AC2-2S	PU4, C1	fine6547-Z AC1-3		C7
7	Earth, C2, A4	TP6	AC2-12		50v.A.C. (green)	C8
8	PU8	TP7	A8		50v.A.C. (white)	
9	C10	Earth, C9, C2	230v.A.C.		A12	
10	C10	A10, PU10, A9	PU12		A11	
11	AC2-10	A3	230v.A.C.			
12	AC2-9	A4	PU10, C10	A6	PU7, S.P. standby sw. to earth.	

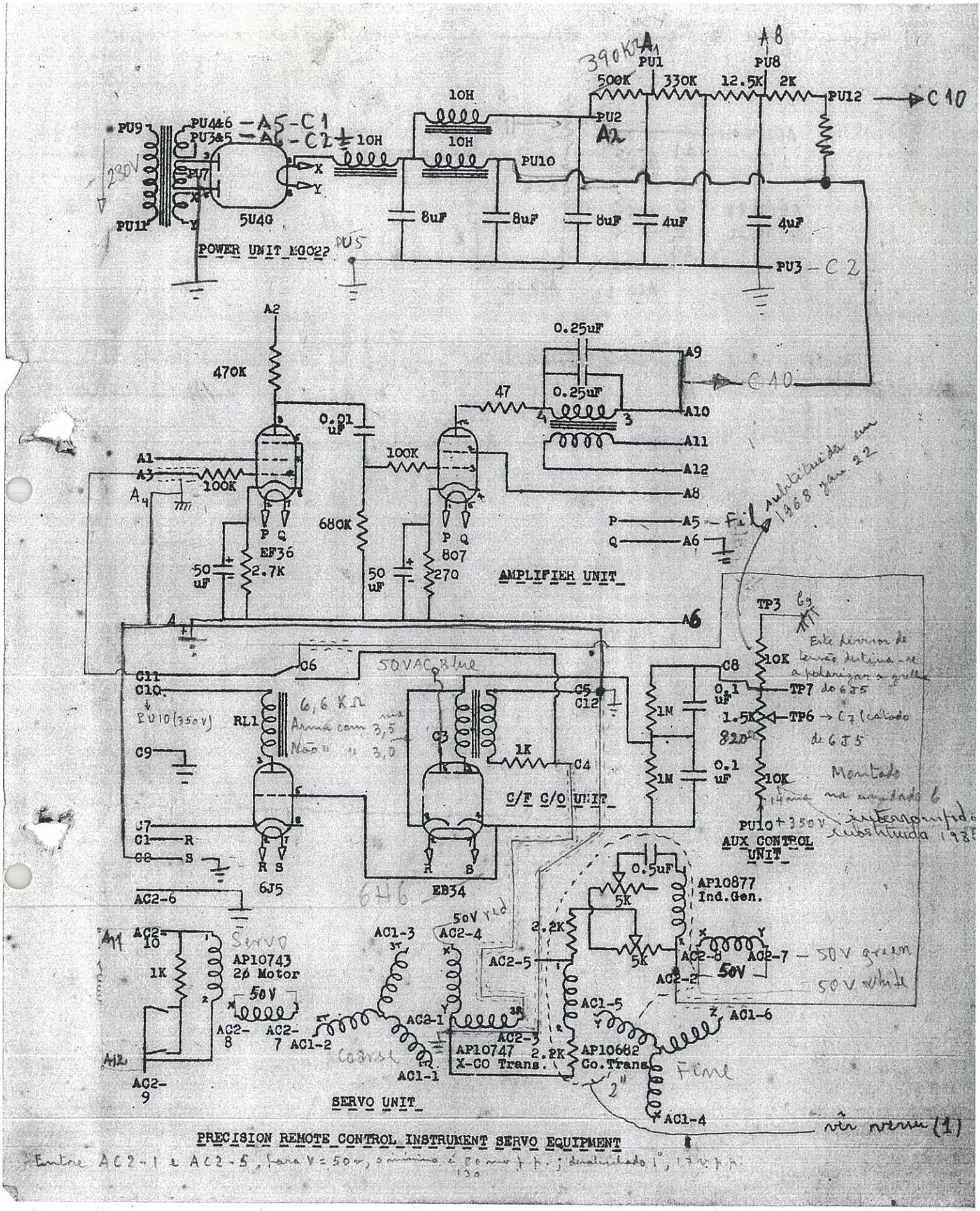
Two separate 50v. supplies are required, one to AC2-7 and 8 and the other to units as above.

R.P.C.S. 3.

COARSE

X - Coincidence XMTR AP 10747

faz sentido pq a força é + importante do que a velocidade



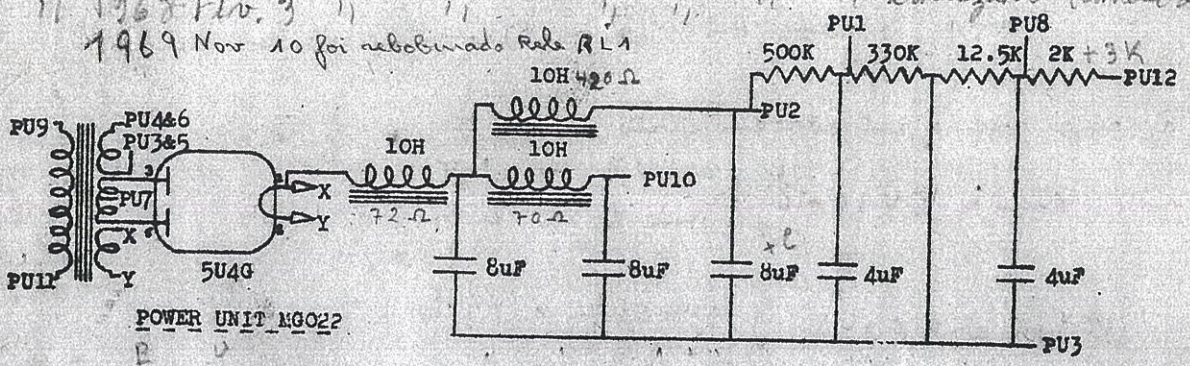
Entre AC2-1 e AC2-5, para V = 50v, o mínimo é 50 mv t.p.; desvio de 1°, 17 v t.p.

130

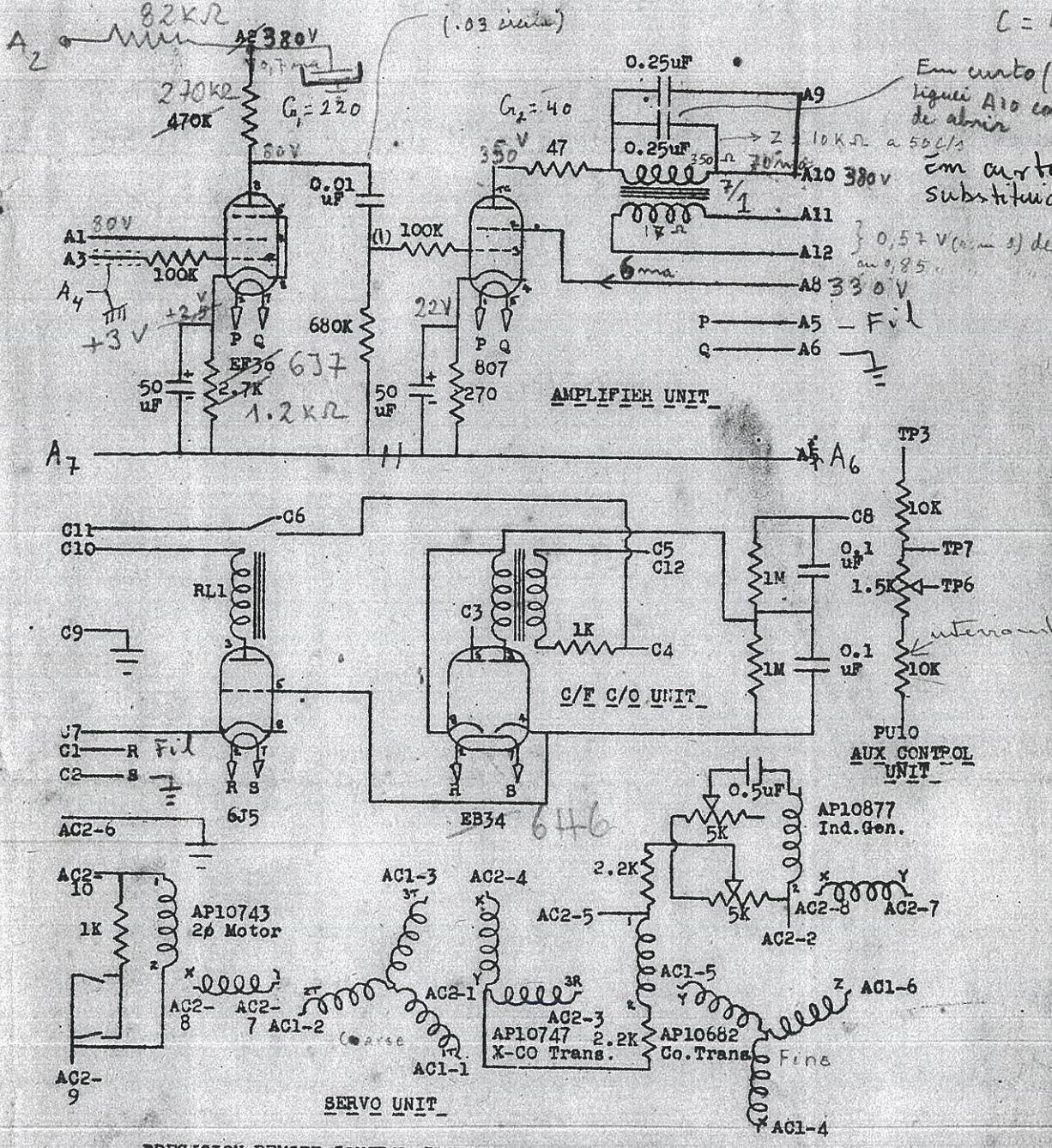
Em 1969 Nov 10 foi substituido o rele inversor de movimento do eixo, por um conjunto duplo de reles sendo retirados as réguas de Terminais que fazem parte deste circuito

1985 substituido rele RL1) estava interrompido
resistencia do divisor e ligação de
polarizaçao da grelha 6y5

Em 1967 Maio 28 foi substituida a 807 que estava [illegible] ergotada ...
" 1968 Fev. 3 " " " " " " " " " " comprável (comprada de qualquer)
1969 Nov 10 foi substituido Rele RL1



POWER UNIT MG022



PRECISION REMOTE CONTROL INSTRUMENT SERVO EQUIPMENT

(1) 0,24v p.p. com A_3 ligado a A_4 e A_7 — resulta do "hum"; sem os 6,3 dos filamentos cai para 0,04

MAINS POWER SUPPLY EQUIPMENT FOR SERVO AMPLIFIERS

We now have available a comprehensive Mains Power Supply Unit which has been designed specifically for use with servo systems. The unit consists of four main chassis which are suitable for incorporation into equipments, inter-unit connections being by means of 12 way Jones plugs and sockets. The four units are as follows:-

1. Mains Power Pack
2. Dual Power Pack
3. Capacitor Smoothing Unit
4. Stabiliser Unit

While these units may be used independently of one another, it is an advantage to use them to provide a series of outputs suitable for instance, for operating our standard servo amplifiers.

The main power pack consists of a mains transformer feeding four 5U4G rectifiers in parallel. These rectifiers are followed by a two-stage choke-capacity smoothing network to provide an unstabilised output of 350V D.C. at 900 mA. The centre tapped A.C. high voltage A.C. winding of the transformer is brought out to separate plug connections to be fed to the dual power pack which contains a further 5U4G rectifier and smoothing network to provide a 550V D.C. output at 200 mA. This unit also provides a plus 50V D.C. supply, the supply for which is derived from a mains transformer located in the stabiliser unit. This 50V D.C. output is employed as a screen supply for the CV.1056 valves in our servo amplifiers. The capacitor unit is employed to finally smooth the 350V 900 mA supply derived from the main power pack.

The stabiliser unit carries the previously mentioned mains transformer which also carries 6 separate 6.3V windings for supplying valve heaters throughout an

extensive servo system. The unit also contains two stabiliser circuits controlled by neon stabiliser tubes and series tetrode regulators which provide two separate 250V D.C. stabilised supplies. Each output is rated at 75 mA. The stabiliser unit also contains dropping resistors for providing a 350V D.C. supply to the pre-amplifier valves in the main servo amplifiers.

Sizes and weights of the units are as follows:-

			Overall Dimensions	Weight
Cat.No.	MG.040/1	Mains Power Pack	20" x 11" x 10" high	86lbs.
	MG.040/2	Dual Power Pack	11" x 8" x 9" "	18lbs.
	MG.040/3	Capacitor Unit	10¼" x 5¼" x 5½" "	10lbs.
	MG.040/4	Stabiliser Unit	18" x 10½" x 9" "	45lbs.

This equipment is sold only in sets of four units, but each set comprises a comprehensive mains power unit that has been specifically designed for use with servo systems, and users of our standard amplifiers will appreciate the facility offered by the availability of these units.

The price of a set of four units complete with circuit diagrams, valves and inter-unit connectors is £25, carriage paid, England and Wales.

DUAL REMOTE POSITION CONTROL SERVO SYSTEM

This system consists of two servo units and a single chassis on which is mounted two completely separate servo amplifiers.

The servo units consist of a steel panel carrying an A.C. shunt-wound commutator type motor, the armature of which is energised from the servo amplifier. To the servo motor is geared an Ipot and an induction generator for feed back purposes.

The Ipot may be employed in conjunction with, for instance, a remotely located Ipot, to provide a servo error signal which is used to actuate the appropriate servo amplifier.

The servo unit also contains provision for varying feed-back from the induction generator and for introducing a biasing voltage into the servo error circuit. The two servo units are practically identical in electrical circuitry.

The servo amplifier comprises two completely independent servo amplifier channels. The first valve a CV.1056 is used as a simple amplifier stage, the output of which is fed to a phase splitting stage, the dual outputs of which are fed to a push/pull amplifier feeding into a centre tapped output transformer. The output from this transformer is fed direct to the servo motor armature.

The screens of the CV.1056 valves should be provided with a stabilised supply of 250V D.C. This may be conveniently obtained from our mains power unit which was specifically designed for use with this system.

The gear ratio employed from the main servo motor to the Ipot is 1000:1 and from the main servo motor to the induction generator a step-down ratio of 3:2.

D.R.P.C.S.D. I. 5.8.58.

		Overall Dimensions	Weight
Cat. MG.041/1	Servo Unit No.1	11¼"x 11¼"x 7" deep	27 lbs.
MG.041/2	Servo Unit No.2	11¼"x 11¼"x 7" "	27 lbs.
MG.041/3	Dual Servo Amplifier	10¼"x 10" x 9¼"high	20 lbs.

The price of the complete assembly comprising two servo units and the dual amplifier is £35. This price, of course, excludes the cost of the transmitting Ipots if required, which must be ordered separately.

ELECTRO-HYDRAULIC SERVO POWER UNIT

Where a fairly large power output is required from a servo system incorporating a position control mechanism, it is normal to use a Magslip system to transmit back to the source of power, angular information to be compared in a suitable unit with angular information derived from a controlling mechanism. There are two main methods for deriving the desired power namely 1. purely electrical and 2. electro-hydraulic methods.

For the latter system, it is normal to employ a Magslip controlling transmitter in conjunction with a Magslip controlled transmitter (resetter), to compare outputs from these elements converting the difference in position to an angular movement of a Magslip hunter. Movement of the hunter rotor is used to control a hydraulic relay which permits potential energy initially supplied by an external source to be controlled and fed to an oil motor which forms the power converter.

The three major parts of such a system, namely the electric drive motor; the hydraulic pump, motor and relay assembly and the Magslip resetting assembly may be conveniently mounted in a self-contained hydraulic power unit.

Unit Details. The unit consists of a 0.6h.p., 415-440v. A.C., 3 phase induction motor, coupled through a tensioned totally enclosed chain drive to an oil pump mounted at the base of the unit. The pump, relay and motor assembly is manufactured in one basic unit and is located in the base. The controlling Magslip elements are mounted in a separate compartment located between the drive motor and the hydraulic unit, a control rod from the hunter is connected to the oil relay and the Magslip transmitter is geared through a worm drive to the output of the oil motor. A dog clutch, operated by an external lever is provided to disconnect the oil motor from the load, the resetting transmitter, however, remains in gear. Typical operation of this unit involves rotation of the external transmitter, either by an operator or by other external agency, rotation introducing an angular discrepancy between it and the resetting transmitter in the hydraulic unit. This in turn causes the hunter to operate the oil relay and to cause the oil motor to operate in such a direction as to rotate the load and the resetting transmitter until the latter is in the position of coincidence with the controlling transmitter. The output of the unit is 100lb.in. at 200r.p.m.

Mechanical Details. The overall size of the unit is 21" high x 14" x 8". The Magslip transmitter is geared to the output drive at a reduction ratio of 12.5:1. The output drive is via a keyed shaft 1¼" diameter carrying a friction pulley 4" diameter and 1½" wide. The total weight is 135lbs.

Cat. No. MG018. Electro-hydraulic servo power unit. £32. 10. 0.
Prices quoted for other supply voltages on application.

Cat. No. MG019. Oil pump, relay and motor assembly.
We can also supply the oil pump, relay and motor assembly alone (i.e. not including oil reservoir) at £8. 5. 0. each.

E.H.D.1. 7.12.56.

POLAR CO-ORDINATE PLOTTER UNIT

This unit has been designed to indicate and record the variation of two quantities in the form of a polar diagram. The principle of operation of the unit depends on the manual alignment of a rotating arm by the aid of a Magslip transmission system with a remote angular rotation. The length of the polar co-ordinate is controlled by an M-type repeater. Indication is provided by a lamp fitted with cross wires.

Constructional details. A heavy steel 4" x 1" U-section base 27" long carries a Magslip receiver and scale, a main bearing and slip ring assembly for the rotating arm and a handwheel controlled shaft which is coupled to the main arm and a rotating fiducial mark for alignment with the Magslip receiver indication by means of two worm and worm wheel drives of identical reduction ratio. The overall height of the unit is $6\frac{3}{4}$" and the weight of the unit 35 lbs.

The length of the co-ordinate is defined by the angular position of an M-type repeater (type AP 9297 q.v.) which rotates a lead screw carrying a nut and lampholder moving in a slot in the steel cylinder forming the main member of the rotating arm. Thirty revolutions of the M-type repeater cause the lamp to travel along the whole effective length of the arm - 15" and thus since the repeater performs one revolution per 24 impulses the lamp moves only 0.021" per impulse. The electrical supply to the lampholder and repeater is via a 5-membered slip ring assembly mounted beneath the worm wheel. In the zero position the lamp is $1\frac{1}{8}$" from the origin; the movement of the lamp is truly radial.

The angular part of the co-ordinate function is indicated by the Magslip receiver whcih in turn is fed by the remote Magslip transmitter. Local indication is provided on a 0-360° scale 4" diameter and calibrated in 1° divisions. Rotation of a hand wheel moves in synchronism the main arm and a disc carrying a fiducial mark which in operation is visually maintained in coicidence with the Magslip indication. One turn of the handwheel rotates the arm through three degrees, the torque required being only 500 g.cm.(approx. 7 oz.in.). There is fundamentally no reason against the instrument being made fully automatic by attaching the indicating fiducial disc to a Magslip coincidence transmitter and employing a two phase servomotor system to restore the dynamic error between the controlling and coincidence transmitters to zero. The system has obvious limitations in regard to the maximum rate of change of angle that can be tolerated as indeed has the existing manual control.

Cat. No. MG016. Price £8. 5. 0. including Magslip and repeater.

Plate glass sheets suitable for covering the unit or for carrying tracing or photographic recording paper can also be supplied. Size : 36" x 36" x $\frac{1}{4}$" thick.

Cat. No. MG017. Price £1. 7. 6. per sheet.

P.C.U.1. 7.12.56.

AUTOMATIC GYRO STABILIZER EQUIPMENT

Introduction:

This unit is intended for the stabilization of airborne equipment but may also be employed for seaborne apparatus. The equipment is used for line of sight stabilization of airborne radar scanners in which the rapid dynamic response provides a correction to better than 1° for a scanner speed of 24 r.p.m. when the maximum angular velocity of the correcting motion is 70° per second.

The principle of operation of the equipment is that the position of the output shaft and hence that of the controlled plane, is compared continuously with the horizontal datum provided by the electrically operated gyroscope contained in the unit. This comparison is effected by coupling the rotor of a synchro to the gyro gimbal ring, while the stator of the synchro is geared to the output shaft. The error signal thus obtained when misalignment exists, is amplified and fed into a phase sensitive detector-amplifier, the output from which operates the control phase of a two phase induction motor which in turn is geared to the output shaft. The two phase induction motor is provided with an integral induction generator to provide a stabilizing signal while the gyro gimbal ring is locked when the equipment is not operating, by means of a second servomotor which is controlled by a relay operated from the D.C. power supply.

Mechanical Construction:

The equipment is mounted on an aluminium alloy mounting platform size 20" x 7" which is fitted with two mounting brackets for attachment to a tubular frame. The platform carries the servo amplifier on one side and the gyro-servo-motor unit on the other. The amplifier is 7" x 4" x 5½" and is fitted with a four way chassis plug for provision of the power supply and a ten way chassis plug for connection to the gyro-servomotor unit. The ten way cable and connectors are supplied. The gyro-servomotor unit is 16" x 7" x 6", the housing being of aluminium alloy. This unit houses the gyroscope and associated locking servomotor, the synchro and the main two phase servomotor and gearbox. One gimbal ring of the gyro is connected direct to the synchro rotor while the stator is connected to the output shaft through a reduction gear train of ratio 2:3. The servomotor is geared to the output shaft through a reduction gearbox of ratio 203:1, while the output shaft carries a removable differential comprising a 96T spur gear driving three planetary gears which in turn mesh with an internal spur gear with 144T. The planetary gear carriage and the internal spur gear carry operating arms of effective length 4.187".

Automatic gyro stabilizer equipment - Mechanical construction cont'd.

The overall weight of the unit is 28lbs. Power supply is provided by a 24v. D.C. inverter providing an output of 115v. 400c.p.s. three phase. The inverter is 9" x 5" x 4" and weighs 10lbs.

Circuit Description:
The inverter input is 24v. D.C. at 12A. and the output 115v. 400 c.p.s. 0.5A, 3 phase, 100W at 12,000 r.p.m. It is fitted with a Lee centrifugal governor, voltage regulator and suppressor and has a particularly desirable electrical performance. It is of Bendix manufacture (Type No. 12123-1A).

The three phase supply is used to operate the gyroscope while individual phases areused to energise the servomotors and to provide H.T. voltage for the electronic amplifier. The amplifier employs two 12SN7 double triodes, one triode section being diode connected and used as the power supply rectifier. The input signal is fed to aninput transformer and hence to a single stage triode amplifier, the voltage output from which is fed to the commoned grids of the second double triode. The output from these is passed to a pair of saturable transformers, so connected as to provide a phase sensitive detector. The main power transformer provides the 400c.p.s. supply for the locking servomotor and via a separate secondary winding, the supply for the saturable transformers. One phase of the servomotor is permanently energised while the output from the saturable transformers causes the motor to rotate in such a way as to reduce the actuating error signal. Output from the induction generator is combined with the error signal from the synchro, thus providing some degree of velocity stabilization. The maximum gain of the amplifier is 1000.

The gyroscope is fitted with a rotating ball erecting mechanism which operates in those cases where the gyro spin axis is not parallel to the azimuth axis of the rotating controlled mechanism, thus tending to prevent the gyroscope from precessing.

The low rotor inertia of the main servomotor helps to provide the rapid response of the equipment and to give good dynamic accuracy. The output from the unit is 25 inch lbs. per degree of error of the position of the output shaft.

The price of the complete equipment is £24. 0. 0. which price includes power supply inverter, amplifier-servomotor unit connector and circuit diagram. The equipment is supplied in manufacturer's original cartons.

VELODYNE MOTOR GENERATORS.

The Velodyne motor generators type 73, 74 and 88 are probably the best known of all servo motors manufactured in the U.K. The types 73 and 74 are of similar dimensions and performance while the type 88 is considerably smaller and less powerful.

The Velodyne is essentially an electromechanical system in which speed of rotation of a shaft is accurately proportional to a control voltage. The complete unit consists of a motor and generator mounted in the same frame, the motor and generator armatures are wound on the same shaft, the generator field occupying one end of the frame and the motor field the other. The armature of the motor is fed with a substantially constant current, usually from a fixed voltage higher than the maximum back e.m.f. through a series resistance. The motor field, which is wound in two sections is connected directly into the anode circuits of two valves, the output valves of the amplifier. If the amplifier input is zero then the field current through the motor may be brought effectively to zero by suitable adjustment of the amplifier. If a voltage input is then applied to the amplifier, field current will flow and the motor will accelerate. The generator output voltage is so connected to oppose the actuating voltage and ultimately a state of equilibrium is attained where the motor rotates at constant speed. Smooth rotation at as low a speed as 4 r.p.m. is attainable. If a load is connected to the motor shaft, the speed tends to fall hence reducing the generator output and increasing the effective input to the amplifier. Thus the load on the motor may vary over a wide range without materially affecting the motor speed.

Velodyne motor generators may be used in many servo applications. A D.C. signal is required to operate the amplifier, this may be derived for instance from a tacho generator, thermocouple, photocell etc. The motor will then rotate at a speed directly proportional to the level of the D.C. input, to restore the system to the position of zero error.

The power available from a Velodyne is relatively small but as the maximum speed of rotation is very high, a high reduction gearbox may be used to provide considerable torque at medium speeds. We are able to supply gearboxes for the type 73 and 74 machines and have a limited quantity available for the type 88 version.

Further information on Velodyne motor generators may be found in J.I.E.E., Part IIIA, Vol.93,(1946) p.317 and p.1256.

V.D.I. 3.12.53.

Detailed Velodyne Characteristics

Type No.	Motor Field Max.	Gen. Fld. Sup.	Motor Arm. Sup.	Genrtr. Output	Stalled Torque g.cm.	Accel. rpm./sec.	Max. Speed rpm.	Length	Dia.
73	100mA	80v	250v 200mA	80v @ 2000rpm	1250	8000	6000	8"	3½"
74	100mA	24v	24v. 5A	80v @ 2000rpm	1500	9500	6000	8"	3½"
88	25mA	28v	24v 800mA	90v @ 9000rpm	180	5000	9000	5"	3"

VELODYNE AMPLIFIER Mk.II FOR USE WITH TYPE 73 or 74 VELODYNES

We are now able to offer a complete amplifier for use with the above velodynes. The circuit is practically identical with that described in the paper by Prof. Williams and Dr. Uttley reference to which is made on the preceding page. The size of the front panel is 9" x 8" and the depth 12". The amplifier is complete with an 80v. 2000c.p.s. power unit, which, however, may be readily removed should a 50c.p.s. supply be desired. The unit is fitted with a 12 way chassis plug for the velodyne and control circuit connections and a 2 way plug for the power input. The amplifier is supplied complete with circuit and layout diagram.

VELODYNE GEARBOXES

For use with Types 73 or 74. Reduction 250:1. 8" x 8" x 4"
For use with Types 73 or 74. Reduction 75:1. 5" x 5" x 3"
For use with Type 88. Reduction 206:1. 5" x 5" x 5"

SPLIT FIELD MOTORS

Type 86 split field motor possesses similar characteristics to the motor section of the Type 74 Velodyne but is, however, somewhat smaller in size.

Type 177 split field motor is for 24v. D.C. operation and has one of the ends of each of the two fields commoned with the armature. It thus forms a reversible 24v. series wound motor. The size is 8" long x 4" diameter.

PRICE LIST

Type 73 Velodyne Motor Generator	£5.15. 0.
Type 74 Velodyne Motor Generator	£5. 0. 0.
Type 88 Velodyne Motor Generator	£5. 0. 0.
Type 73 or 74 gearbox (250:1)	£1.15. 0.
Type 73 or 74 gearbox (75:1 Cat.G075)	£1.10. 0.
Type 88 gearbox	£1.10. 0.
Velodyne Amplifier Mk.II	£5.10. 0.
Type 86 Split field motor	£4. 7. 6.
Type 177 Split field motor	£1. 5. 0.

V.D.2. 19.8.55

INSTRUMENT SERVO MOTORS.

The OS 1597A Servo Motor is a machine fitted with an integral induction generator of the rotating cup type. The fields of both sections of the motor are energised from a 50 volt A.C. supply through a 6 uf container, while the motor armature is supplied via a matching transformer from the anode circuit of an 807 valve (maximum armature voltage 10 volts). The generator output is 2 volts per 1500 r.p.m. and is proportional to speed. The overall length of these motors is 6" and the shaft is ¼" diameter and 1" long. The overall diameter is 2½". Maximum speed is 2000 r.p.m.

The Type 2D Servo Motor has similar characteristics to the Motor Section of the Type OS 1597A but instead of being fitted with an integral induction generator it carries a rotating aluminium disc eddy current brake.

We also have in stock Amplifiers for use with the above, embracing a 230 volt A.C. power unit with 5Z4 Rectifiers and an Amplifier Section including 2 SP 61 and one 807 valves. The unit also includes input and output transformers and feed-back network. The machines may be controlled by means of an A.C. Potentiometer circuit or alternatively by means of a Magslip Resolver.

The Amplifiers are finished in grey hammered stove enamel and are priced at £13.10.0. each.

The prices of the Servo Motors are:

OS 1597A	£3.0.0. each.
Type 2D	£2.5.0. each.
Input Transformer for use with an Amplifier for either of the above instruments.	£1.5.0. each.
Transformer for matching 807 output to motor.	£1.5.0. each.

S.M.D.1. 21.5.54.

TORQUE AMPLIFIER UNITS.

These units enable angular rotation at low torque to be converted to an identical movement at high torque.

This is achieved by the use of two carbon cylinders around which are passed four turns of highly polished steel tape. The cylinders are driven in opposite directions at equal speeds by the motor unit, and when angular misalignment exists between the input and output shafts drive is transmitted through the frictional forces between cylinder and tape to the output shaft. When no misalignment exists no rotation of the output shaft occurs. The mechanism is so arranged that one cylinder transmits torque for rotation in one direction and the second for rotation in the opposite direction.

The motor employed in this unit is for 50v. 3 phase operation, 2800 r.p.m. and is mounted on top of the main housing which is of cast aluminium alloy. A reduction gear of 12:1 is incorporated in the unit, firstly through a pair of helical gears and secondly through a spur gear train. Input and output shafts are splined and fitted with gunmetal couplings. External grease nipples are fitted so that the unit need not be dismantled for lubrication purposes.

The size of the unit is 7" x $5\frac{1}{2}$" x $11\frac{1}{2}$" tall and is mounted on three feet. The input and output shafts are fitted $4\frac{3}{4}$" from the mounting face. The overall weight of the unit including motor is 24lbs.

Uses - many uses for these units will be apparent but the function of these units to amplify the torque available from an analogue computing element e.g. a ball and plate integrator which are inherently capable of delivering only very low torques, will be of particular interest. They also simplify the construction of a position servo equipment and minimise the need for the use of large Selsyn equipment for purposes of remote position control at low rates of change of position.

Price : £5. 0. 0. each.
Carriage Paid U.K.

T.A.D. 1. 26.5.54.

WAVEFORM GENERATORS

The first of these instruments employs a 3" Magslip transmitter with its rotor energised by a D.C. supply as the variable A.C. source.

This is a surplus unit which was used for testing purposes. The prime mover is a 24v. Klaxon motor Type EK5DB1, 1/20th h.p., shunt wound, and capable of 2,500 r.p.m. Geared to this motor are the 3" Magslip transmitter AP 6547 and a quadrant switch. The gear ratio is 1:1 in both cases. The motor shaft carries a strobe disc which is illuminated by a Neon lamp fed from the 230v. 50c.p.s. mains for calibration purposes. The speed of the motor is controlled by a switch which inserts 14 ohms into the armature supply circuit in one position and applies the full 24v. to the armature in the other. Fine speed control is provided in both positions by means of a 5 ohm 10 watt potentiometer. The motor fields are supplied direct from the 24v. source. The armature circuit is fitted with a choke capacity suppressor. The Magslip rotor is fed from the 24v. supply via a 60 ohm resistance and is shunted by a 25uF capacitor. Only one phase of the Magslip output is employed, the output being fitted with a phase reversing switch; the magnitude of the output is varied by means of a potentiometer (1000 ohms). The Magslip is rotatable through 180° for phasing purposes. Mains and 24v. input are via Breeze 4 way sockets and the quadrant switch output is via a similar 6 way socket. The centre contact of the switch is taken out to a Pye socket the Magslip output being treated similarly. The voltage output is in the order of 10-20v. A.C. and depends on frequency and load. Waveform is excellent.

These units are new and unused and are complete in returnable carrying case. Price: £5. 0. 0. each.

The second of these units is the surplus Magslip Unit Type 5 which consists of a T.R.E. 2C (AP 10748) Resolver driven by a Klaxon Type FM5CB1 220-240v. 50c.p.s. motor, 1/100 h.p., speed 1375 r.p.m. If the Magslip rotor is fed from an oscillator at a frequency of about 5Kc. then a 5Kc output is obtained from both stator windings modulated at the rotational frequency. This may be used as the generator for a circular time base. The Magslip rotor also carries a switch which closes during one half of a revolution and opens during the other. These units are brand new in tropical packing. Price £4. 10. 0 each.

The first unit mentioned above is our Cat. No. WFG No. 1. Dimensions are 9" wide x 8" high x 18" long. Weight is 31lbs.

The Magslip Unit Type 5 is our Cat. No. WFG No. 2. Dimensions are Base 17" long x 10" wide. Cover 6½" high. Wt. 20lbs.

SINE-COSINE POTENTIOMETER DATA

These instruments which are in new condition in maker's original packages, are based on the conventional rectangular card design for sine-cosine potentiometers. They have, however, several refinements incorporated which make them equal to the best currently produced in this country.

Sine-cosine potentiometers are, of course, indispensable as low frequency sine wave generators for servo systems and for rotating time bases.

Mechanical Details - The instrument is made with a cast aluminium case of 5½" overall diameter and 3⅛" deep. The total weight is 7 lb. Four mounting holes at the corners of a square of 4⅛" side. The resistance element is rotatable by a shaft carrying a hub which accepts a standard 3" Magslip gear while the contacts yielding the sine and cosine outputs is driven through a 60:1 reduction drive. There is provision for driving the contacts by hand, but there is also a complete mounting for an "M" type repeater motor. The unit is oil filled.

Electrical Details - The resistance element is wound on a rectangular former and has a resistance of 10,000 ohms. The winding is centre tapped and the three connections are brought out via slip rings and brushes to a small junction box. The lightly sprung ball contacts which are of course mutually spaced at 90° to give the sine and cosine outputs, are also connected to slip rings similarly connected to the junction box. Each brush holder carries two brushes to ensure a perfect contact with the slip rings. It should be noted that with a winding resistance of 10,000 ohms it is possible to use fairly heavy gauge wire which coupled with the fact that the unit is oil filled, makes for exceptionally long life.

Accuracy : plus or minus 1% of theoretical output.
Rating : 10 watts

Many of our customers will already be familiar with these instruments; the above description is of our new delivery which differs slightly from those previously supplied; our new stock is of an improved version of those previously available.

Price £3. 10. 0. each . Carriage extra on orders under £5. 0. 0.

BALL AND PLATE INTEGRATOR ASSEMBLY

This unit consists essentially of two parts:-
a. A conventional Double Ball and Plate Assembly and
b. A Variable Lever Multiplier, the output of which is coupled direct to the carriage carrying the ball housing.

The input to the integrator is through a 125:1 worm reduction gear, the worm being mounted in the same horizontal plane as the main mounting for the integrator. Alternatively, of course the plate may be driven through the existing $\frac{1}{2}$" shaft. The diameter of the plate is $6\frac{3}{8}$" and the output roller is 1" diameter. The latter is fitted with a coupling which fits directly on to the torque amplifiers described elsewhere in this brochure. Both roller and plate are ball race mounted, the force of contact between the plate and roller via the ball is adjustable by means of a screw adjustment fitted to the tensioning spring. The ball carriage is fitted directly on to a slide and is connected to the output of the variable lever multiplier assembly.

The ratio of this multiplier is changed by means of the rotation of a screw, which is driven through a pair of bevel gears by a horizontal shaft. Rotation of the screw causes the fulcrum of the multiplier to be raised or lowered in its mounting. The total distance travelled by the fulcrum is approximately $3\frac{1}{2}$". The position of the ball on the integrator is unaffected by an alteration in the position of the ratio of the multiplier. The input to the multiplier is through a spur gear 6" diameter x $\frac{1}{4}$" thick, 12.5 t.p.i., rotation of this gear causing the balls to traverse the plate. By virtue of the variable ratio drive, the extreme positions of the spur gear for complete traversing of the plate are 33° and 153°. A rack and pinion are also fitted to the integrator slide; the pinion rotates through $1\frac{1}{2}$ revolutions approximately while the ball traverses the plate.

General constructional details of the unit are as follows: The ball and plate assembly is mounted in a cast aluminium framework, the overall size of the unit including extension shaft for the plate drive is 9" x 12" x 9" high. The variable lever multiplier is 14" x 6" x 11" high and is mounted in a cast bronze framework. Slides and rack are in steel. The total weight of the two units is 42lb.

Price: £11.10. 0. complete.
Carriage and Packing Free United Kingdom.

B.P.1. 24.6.54.

MOTOR METADYNE SET No.1 Mk.1/1. TYPE T 9000

This unit comprises a motor driving two metadynes rated at 1250 and 250 watts respectively. The output characteristic of the Metadynes is almost triangular, the short circuit current being in each case 57-69 amps. The open circuit voltage is 152-174 volts and 75-87 volts respectively.

The driving motor has been designed to run from a 24—30 volt D.C. supply for use on mobile equipment. The no—load running current is about 30 amps and the full-load running current about 100 amps.

The plug connections to the unit are as follows:-

T5 and T6 Motor supply.

T1 is the output plug for the 1250watt Metadyne
Pin 3 output, Pin 1 output through compensator winding, Pin E junction of compensating winding and armature, Pins D and F are connections to an auxiliary winding (variator) provided for Servo stability only and not for control purposes. It should be noted that the voltage drop between Pins E and 1 may be used for feedback purposes.

T4 is the excitation input plug for the larger Metadyne, Pins M and B variator winding, Pin K centre tap.

T2 is the output plug for the smaller Metadyne
Pin 1 is again the output through the compensator winding, Pin 3 again the output direct from the armature.

T3 is the excitation input plug for the smaller Metadyne
Pins B, M and K etc. being connected as for the larger machine.

The variators may be conveniently excited through two 6L6 pentodes, the maximum current is 105 mA.

Mechanical Details

The three machines are built into a common frame, one Metadyne overhanging the main assembly. The overall dimensions are approximately 36" long x 12" diameter; the nett weight is 2 cwt.

The machines are of course manufactured by the Metropolitan Vickers Electrical Co. Ltd., and are new in original manufacturer's cases.

Price: £57.10. 0. Carriage Paid U.K.

THE AMPLIDYNE MOTOR GENERATOR

The Amplidyne is a typical example of a compensated cross-field generator. The cross-field generator may be considered analogous to two separately excited D.C. generators. These would be connected as follows:- A D.C. input to the field of generator A, produces an output from the armature which is in turn fed to the field of generator B. This produces an output from the armature of generator B. When this output is fed to a load through an auxiliary field winding in generator A producing a field in opposition to the exciting field, the analogy becomes more accurate as this represents an Amplidyne which, however has a compensating field winding which is effectively a second series field winding in generator A producing a field which cancels out the field due to the load current flowing through the first series field.

The Amplidyne consists essentially of a D.C. generator of special design mounted in the same frame as a D.C. driving motor. The generator comprises a two pole stator carrying a control field winding and compensating field winding. The armature is fitted with four brushes spaced 90° apart. Two opposing brushes are connected in series with the compensating field to the output load and the other two are shorted to form the quadrature circuit. There are also two other field windings, one for anti-hunt purposes and one in the quadrature axis which is short circuited.

Operation of the Amplidyne is as follows:- Passage of a small D.C. current through the control field winding produces a flux in the load axis; this in turn produces an e.m.f. in the quadrature circuit leading to a heavy current through the shorted brushes. This produces a large e.m.f. in the load axis which may be used to feed into an external load. The load current, flowing through the compensating series field, neutralises its own armature reaction effect and thus a very small control field current produces a large e.m.f. at the output terminals of the generator. It will be seen that in the analogy quoted above, the control field is equivalent to the field of generator A, the armature load winding is firstly equivalent to the armature winding of generator A. The quadrature winding is analogous to the field winding of generator B while the load winding is then equivalent to the armature winding of generator B.

A.D. 1. 3.8.55.

Specific Characteristics of Amplidyne Type 5AM31NJ18

These Amplidynes of American manufacture are used in turret control systems in aircraft.

The Driving Motor consists of a 27 volt D.C. eight pole compound wound machine with one series turn for quick starting. The rated speed is 8,300 r.p.m. The motor reaches 85% of its rated speed in less than one second.

The Generator is rated at a maximum of 8.8 amps. at 60 volts. The time rating is 10 minutes on and 20 minutes off at maximum current rating. Full field excitation in the order of 0.1 watt produces a load e.m.f. of 90 volts while maximum output is obtained with a number 2 field current of only 75 mA. Two built in potentiometers allow the amount of compensation to be varied at will. The shorted quadrature field winding decreases irregularities which would otherwise exist due to commutation effects at the quadrature brushes and the anti-hunt field is normally connected in series with a capacitor and resistor to prevent hunting by opposing the quickly changing field due to the back e.m.f. of the driving motor when for instance its direction of rotation is reversed.

Mechanical Details of the instrument are as follows:- Length 12", Diameter $5\frac{3}{4}$", Weight 28lbs. The machine is mounted on a cast integral platform with four hole fixing at $4\frac{1}{2}$" x 5" centres.

Applications

Many uses of such a versatile and efficient power amplifier will be apparent to the engineer but the following may be of interest:

Winding Gear: control of speed, acceleration, tension etc.
Electrolytic Processes: current control.
Radar: position control of scanners etc.
Atomic Energy: position control of reactor rods.
General Engineering: machine tool control.

Selected Bibliography

1. The Amplidyne Generator Applied to Speed-controlled electric gun turrets for aircraft. L.A.Zahorsky, Electrical Engineering, 64, 221. (May 1945).
2. Amplidyne Regulating Systems. B.Adkins, Journal of the Institution of Electrical Engineers, 94, Pt.IIA, 49. (May 1947)
3. Rotating Amplifiers. Edited by M.G.Say, Geo Newnes, 1954.

We have in stock Amplidynes of the above Type (5AM31NJ18) Cat. No. A001. Price 85/-

A.D. 2. 3.8.55.

IPOT DATA

The Ipot, or Inductive Potentiometer, is a precision wound auto transformer carrying a toroidal winding on a Mumetal core. One of its main uses is for use in electro-mechanical computers and many mathematical operations may be carried out electrically by its use. The instrument may broadly be described as a precision manufactured "Variac" type of transformer with refinements, the output derived from the moving contact, in the case of a Linear Ipot being accurately proportional to the angle of rotation. As in the case of conventional potentiometers, Ipots may be manufactured with graded windings thus allowing any desired law to be followed. The equivalent instrument in the magslip range is the "Linvar" which however, requires more energising power than the Ipot.

Mechanical Details. The Ipot winding is of enamelled copper wire accurately spaced on a former over the laminated spiral tape core. The bearing surface for the main brush consists of a flat track from which the enamel has been removed. The brush is of special construction and consists of a carbon wheel which interpolates between the turns of the winding. A 340° rotation is possible by this contact arm; there is a second contact rotatable through 60°, bearing on its own track on the inside face of the core. The main contact arm is rotated by the main spindle while the auxiliary contact is driven by a preset control mounted off centre.

The instrument is octagonal in shape and weighs 9½lb. The dimensions of the body are: distance across flats 6½", height 2.312" and overall height 3.687". The Ipot shaft is fitted with a hub at both ends, the hub dimensions being identical to those of a standard 3" magslip.

Electrical Details. Ipot connections are brought out to a numbered terminal block: 1. A end of winding. 2. Auxiliary moving contact. 3. Main moving contact. 4. 5° from B end of winding. 5. B end of winding. The D.C. resistance of the winding is 60 ohms. and its impedance at 50 c.p.s. is 20,000 ohms. The normal operating conditions for the instrument are for it to be used with an input of 50v. 50 c.p.s.; the core is nearing saturation at this voltage. When the output is delivered to a load of say 10,000 ohms. the accuracy is 0.1% of the input voltage. Currents of up to 0.5A may be taken from the instrument but under these conditions the accuracy is considerably lower.

We have in stock several types of graded Ipots all of which carry windings closely following a sine law but which differ in the relationship between the actual angle turned through by the Ipot shaft and the angle, the sine

function of which is proportional to the actual electrical output, thus in the case of Catalogue No. P.032 the ratio of actual angle to functional angle is 4.30:1 and in the case of Catalogue No. P.031 and P.033 4.80:1, thus Catalogue No. P.032 is capable of producing the sine function of angles from 0 to 79° and P.031 and P.033 from 0 to 66.6°. The accuracy of output of the sine function expressed as a percentage of the true value at the particular setting, is to within plus or minus 3%.

Uses. The auxiliary contact may be used to provide an adjustable linear voltage drop over the whole winding; it may also be driven independently to provide a non linear output. Two Ipots may be used to effect multiplication by feeding the output from one slider to the whole of the second Ipot. If the rotation of the first Ipot is x and of the second y then the output from the slider of the second Ipot is k xy where k is a constant depending on the supply voltage. If the output from the first Ipot is fed to the slider of the second then the voltage across the whole winding is k x/y. Also if the Ipot is energised through one end and the slider, the output between one end of the Ipot and the other is k 1/x.

Further examples of the use of the Ipot may be found in "Electronic Engineering" for June and July 1951 in a series of two articles by J. Bell, M.Sc., M.I.E.E.

Price List

Catalogue No.	British Service Description	Law	Range	Price
P.001	ARL.No.1 Mark 1 AP.10723 KA.85069	Linear	0 to 340°	100/-
P.031	KA.85069/31	Sine	0 to 66.6°	115/-
P.032	ARL.No.4 Mark 1 KA.85069/32 OS.1596A	Sine	0 to 79°	120/-
P.033	ARL.No.5 Mark 1 KA.85069/33 OS.2065A	Sine	0 to 66.6°	115/-

MAGSLIP ASSOCIATED EQUIPMENT.

We hold large stocks of Mechanical and Electrical Equipment associated with Magslips which render their incorporation into equipment a much simpler matter than would be the case if these items had to be manufactured. A few of these are mentioned below.

Magslip Clamping Rings.
These rings greatly simplify the mounting of all Magslips. An element may be mounted by inserting the spigot of the Magslip into a hole in a panel (2.876" for 3" types and 2.093" for 2" types): the clamping ring then fits over the other end of the Magslip and is secured to the panel by means of four screws.
Our Catalogue No. OS 10559 for 3" type.
Our Catalogue No. OS 2000 for 2" type. Either size 2/- each.

Gun Metal Mountings.
The power that can be dissipated in a Magslip may be safely increased providing the Magslip is mounted on a heavy panel to which contact is improved by means of a cast housing for the Magslip. We can supply Gun Metal Mountings for 2" Magslips for this purpose which in addition enable the element to be mounted on panels of less than normal thickness. These are accurately machined to accept the spigot of the Magslip and accepts four 2 B.A. screws for mounting. External dimensions are 2⅜" x 2⅜" x 1". Catalogue No. G050. 4/6. each.

Magslip Cable.
This cable is brand new stock and is packed in 100 yard coils. It comprises 5 cores each double rubber covered and colour coded. Each conductor is 9/.012" tinned copper. The outer covering is braided black Mandemite and varnished. This cable is ideal for Magslip and Selsyn transmission systems.
Catalogue No. G057. 10d. per yard or 70/-. per hundred yard coil.

Phasing Mountings for 2" Receivers.
For use where a mechanism has to be aligned manually with the indication of a Magslip Receiver. With provision for gear mounting. Catalogue No. G051. 25/- each.

Phasing Mountings for 3" Magslips.
Consist of two steel end plates with provision for mounting the Magslip body on rollers which are supplied with the mounting.
Catalogue No. G052. 6/6 each.

Improved Phasing Mountings for 3" Magslips.
Rotation of the Magslip in the previously mentioned mounting is restricted to that which is allowed by the flexibility of the leads to the Magslip terminals. This item is provided with 6 auxiliary slip rings to which contact is made via Magslip carbon brushes. The Magslip is mounted in a ball race thus assuring free rotation and the stator housing of the Magslip may be fitted with a gear enabling the Magslip body to be rotated externally. The slip ring assembly is provided with a cover and the whole unit forms a really effective phasing mounting for a 3" Magslip. These mountings are supplied complete with brushes and slip rings and gear. Catalogue No. G049 may be used to drive the Magslip stator. Catalogue No. G053. 35/-. each.

M.A.L. 8.12.53.

Magslip Associated Equipment cont'd.

Mumetal Screening Cans for 2" Transmitters Cat.No. G054. 4/-. each.

Steel Screening Sleeves for 3" Magslips complete with ball race mounting. Catalogue No. G055. 5/-. each.

Magslip Pointers.
These are essential for obtaining accurate indication from a 2" Receiver. For indication on a circular scale 3½" diameter. (Type 34220/8). Catalogue No. G056.

Black-out Discs.
For use with 2" Receivers. Enable a mechanism to be turned manually in accordance with the indication of a 2" Receiver. The mechanism is coupled with the Magslip stator which in turn carries a coloured disc. When the mechanism is being turned at the same rate as the Magslip indication (and the black-out disc) the colour is visible on the Magslip dial. A lagging or leading motion causes either a red or white colour to become visible. Black out disc and coloured scale Catalogue No.G058. 7/6 each.

Magslip Gears.
In assessing the value of the gears in this list it should be remembered that the standard 3" Magslip hub accepts a gear with a 1" diameter hole and the standard 2" Magslip accepts a gear with a 0.812" diameter hole.

Cat.No. G003. Spur Gear, 3" dia x 0.812" hole x 0.125" thick 12.5 t.p.i. 3/6 each.
Cat.No. G007. Spur Gear, as G003. but with 1" dia.hole 3/6 each.
Cat.No. G010. Spur Gear, as G003. but with 0.375" hole 3/6 each.
Cat.No. G006. Spur Gear, as G003. but with 0.25" hole 3/6 each.
Cat.No. G012. Spur Gear and coaxially mounted Pinion, large gear as G003, pinion 0.5" dia., 12.5 t.p.i. 5/-. each. For mounting on 0.25" dia. shaft.
Cat.No. G004. Spur Gear, 3.312" dia x 1" hole x 0.125" thick 12.5 t.p.i. 4/-. each.
Cat.No. G013. Spur Gear, 2.75" dia x 1" hole x 0.125" thick 12.5 t.p.i. 3/6 each.
Cat.No. G018. Spur Gear, 2.25" dia x 0.187" hole x 0.187" thick 12.5 t.p.i. 4/- each.
Cat.No. G002. Spur Gear, As G018 but with 1" hole. 4/- each.
Cat.No. G019. Spur Gear, Fibre, mounted on steel bush. 12.5 t.p.i. 2.25" dia x 0.25" x 0187" hole. 4/- each.
Cat.No. G022. Spur Gear and coaxially mounted Pinion coupled by friction clutch. Dimensions as G012. 7/6. each.
Cat.No. G024. Worm and Pinion drive giving 60:1 reduction. Pinion is 2.75" dia. x 025" thick with 1.0" hole. Worm is for 0.375" shaft. 7/6 pair.

Cat. No. G027. 45° Bevel Gear for 2" Magslips. Two provide a useful 1:1 90° drive between two 2" transmitters. 2" diameter x 0.812" dia. hole. 4/- each.

Cat. No. G028. Worm and Pinion Gear 4.062" dia x 3.375" dia holel Worm mounted on a shaft 7.25" long x 0.5" dia. Reduction 60:1. Gear tapped with six 4 B.A. holes for fixing purposes. 7/6 each.

Cat. No. G030. Helical Gears (Pair). For providing a 90° drive. Each gear 1" dia. x 0.375" dia. hole. 6/6 pair.

Cat. No. G031. Spacing Washer. For 3" Magslips. 0.093" thick. Enable a gear thinner than 0.25" to be fitted to the standard Magslip hub. 9d. each.

Cat. No. G032. Scales. For 2" transmitters. Calibrated 0-60 (in units) anticlockwise. S.R.B.P. 2½" dia x 0.812" dia hole. 2/- each.

Cat. No. G033. Scales. For 2" transmitters. Calibrated 0-10 (in 0.1 unit divisions) anticlockwise. S.R.B.P. 2½" dia. x 0.812" dia. hole. 2/- each.

Cat. No. G034. Flywheel. Brass. 2" dia. x 0.187" dia. hole x 0.313" thick. 2/- each.

Cat. No. G035. Strobe Disc. Ball race mounted with semi-flexible drive. Disc. 2" dia. 4/- each.

Cat. No. G036. Ballrace. 2.625" ext. dia. x 2.062" int. dia. x 0.25" thick. 3/- each.

Many other sizes of ballraces in stock.

Cat. No. G160. Spur Gear. Dural. 3½" dia. x 0.812" dia. hole x 0.182" thick. 105T, 10t.p.i. 3/6 each.

Cat. No. G161. Spur Gear. Dural. 2.25" dia. x 0.25" dia. hole fitted bush x 0.182" thick. 63T, 10t.p.i. 3/- each.

Cat. No. G062. Base Mounting for 3 - 3" Magslip Transmitters. This assembly comprises a light alloy framework which holds three 3" Magslip transmitters, the position of whose stators can be adjusted and locked by means of locking screws on the upper members of the mounting; the whole assembly may be bolted to a base plate by means of 8 - 0 B.A. bolts. 15/- each.

Cat. No. G065. Spur Gear. Steel. 5.093" dia. x 1" dia. hole x 0.25" thick. Centre of teeth displaced 0.375" from mounting face. 153T, 10t.p.i. 5/6 each.

Cat. No. G066. Output drive from N Type Repeater motor. Comprises a lead screw driven through a spur gear reduction drive meshing with the pinion of the repeater. The total linear movement is 2.15" produced by 26 revolutions of the repeater. The overall size is 5.75" x 2.75" x 2.75". 8/6 each.

Cat. No. G068. Spur Gear and Coaxially mounted Pinion. Gear 2.182" dia. 70T 10t.p.i., Pinion 18T, 0.562" dia. to mount on 0.25" shaft. 5/- each.

Cat. No. G069. Spur Gear and Coaxially mounted Pinion. Gear 2.182" dia. 72T 10t.p.i., Pinion 20T, 0.562" dia. to mount on 0.25" shaft. 5/- each.

Cat. No. G049. Spur Gear. Dural. 5.182" dia. x 0.2" thick x 2.344" dia. hole. Reverse side recessed 0.093" on a 3.062" dia. 125T, 8t.p.i. Drilled to accept three csk. head 4 B.A. screws. 5/- each.

Cat. No. G067. Operating Handle for 3" Magslip Transmitters. 0.25" thick steel disc fitted with a small handle mounted 1.125" from the axis of rotation. 2/- each.

Cat. No. G070. Spur Gear and Coaxially mounted pinion. Spur gear 1.109" dia. 72T. Pinion 0.593" dia. 15T 8t.p.i. The spur gear meshes with the standard AP 9298 repeater motor pinion. Hole 0.25" dia. 4/- each.

Cat. No. G071. Spur Gear. S.R.B.P. 8" dia. x 2.25" hole x 0.25" thick. 256 T, 10t.p.i. 7/6 each.

Cat. No. G072. Spur Gear. Gunmetal. 3.125" dia. x 0.153" thick x 0.375" dia. hole. Centre of teeth displaced 0.438" from mounting face. 100T, 10t.p.i. 5/6 each.

Cat. No. G073. Spur Gear. S.R.B.P. 4.5" dia. x 0.818" hole x 0.25" thick. Steel hub. 144T, 10t.p.i. 5/- each.

These gears (Cat. No. G072 and G073) form a useful 1:1 drive between a 2" and a 3" Magslip.

Cat. No. G083. Worm and Pinion reduction gearbox. This is a gear assembly mounted on a cast iron bracket and yielding a 20:1 reduction. The output shaft is 0.375" dia. This unit can be used in conjunction with Selsyns Cat. No. S001. 10/- each.

Cat. No. G089. Meter. 2½" dia. Range 0-70volts. A.C. 50c.p.s. with standard Magslip voltage 45-55volts indicated in red. Manufactured by Weston, U.S.A. 15/- each.

Cat. No. G092. Magslip Receiver Panel Mounting. This unit is an extremely attractive housing for a Magslip Receiver and provides a simple method of panel mounting for a Magslip Receiver and dial assembly. A Receiver is housed in a cast aluminium frame by means of the normal Magslip clamping ring while attached to this housing is a scale and bezel, complete with persepz window. The internal diameter of the scale is 6.125" and the external diameter is 7.75". The scale plate is readily removable for recalibration. Calibration of the mountings varies somewhat but a typical example is one calibrated from 60-0-180° through 240° of scale in 5° divisions, while the 30-0-30° position is further subdivided in 1° divisions. The overall diameter of the scale and cover is 8" while provision is made for four hole fixing with 6" between centres. The weight of the mounting and scale is only 2lbs. 25/- each.

For an alternative method of mounting Magslip Receivers please see page M.A.14 of our list.

Cat. No. G162 Magslip Scale. Nickel silver engraved with two concentric scales. Overall dia. 4.875", central hole 0.625" dia. material thickness 0.047". Outer scale calibrated 0-10 clockwise in 0.1unit divs., the inner 0-5 in 0.1unit divs. 7/6 each.

Cat. No. MG020. Reversible Synchronous Motor. Rated at 10VA, 100v. 50c.p.s., 3000r.p.m. Overall dimensions 3" dia., 2½" long with shaft ½" long carrying pinion 14T, 0.310" dia. The mounting flange is 3.25" dia. with two ½" lugs drilled with two 2BA clearing holes 3½" between centres. Supply is via three leads coded green red and green, the motor is run with 2uF across the red and black leads the 100v. supply being connected to the red and green leads. The motor is reversed by connecting either the red or black leads to the supply, the green lead being common. 15/- each.

Instrument gear trains and Computing Units.

Cat. No. G093J. Differential Unit. Consists essentially of a cylindrical phosphor bronze gear differential assembly with one direct input to the differential and one worm reduction of 5:1. The output shaft is taken through the base of the mounting via a pair of bevel gears. The unit thus yields a reduction of 4:1 with one input fixed and 20:1 with the other. Input drives are via couplings (one 1" and one 2") and the output anti backlash gear has 38T and 2" dia. The body of the unit is cast aluminium alloy and the overall size 6¾" x 4½" x 6¾" high (plus 2⅜" shaft below mounting face). Mounting centres 3½" x 3⅜". Weight 6lb.

Price 35/- each.

Cat. No. G094N. Differential Unit. A cylindrical phosphor bronze gear differential assembly with one direct input to the differential and one worm gear reduction of 5:1. The output is taken horizontally at right angles to the main shaft of the differential. The unit yields a reduction of 6.1:1 with one input fixed and 1.22:1 with the other. Input drives are via couplings (one 1" and one 2") and the output bevel gear is 1⅜" dia. with 66T. The body of the unit is cast aluminium alloy and the overall size 6⅝" x 4⅜" x 7½" high. (plus 4" for removable output shaft). Mounting centres 3⅜" x 3⅜". Weight 5lb.

Price 25/- each.

Cat. No. G095E. Differential Unit. A cylindrical phosphor bronze gear differential unit with two concentric inputs and an anti backlash output taken through the base of the unit via a pair of bevel gears. The unit yields a reduction of 2:1 when one input is fixed and 1:1 when the other. The input gears are 5" and 2" dia. and have respectively 192T and 80T the latter being of the anti backlash type. The output gear has 76T and is 4" in dia. The overall size of the unit is 5" x 5" x 9½" high. (plus 4" below mounting face). Three hole fixing. Weight 7lb.

Price 35/- each.

Cat. No. G096V Differential Unit. A cylindrical phosphor bronze gear differential unit with two concentric inputs and two outputs from the differential. The input gears are 5" and 2" dia. and have respectively 192T and 80T the latter being of the anti backlash type. The gear ratios are 1:2 and 1:4 respectively while a gear train to a further anti backlash gear yields a reduction of 55:13 from the main output; the output gear has 110T and is 3" dia. The main output is through a removable shaft 6" long inclined downwards at an angle to the horizontal. The overall size of the unit is 5" x 5" x 10" high (plus shaft 6" long) Three hole fixing. Weight 8lb.

Price 40/- each.

Cat. No. G097A. Indicator drive Unit. A cast aluminium alloy stand carries an input shaft coupled via bevel gears to a vertical shaft to which is geared a pointer through a 12:1 reduction drive. An output with reversed sense to the input is concentric to the input. Size 9½" x 3" x 14½" high. Weight 3lb.

Price 15/- each.

Cat. No. G105. Geared Mounting for two 3" Magslip Transmitters.
This unit consists of a cast aluminium alloy housing for two 3" Magslips and includes two AP 6547 transmitters or one AP 6547 and one AP 10855 transmitter. These Magslips are geared to each other with a reduction ratio of 18:1 and carry circular scales graduated 0-360° and 0-20° respectively. These scales are 2" in diameter and on the fine transmitter 1° is represented by a 7.5m.m. wide calibration. This enables the rotation of the coarse transmitter to be remotely indicated to an accuracy of better than four minutes of angle by means of two Magslip receivers. The input gear is of stainless steel and is of the anti-backlash type (96T, 12.5t.p.i., 2.5" dia.) and is mounted directly on the hub of the fine transmitter. The unit is mounted on a rectangular base 5" x 2.75" and mounting studs are fitted.

Price £5.15.0. each.

Cat. No. G106. Geared Mounting for 3" Magslip Transmitter.
A similar unit to G105, but in this case the scale providing the coarse indication is not mounted on the Magslip but on an auxiliary shaft. The instrument thus gives remote indication of the transmitter shaft, the scale attached to which is 2" in diameter and divided into twenty divisions each of one unit. The Magslip is geared through a 5:1 reduction train to another shaft carrying a further scale calibrated 0-100 in divisions of twenty units. The input gear is of stainless steel and is of the anti-backlash type(96T, 12.5t.p.i., 2.5" dia.). This gear is mounted on the transmitter hub.

Price £3.10.0. each.

Cat. No. G104. Vernier Scale. Consists of a heavy brass disc 6.438" dia. x 0.125" thick x 1" hole calibrated 0-36 x 0.1 divisions with vernier scale fitted with stand off mounting facilitating a reading accurate to 6 minutes of angle. The characters are reversed and are intended to be viewed through a mirror. Particularly suitable for Ipots but may also be used for 3" Magslip transmitters.

Price 7/6 each.

Cat. No. G116. Calibrated Disc for direct attachment to the hub of a 2" Magslip transmitter. The disc is 2" in diameter and is calibrated 0-10 x 0.1 unit divisions.

Price 2/- each.

Cat. No. G117. Calibrated Disc for direct attachment to the hub of a 2" Magslip transmitter. The disc is 1.5" dia. and is calibrated 0-90 in 10 unit divisions extending over 180° of scale only. Price 2/- each.

Cat. No. G118. Calibrated Disc for direct attachment to the hub of a 2" Magslip transmitter. The disc is 2.688" in dia. and calibrated 0-360° in 10° divisions.

Price 2/6 each.

M.A.8. 21.5.54.

HELICAL _ INSTRUMENT_ _GEARS.

Cat.No.G108. 108T L.H. 2.75" diameter. Idler gear on 0.188 shaft. 4/- each.

Cat.No.G109. 108T R.H. 2.75" diameter x 0.25" thick x 1" hole. 4/- each.

Cat.No.G110. Helical Gear and Coaxially Mounted Pinion Gear 108T. L.H. 2.75" diameter x 0.188" thick x 1" hole. Pinion 18T R.H. 0.25" thick. 5/- each.

Cat.No.G111. Helical Gear and Coaxially Mounted Pinion. Gear 108T L.H. 2.75" diameter. Pinion 20T. R.H. Mounted on gun metal bracket. 5/6 each.

Cat.No.G112. 80T R.H. 2" diameter x 0.188" thick x 0.182" hole. 3/6 each.

Cat.No.G113. 54T. R.H. 1.375" diameter x 0.156" thick x 0.188" hole mounted on bracket. 4/- each.

Cat.No.G114. Spur Gear and Coaxially Mounted Pinion. Gear 80T L.H. 2" diameter. Pinion 20T R.H. Mounted on bracket. 5/6 each.

Cat.No.G115. 54T L.H. 1.375" diameter x 0.156" thick x 0.812" hole. 3/6 each.

Cat.No.G122. 108T R.H. 2.75" diameter x 0.188" thick x 0.812" hole. 4/- each.

Cat.No.G125. 80T R.H. for attaching direct to 2" Magslip Transmitter hub. Centre of track displaced ½" forward from hub face. 4/6 each.

MEMB. OF SOCIETY OF INSTR. TECH.

Cat.No.G090. Spur Gear 6.625" diameter x 0.125" thick x 1" hole. 265T. 12.5 t.p.i. 6/- each.

Cat.No.G099. Spur Gear 2.687" diameter x 0.125" thick x 1" hole. 108T. 12.5 t.p.i. 4/- each.

Cat.No.G100. Spur & Coaxially Mounted Pinion (Idler gear). Spur Gear 2.687" diameter x 0.187" thick. 108T. Pinion 0.5" diameter x 0.25" thick 18T. Both 12.5 t.p.i. 5/- each.

Cat.No.G101. Spur Gear & Coaxially Mounted Pinion mounted on bracket as G100. Spur Gear 2" diameter x 0.187" thick x 80T. Pinion 0.5" diameter x 0.25" thick. 18T. Both 12.5 t.p.i. 4/6 each.

Cat.No.G102. Spur Gear. Idler mounted on drive-in shaft. 2.687" diameter x 0.125" thick. 108T. 12.5 t.p.i. fitted with coupling to drive for example a Potentiometer shaft. 4/- each.

Cat.No.G103. Spur Gear & Coaxially Mounted Pinion coupled through friction clutch. Spur Gear 2.687" diameter x 0.187" thick. 108T. Pinion 0.5" diameter. 0.25" thick, 20T both 12.5 t.p.i. mounted on bracket. 6/- each.

Cat.No.G127. General Description as Cat.G101 but fitted with mounting bracket and shaft. 5/- each.

Cat.No.G128. General Description as Cat.G099 but mounted as an idler gear on 0.188" diameter shaft the gears being 0.188" thick. 4/- each.

Cat.No.G129. Spur Gear & Coaxially Mounted Pinion coupled by idler gear mounted on shaft. Spur gear is as Cat.No. 099 but is 0.188" thick. Pinion is 0.5" diameter and has 20T. 12.5 t.p.i. 5/- each.

Cat.No.G130. As G099 but 0.25" thick. 4/- each.

Cat.No.G131. Spur idler Gear on Bracket 1" diameter, 0.188" thick x 0.25" hole. 40T. 12.5 t.p.i. 3/6 each.

Cat.No.G132. Spur Gear 2.25" diameter x 0.25" thick x 1" hole, 90T. 12.5 t.p.i. 4/- each.

Cat.No.G133. Spur Gear & Coaxially Mounted Pinion. Spur Gear as G099 but 0.188" thick. Pinion 0.5" diameter. 20T. 12.5 t.p.i. Mounted on gun metal bracket. 5/- each.

MECHANICAL COMPUTING ASSEMBLIES

RESOLVER PANEL.

This unit comprises a conventional three slide resolver unit. The position of the rotating vector slide is variable from 0-43° by means of a plane cam which has 300 teeth (10 t.p.i.) and which is 10" in diameter. We normally supply an operating pinion for use with this cam which is 0.65" in diameter and which has 20 teeth and an 11/16" hole.

Movement of the cosine slide is produced through a pair of bevel gears and thence through a lead screw giving a total movement of 5.4". One revolution of the input shaft produces one inch movement of the cosine slide. Motion of the sine slide is transmitted to a rack attached to the slide and thence to a shaft, one revolution of which is equivalent to 2.3" of the rack. The total movement is 4.2".

The whole assembly is mounted on a cast aluminium panel. The slides are of steel and brass, the gearing of phosphor bronze. The lead screw is of steel. The total weight of the unit is 13lbs. and its overall size 15" x 16" x 3½".

Resolver Panel Cat. No. G134, Price 95/-.
Driving Pinion Cat. No. G150, Price 3/6.

LEAD SCREW ASSEMBLY No. 1.

This unit consists essentially of a lead screw of approximately 0.6" diameter, the nut of which runs in a slide mounted on a cast base. Ten revolutions of the screw produce one inch movement of the carriage, the total available movement of which is 8.4". The screw is mounted in ball race mountings separate from the main casting. The slide mounted carriage carries a pin 0.3" diameter and 0.3" high. The lead screw is fitted with a spur gear 2.25" diameter with 66 teeth.

The overall size of the unit is 13" x 3½" x 2½" high and the weight 3½ lbs.

Lead screw assembly No. 1, Cat. No. G135, Price 25/-.

LEAD SCREW ASSEMBLY No. 2.

This is intended primarily for use as a limiting screw to limit the motion of a mechanism to 60 turns of the screw. The phosphor bronze nut may, however, be drilled to carry an operating pin etc. The total motion of the nut is 3.1" and twenty revolutions of the screw produce one inch movement of the nut. The screw is ball race mounted on cast aluminium brackets and is fitted with an input spur gear 1.45" diameter with 44 teeth.

The overall size of the unit is 6.4" long x 2" x 1.4" high. The weight of the assembly is 11 ozs.

Lead screw assembly No. 2, Cat. No. G136, Price 16/6.

M.A.11. 16.6.55.

PRECISION GEARED MOUNTINGS FOR 2" MAGSLIPS

It is well known that for the process of aided laying as applied to anti-aircraft gunnery, the operator merely has to align a disc with a moving Magslip pointer to maintain the guns following the future position of the target aircraft. For this purpose, in the case of bearing, a Magslip Receiver gives an indication of bearing between 0 and 360° and an indicator, concentric with the Magslip dial is made to follow the Magslip indication, thus providing the information for the Predictor mechanism. For a moving target, the rate of change of the Magslip receiver may be followed by the disc by the external adjustment of a variable speed gearbox. For a fixed position of the latter, the disc traverses the Magslip receiver dial at a uniform speed. We have available the complete geared Magslip assemblies which conform to the following general specifications.

BEARING TRANSMITTER UNIT

This mounting consists basically of a gunmetal casting which carries the Magslips, indicator dials and associated gearing. The overall size of the assembly (including Magslips) is 9¼" high x 8" wide x 6" deep. Mounting centres are 8¼" x 2⅜".

The unit carries a coarse and fine Magslip transmitter AP 6550 (Cat. No. M001) geared together with a ratio of 36:1. Rotation of the transmitters is obtained via a shaft extended to the rear of the unit; the positions of the Magslips is indicated on a dial carrying two concentric scales, the outer calibrated 0-360° in 10° divisions and the inner 0-10° in 0.1° divisions. The outer scale is 4¼" diameter and the inner 3⅜" diameter. Motion of the fine transmitter is obtained through two pairs of bevel gears, while motion of the coarse transmitter is through a similar train followed by one spur and one bevel gear assembly. The input gear is 5" diameter and has 150 teeth, one revolution of the input shaft produces one revolution of the fine transmitter.

Bearing Transmitter Unit, Cat. No. MG001
Price 135/-.

ditto, less Magslips, Cat. No. MG002, Price 50/-

BEARING RECEIVER UNIT

The mounting is for one coarse and one fine Magslip receiver AP 6549 (cat. No. M004) with separate dials calibrated 0-360° in 10° divisions and 0-10° in 0.1° divisions respectively. Both scales are calibrated over 360° actual degrees, the scale diameter in each case is 3". The main casting is of aluminium alloy and the overall size of the unit is 10" x 6½" with fixing centres 8¾" x 1.312". The indicator marks are mounted on rotating discs located in the centre of the Magslip dial, a line on the disc being

being aligned with the hole and line on the Magslip pointer. The gearing between the Indicator plates is 36:1, the input shaft is fitted with a coupling which projects 1½" below the mounting face of the casting. Ten revolutions of the input shaft rotate the fine Magslip indicator disc three times, hence of course, 120 rotations of the shaft rotate the coarse Magslip disc through 360°. The gearing to the fine Magslip indicator disc is via a pair of bevel gears, thence through a double spur gear reduction to the disc; reduction to the coarse Magslip disc is through a four stage spur gear train. Backlash in this gearing is negligible.

Bearing Receiver Unit, Cat. No. MG003, Price 115/-.
complete with receivers, pointers, dials etc.
or less Magslips but complete with pointers and dials,
Cat. No. MG004, Price 50/-.

Uses of the above units:

The above units may be used to provide local and distant indication of the position of a shaft to a high degree of accuracy. The receiver unit enables a mechanism geared to the input shaft, to be aligned with the remote indication given by the Magslip receivers

SERIES MOTOR SUITABLE FOR MAGSLIP EQUIPMENTS

This motor has the desirable feature of requiring the same input voltage viz. 50v. 50c.p.s. as the standard Magslip transmission system. The motor is series wound and is continuously rated at 7oz.in. torque at 2,520 r.p.m. The motor is fitted with a centrifugally operated governor necessitating the use of an external capacitor and resistor (1uF, 250v. and 100 ohms 20W) for speed regulation if desired. The motor is intended for flange mounting with fixing centres 4" x 2.6" and is fitted with an output shaft 0.3" in diameter and 0.35" long fitted with a removable coupling to engage with gearbox Cat. No. MG006. The centrifugal switch is mounted on a shaft 1" long x 0.3" diameter and is itself 3½" diameter and 1¼" deep. The overall size of the motor is 7½" x 3½" diameter, excluding mounting flange. The overall weight is 4½lbs.

Series Motor, Cat. No. MG005, Price 42/6
Capacitor and Resistor, Cat. No. MG007, Price 2/6.

DUAL SPEED REDUCTION GEARBOX

While intended for us with motor Cat. No. MG005, this gearbox may be used in other applications. It provides two outputs at ratios of 105:1 and 2.8:1 disposed mutually at 90° to each other. The gearbox is fitted with a coupling to engage with the coupling mounted on the shaft of the motor Cat. No. MG005. The 105:1 output has its axis parallel to the motor shaft but is displaced sideways through 1.25" and downwards through 0.3", this output gives a speed of 24 r.p.m. when used with this motor. Size 4.75" x 5" x 4.5" long. Weight 3 lbs. The main casting is aluminium alloy.

Dual speed reduction gearbox, Cat. No. MG006, Price 32/6.

MAGSLIP RECEIVER ZEROING MOUNTING

This is a self-contained Magslip Receiver Mounting for incorporation into customers' own panels. The mounting consists basically of an aluminium alloy bridge shaped casting, the ends of which are mounted direct on to the rear of the panel. (Fixing Centres $9\frac{1}{2}$" x $2\frac{1}{2}$"). The Magslip receiver (Type AP 6549 or 6549A) is mounted in the normal manner with a mounting ring (supplied) and the sleeve fits into an accurately machined hole in the main bridge casting, the receiver sleeve thus forming the inner member of a plain bearing. To the front of the sleeve is attached a spur gear which is driven by a shaft (brought out to the front of the panel) with a reduction of 3.75:1. To the main casting is attached a sheet metal reflector and a circumferential perspex lens with provision for mounting a dial illuminating lamp from the front of the panel. The engraved brass dial is calibrated in 100 divisions over 360° of the scale (Cat. No. MG008) or 60 divisions over 360° of the scale (Cat. No. MG009). The diameter of the engraved scale is 4.56" and the effective pointer length (radial) 2.25". The overall size of the unit is 10.9" x 7.5" x 3.9" deep (plus the shaft 0.75" in front of panel). Circular glasses are supplied together with rubber seating ring, the overall diameter of which is 6.625". We can also supply lamp housings suitable for use with the above; these are totally enclosed for front of panel mounting (Cat. No. MG010) and are complete with 50v. lamp for use on the Magslip energising supply .

The usefulness of the arrangement is at once apparent as the Magslip Receiver indication may be zeroed with the transmitted signal from the front of the panel instead of rotating the receiver manually from the rear when the precise setting of the zero is somewhat tedious especially if due to circumstances peculiar to the apparatus, the zero position tends to drift over a period. The receiver may also be driven to provide differential indication but in this case it must be remembered that rotation is possible only over 355° owing to the electrical connections to the receiver. A stop is fitted to limit the extent of rotation to this figure.

Magslip Receiver Zeroing Mounting comprising:
main mounting, scale and pointer, reflector, lens, gear assembly, protecting glass, mounting ring and screws,
Cat. No. MG008 or MG009 (for difference see above)
Price 39/6 each.

Lamp Housings suitable for use with the above, complete with 50v. lamp, Cat. No. MG010, Price 6/- each.

Spare Lamps 50volt, Price 1/6 each. Cat. No.MG011.

M.A.14. 14.11.55.

LABORATORY HIGH FREQUENCY POWER SUPPLIES

MOTOR ALTERNATOR UNIT No. 2A This unit provides an output of 80V 2000 c.p.s. A.C. at 8.1A (650 watts) with an input of 80V D.C. at 16A. The motor and alternator are mounted in a single frame the combined unit being 16" long x 7" diameter approximately. Input and output plugs and sockets are fitted to the motor-alternator for connection to the rest of the circuit. The unit is self regulating by means of a carbon pile regulator controlled by the rectified output. The motor-alternator is flexibly mounted; the electrical circuits are adequately protected by fuses (spares provided). The whole is contained in a strong metal cabinet 23" long x 13" wide x 12" high; and the weight is approximately 3 qtrs. In manufacturer's cases.
Cat. No. L.173 Price £8.10.0. complete

MOTOR ALTERNATOR Service No. ZC12342 We have available the motor-alternators from the above units new in manufacturer's cases. Characteristics are: Input 80V D.C. at 16A, Output 80V A.C. 2000 c.p.s. at 8.1A (650 watts), 4600 r.p.m. Size 16" long x 7" diameter. Weight approximately 50 lbs.
Cat. No. L.174 Price £5.17.6. complete

TWIN MOTOR ALTERNATOR SET No.1 Service No. ZC21159 This set is for 230V A.C. 50 c.p.s. operation and has dual outputs at 400 c.p.s. The general arrangement of the set is that the dual alternator is mounted first and forms the base for the other two rotating units comprising the A.C. motor and the D.C. exciter, which are mounted in separate frames. The motor which is for operation from the 230V mains supply (single-phase) is rated at 15A, and is 20" long x 12" wide x 14" high. The D.C. exciter is mounted coaxially with the motor shaft and is direct driven. The dimensions are 10" long x 7" diameter. The main alternator unit is 31" long x 11" wide x 11" high; the outputs are as follows: a. 280V 6A 400 c.p.s. (excitation 42V at 2.9A): b. 200V 6A 400 c.p.s. (excitation 38V 3.5A). The alternator is belt driven by means of a double V-belt from the motor and is fitted with a cooling fan. The whole assembly when mounted is 30" long x 26" high x 12" wide and weighs approximately 4 cwt. The set is supplied disassembled into individual units and packed in separate cases for ease of handling; interconnecting cables, flexible conduits and connection boxes etc. are all supplied.
Cat. No. L.175 Price £49.10.0. complete Carriage Paid England and Wales

400 c.p.s. MOTOR ALTERNATOR UNIT This unit manufactured by E.D.C. is for operation with an input of 26V D.C. yielding an output of 115V 400 c.p.s. 1-phase conservatively rated at 45w. The overall dimensions of the unit are 9" long x 7" diameter.
Cat. No. L.124 Price £6.0.0. complete

3 kVA 1100 C.P.S. MOTOR ALTERNATOR SET

This unit consists of a motor driven 1100 c.p.s. alternator, the motor and alternator being mounted in separate frames with their shafts directly coupled together.

The motor and alternator are located at the base of a framework, the front panel of which carries motor control gear, meter, fuses and switch etc.

The overall height of the framework is 4'6", width 1'8" and depth 2'10" from the front of the panel, the switch-gear adding a further 5" to the effective depth.

The alternator is excited from a Westalite set mounted within the main framework. The output is regulated by means of a Newton carbon pile regulator.

The weight of the complete unit is 9 cwt.

Electrical details of the component assemblies are as follows:-

ALTERNATOR	200/230V, 15/12A, 3,000/2,880 r.p.m., 1,150/1,100 c.p.s., 1-phase, P.F. 0.7/1.0.
DRIVING MOTOR	415V, 50 c.p.s., 3-phase, 9A, 6 B.H.P., 2,880 r.p.m. with Memota starter.
WESTALITE RECTIFIER SET	Input 346/440V, 50 c.p.s., 1-phase. Output 100/120V, 2A D.C.
CARBON PILE REGULATOR	Newton Bros. type 2 for operation on 230V A.C.
METER	5" projection mounted rectifier type 200/250V calibrated at 1,100 c.p.s.

The Catalogue No. of the complete equipment is L.185. Price £72.10.0. Delivery free, England and Wales.

H.F.D. 2. 7.8.58.

MISCELLANEOUS ITEMS

RELAYS P.O. 3000 Type

Ref: L060 50 ohm coil, 3 m. (one Pt) 9/- each
Ref: L050 1000 ohm coil, 2m, 1b 8/- each
Ref: L171 1000 ohm coil, 1b 6/6 each
Ref: L169 1000 ohm coil, 3m, 1b 9/6 each
Ref: L170 5000 ohm coil, 1b, 1co 10/- each

RELAYS Other Types:

Ref: L065 Miniature Sealed, 4184GD, 700 ohm coil, d.p.c.o. 22/6 each
Ref: L058 Siemens High Speed, H85P/S, 250 plus 250 ohm coil 10/6 each
Ref: L150 U.S. High Speed, 4950 ohm coil, 2.2mA, s.p.c.o. contacts: 1A 230v. A.C., 0.25A 115v. D.C. 15/- each
Ref: L147 U.S. Relay, 34 ohm coil (for 115v. A.C.), 2m, 5" x 4½" x 3" 8/6 each
Ref: L083 Londex, 50v. A.C. coil, d.p.c.o. 7/6 each
Ref: L059 AFW 4530 Relay, 12v.coil, 2m, to switch 230v. A.C. at 1A 10/- each
Ref: L059A Cast iron case for the above relay 4¾" x 3¼" x 3" 3/- each
Ref: L146 Relay Ammeter, range between stationary contacts is plus or minus 3v. A.C. (160mA) 5"x3½"x3½" 12/6 each

TRANSFORMERS

Ref: L070 For Magslip supply 10/0/220/250v input to 50v. 30vA, shrouded 30/- each
Ref: L062 For Heater supply, sealed, 10/205/207/220v input to three outputs each 3.15/0/3.15v, 1A, screened, vert. or inverted mounting, 3½"x3"x3" 35/- each
Ref: L053 Input 200/250v. to 250/0/250v. 75mA and 5v. at 2A 15/6 each
Ref: L090 Input 230v. to 160v, 30vA for use with bridge rectifier Ref: L088 (q.v.) 12/6 each
Ref: L153 Input 56v. to 18v. 20A, 6¾"x6"x6⅝" 40/- each

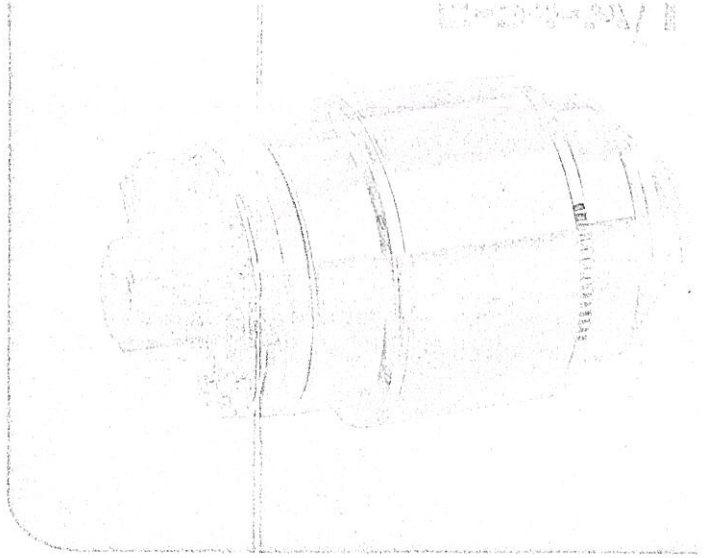
The following transformers are for 115v. 50/60c.p.s. inputs, all are sealed and of W.E. manufacture.

Ref: L152 Output 0-11v. at 1A & 0-22v. 1A, 4½"x2¾"x5½" 15/-ea.
Ref: L155 Output 0-5v at 2.5A twice 7/6 ea.
Ref: L156 Outputs 700/0/700v. 130mA twice, 5¼"x6⅞"x6½" 30/- ea.
Ref: L157 Output 375/0/375v at 2A, 6¾" x 6¾" x 6½" 45/- ea.
Ref: L162 Output 300/0/300v. at 2A 5¾" x 6" x 6½" 42/6ea.
Ref: L163 Output 2.5/0/2.5v. at 5A, 4⅞" x 2¾" x 5⅜" 7/6 ea.
Ref: L164 Output 0/365v. at 100mA, 3½" x 2⅞" x 4⅜" 12/6 ea.
Ref: L149 Variac transformer, 115v. 50/60 c.p.s. input, one fixed output at 67v. Variable output 0-115v. at 7.5A. Fitted with gear to mesh with L148. Output between terminals 2 and 4 varies with voltage in phase and magnitude and may be used to operate a servo controlled A.C. supply via a correcting transformer, the signal being derived e.g. from a current relay such as L146. 8" dia x 5½" to top of shaft. The gear has 192 teeth. 95/- ea.

MUIRHEAD MAGSLIP

DATA SHEET

ISSUE B



E-54-A/1 3″ X-CO TRANSMITTER

British Services Numbers 10747 . 2315A

Supply 50V 50c/s Nominal Rotor/Stator Voltages 50/50V

MECHANICAL DATA

BEARINGS	Pre-loaded single row ball journal bearings*
ROTOR CONNEXIONS	Silver graphite brushes Silver slip rings
FRICTION TORQUE	
BEARINGS	0·3–0·8oz.in · 20–60gm.cm
BRUSHES	1·2–2·4oz.in · 90–180gm.cm
ACCURACY	
MAXIMUM ELECTRICAL ERROR	±0·15 degree
MOMENT OF INERTIA OF ROTOR	5·4 oz.in² · 970gm.cm²
WEIGHT	4 lb. · 1·8 kg

Shaft fitted with hub and hub clamp

* The use of pre-loaded bearings reduces the audible hum from this instrument to a low level

ELECTRICAL DATA

INPUT Rotor X-Y

WINDING	Single phase
NO LOAD CURRENT	0·5 A
NO LOAD POWER	4·6 W
IMPEDANCE AT 50V 50c/s	20+j 100 ohms
D.C. RESISTANCE	10 ohms

OUTPUT Stator

WINDING	3-phase star connected sinusoidally distributed
VOLTAGE BETWEEN TERMINALS (No load)	53V maximum
IMPEDANCE BETWEEN TERMINALS AT 50V 50c/s	30+j 140 ohms
D.C. RESISTANCE BETWEEN TERMINALS	19 ohms

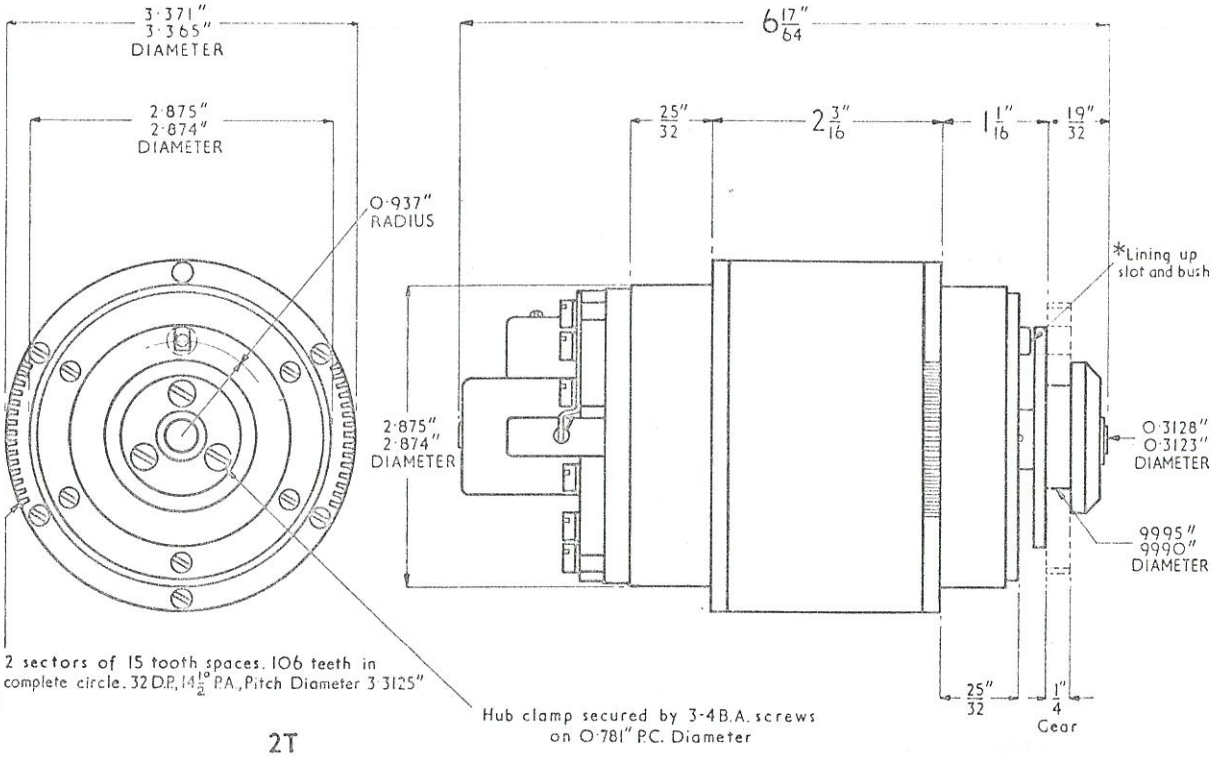
CROSS WINDING Y-3R

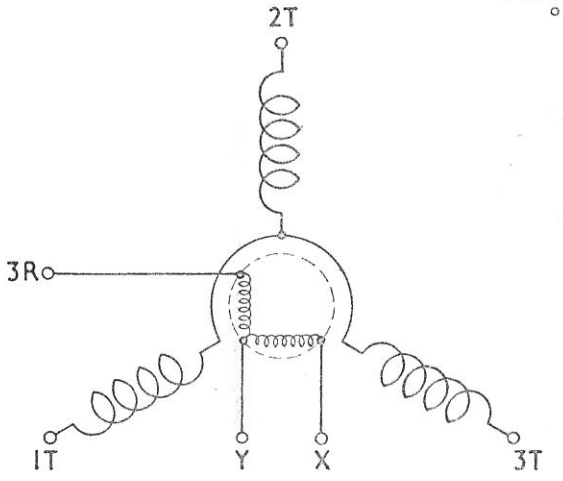
This instrument is intended for use as a transmitter, but is provided with an extra winding on the rotor at right angles to the exciting winding which enables it to be used alternatively as a coincidence transmitter. For use as a transmitter the supply should be connected to terminals X-Y, and the cross-winding Y-3R short circuited. For use as a coincidence transmitter the error signal should be taken from terminals Y-3R. Terminals X-Y should be left open-circuited.

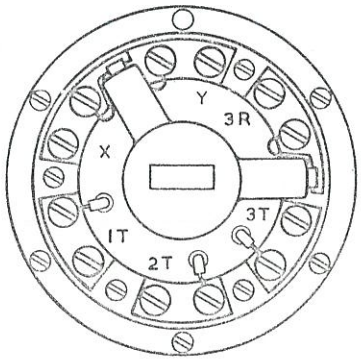
VOLTAGE BETWEEN TERMINALS Y-3R WITH 50V APPLIED TO STATOR (No load)	33V maximum
IMPEDANCE AT 30V 50c/s	22 + j 118 ohms
D.C. RESISTANCE	70 ohms

The accuracy figure above is the Muirhead rejection limit
In general, the accuracy of this instrument will be better than the figure indicates
For all other characteristics, average figures are given.

For applications and method of use see Publication E.1000







E-54-A/1

MOUNTING

The preferred method of mounting consists of inserting the spindle end-cover into a 2·876 in. diameter hole bored in a metal plate or casting. The element is held in position by a clamp ring placed over the opposite end-cover and secured to the mounting plate by four screws. The element must not be clamped around the body.

COPYRIGHT OF THIS PUBLICATION IS RESERVED BY MUIRHEAD & CO. LTD. THE PUBLISHERS

MUIRHEAD & CO. LIMITED

BECKENHAM • KENT • ENGLAND

Telephone: BECkenham 0041 Cables: MUIRHEAD, BECKENHAM

Printed in England September 1956 C8744C

35 mv (r.m.s) aplicados à entrada dão à saída (terminais 11 e 12)
mv. p-p. uma tensão de 45 v (r.m.s) — Ensaio em vazio

"ruído" à saída com a entrada em curto:

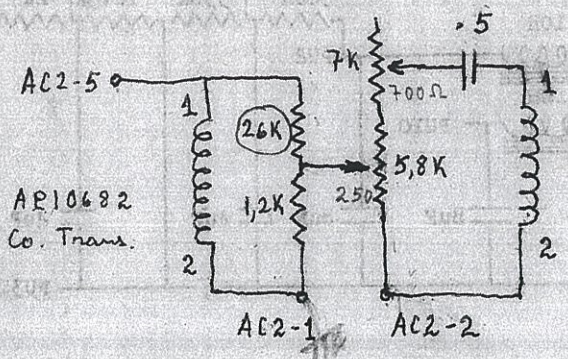
com a 6V1056 { com C_k — 1 v p.p.
sem C_k — 4 v " "

com a EF37A { com C_k — 0,17 v p.p.
sem C_k — 0,5 v " "

Leitura do motrador			Voltas do Sincronista
0°	0'		0
		15	
	15	15	2
	30		4
	47	17	6
1°	02	15	8
	20	18	10
	37	17	12
	53	16	14
2°	10	17	16
	26	16	18
	43	17	20

8,1'/volta do Sincronista.

(1) Representa-se a seguir o esquema da montagem tal como chegou



A carga do Magnetic pode variar de 5 K a 50 KΩ que não altera a voltagem nula

1º do ~~registrador~~ ~~2º~~ dorsal Parando 26 K → 10 KΩ a tensão nula máxima entre AC2-1 e AC2-2 é 40 mv p.p. (há regiões onde é de 20 mv); (um desalinhamento de 1º dá 280 mv). Aquelas 40 mv contem principalmente os 50 c/s em quadratura, os 25 mv. são de 180 c/s

Anexo II

Instrumentação e Princípios Teóricos de Astronomia Espectroscópica

1. Instrumentação



Figura 1: O Telescópio Dinamarquês de 1.54 metros foi construído pela Grubb & Parsons e tem sido utilizado em La Silla desde 1979. Encontra-se equipado com o Espectrógrafo de Objetos Ténues (DFOSC) (Crédito: ESO)

A utilização correta dum espectrógrafo implica a sua calibração ao nível do comprimento de onda e de fluxo, isto é a intensidade com que determinado comprimento de onda é detetado. A calibração da escala de comprimentos de onda passa pela observação dum espetro de linhas de emissão conhecido como, por exemplo, de uma lâmpada de tório (P. Bely, 2003). De seguida, a escala do fluxo do espectro é calibrada por comparação com o espetro observado de uma estrela de características conhecidas, corrigida para a absorção atmosférica da luz; este método é conhecido por espectrofotometria. (B. Oke & E. Gunn, 1983) A diferença entre um espectrómetro e um

espectrógrafo reside na capacidade de registar o espetro observado. Atualmente, esse registo é feito usando sensores digitais tipo CCD ou CMOS ao invés das câmaras de chapas de vidro utilizadas antigamente.

De acordo com P. Bely (2003) existem três tipos principais de espectrómetro, que se exploram de seguida, quanto às suas características e aplicações.

1.1 Espetrómetros de dispersão

Os espectrómetros de dispersão servem-se da dispersão da luz branca nos seus comprimentos de onda constituintes por meio de um prisma, geralmente usados para baixa dispersão espectral; uma rede de difração, para alta dispersão (Littrow); ou, um *grism* (contração de *grating* - grade e *prism* - prisma) na qual uma grade de transmissão é regulada ou colada na superfície de um prisma para que o feixe de saída possa ficar alinhado com o feixe de entrada. Nos espectrómetros, a luz da fonte observada entra por uma fenda e é colimada para iluminar o elemento dispersor. A luz que emerge do elemento dispersor é então capturada por uma lente ou espelho, formando imagens da fenda no detetor, uma para cada comprimento de onda, resultando num espetro.

O poder resolvente espetral, R, mede a capacidade de um sistema ótico em fazer distinguir dois comprimentos de onda afastados de uma quantidade $\Delta\lambda$ é definida como $\mathrm{R} = \Delta\lambda/\lambda$, onde λ é o comprimento de onda médio. Considera-se baixa resolução espetral se R < 100, resolução média se 100 < R < 1.000 e alta resolução se R > 10.000.

O poder resolvente de uma grade de espectrómetro é definido por

$$\mathrm{R} = \frac{m\lambda W}{\theta D d} \qquad (1)$$

onde m é um número inteiro que representa a ordem de interferência da grade, W é a largura da grade, d é o espaçamento adjacente entre linhas, θ é o ângulo correspondente ao tamanho da fenda projetado no céu, λ é o comprimento de onda médio e D a abertura do telescópio. No caso dos grandes telescópios terrestre que se encontram limitados pela visibilidade atmosférica (*seeing*), o tamanho da imagem é muito maior que λ/D, e a fenda tem de ser alargada para admitir mais luz. Para uma largura de fenda igual ao diâmetro do disco de visibilidade, σ, o poder resolvente é dado por

$$\mathrm{R} = \frac{m\lambda W}{\sigma D d} \ . \qquad (2)$$

Neste caso, o poder resolvente é dependente do diâmetro do telescópio e à medida que D aumenta, a largura da grade (W) tem de aumentar na mesma proporção para conseguir a mesma resolução.

Os espectrógrafos de média-alta resolução produzem espetros mais longos do que os de baixa resolução o que não era um problema quando se usavam placas fotográficas. Atualmente, tendo a maioria dos sensores digitais formatos quadrados, há que "arrumar" o espetro na área disponível. A solução passa por usar grades do tipo *echélle* que permitem que secções do espetro sejam empilhadas umas em cima das outras (P. Bely, 2003). O Espectrógrafo Echélle de Alta Resolução HIRES usado no Telescópio Keck usa este tipo de construção (Vogt et al., 1994). Neste telescópio, o observador pode escolher uma das duas fendas disponíveis (0,1 ou 0,3 μm) dependendo do comprimento de onda a observar. O HIRES atinge resoluções espetrais de 25 000 até 85 000. Também o Espectrógrafo Echélle para Exoplanetas Rochosos e Observações Espectroscópicas Estáveis (Espresso) usado no VLT (Very Large Telescope) usa esta construção. Pode atingir resoluções espetrais até 140 000 permitindo obter velocidades radiais com grande precisão (Pepe et al., 2010).

1.2 Espectrómetro Fabry-Perot

Em vez de usar a dispersão da luz, os espectrómetros Fabry-Perot criam o espectro por interferência. Nestes espectrómetros são usadas duas placas de grande poder refletor, muito próximas uma à outra e posicionadas no feixe colimado, configuração que se designa por "étalon". No intervalo das placas produzem-se múltiplas reflexões resultando em interferência destrutiva exceto num comprimento de onda específico que é função da largura do intervalo e do ângulo de incidência. A luz que emerge do étalon forma um padrão de círculos concêntricos que iluminam o detetor. Os espetrómetros Fabry-Perot atingem poderes resolventes espetrais superiores a 10.000.

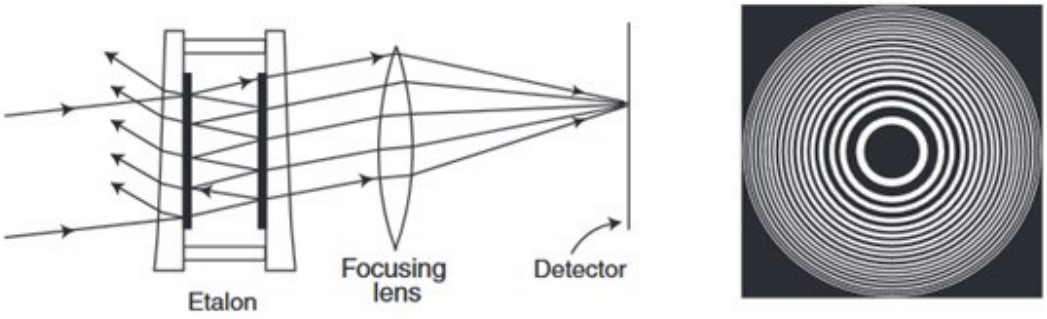


Figura 2: O princípio de funcionamento de um espetrómetro Fabry-Perot e um padrão de interferência típico (P. Bely, 2003)

O Mapeador H-alfa de Wisconsin é um instrumento especializado no estudo da distribuição e cinemática do gás ionizado da Via Látea (Reynolds et al., 1998). Baseado num espectrómetro Fabry-Perot este instrumento consegue detetar emissões tão ténues quanto 0,05 Rayleighs numa exposição de apenas 30 segundos. Devido à reduzida dimensão da imagem, os espetrómetros Fabry-Perot são especialmente úteis na deteção de linhas de emissão de fontes extensas. (P. Y. Bely, 2003)

1.3 Espectrómetros de Transformada de Fourier (ETF)

Neste tipo de instrumentos a luz atravessa um interferómetro de Michelson cujo espelho móvel produz um padrão de anéis circulares resultante da interferência construtiva e destrutiva das ondas luminosas (Bates, 1978). Quando a luz é monocromática, a intensidade do sinal registado varia com o cosseno do curso do espelho de digitalização, $\cos(4\pi x/\lambda)$, em que x representa a amplitude desse movimento. Para luz policromática, a intensidade registada é o somatório dos termos de cossenos e o seu espetro é extraído pela inversa da transformada de Fourier. Os ETFs são capazes de atingir resoluções espetrais muito elevadas da ordem dos 100.000. O facto de dependerem do movimento contínuo de um espelho é um entrave à sua utilização em aplicações espaciais, mas a sua simplicidade de construção tornam-no ideal para projetos amadores de baixo custo (P. Bely, 2003).



Figura 3: O SITELLE é um espetrómetro para a imagiologia através da transformada de Fourier para o estudo de raios de emissão longos.

O Telescópio do Canadá-França-Havai (CFHT) é um dos muitos telescópios que empregam espectrómetros baseados na Transformada de Fourier. O SITELLE é usado com o intuito de revelar as complexidades de nebulosas como a NGC 1275. A sua elevada resolução permite obter a velocidade radial em cada filamento da nebulosa revelando a sua dinâmica a um nível sem precedentes (Gendron-Marsolais et al., 2018).

2. Conceitos chave de espectroscopia

2.1 Propriedades químicas das estrelas

Um objeto sólido quente produz um espetro de luz contínuo, um gás muito quente emite radiação em comprimentos de onda específicos e quando um corpo sólido quente se encontra envolto em gases mais frios, o espetro resultante é quase contínuo com linhas escuras que correspondem às linhas de emissão dos gases presentes (Hearnshaw, 2012). A composição química das estrelas pode ser determinada comparando o espetro observado com o espetro solar cujas linhas de absorção correspondentes aos elementos presentes na sua atmosfera são conhecidos (Walker, 2017). Através da largura das linhas de emissão presentes num espetro eletromagnético é possível determinar a abundância relativa dos elementos químicos presentes no corpo celeste observado (Walker, 2017). Esta informação é útil para categorizar as populações estelares:

População I: estrelas jovens que têm grande abundância metálica. O sol é uma estrela de população I.

População II: estrelas que têm um nível intermédio de abundância metálica e que podem ser facilmente encontradas em aglomerados globulares (van Albada & Baker, 1973).

População III: são uma classe hipotética de estrelas mais velhas com uma concentração metálica muito baixa que nunca foram observadas diretamente (Pan et al., 2013). Estão associadas a elementos mais pesados do que o hidrogénio e são cruciais à formação de planetas e de vida tal como a conhecemos. Espera-se que o telescópio espacial James Webb (Rydberg et al., 2012) e outras prospeções espectroscópicas como o SDSS-III (H. Weinberg et al., 2007) permitam esclarecer melhor a natureza desta população.

2.2 Temperatura e tamanho das estrelas

Os corpos emitem radiação eletromagnética consoante a sua temperatura, o que explica o facto de as estrelas terem cores diferentes. Objetos mais frios emitem ondas de baixa frequência como o rádio ou as micro-ondas, enquanto corpos mais quentes emitem luz visível, ultravioleta e frequências mais altas (P. Y. Bely, 2003). A relação entre a temperatura e a frequência da radiação emitida é descrita pelo modelo de radiação do corpo negro, tal como postulado por Wilhelm Wien em 1894. A temperatura superficial de uma estrela, T, relaciona-se com comprimento de onda para o qual a emitância espetral da estrela é máxima, λ_{max}, através da expressão:

$$\lambda_{max} T = b \tag{3}$$

onde *b* é a chamada constante de deslocamento de Wien e que é igual a $2.8978 \times 10^{-3}\, m \cdot \mathrm{K}$. A temperatura superficial de uma estrela é assim determinada bastando para tal medir o comprimento de onda máximo da radiação por ela emitida (Jenkins & White, 1976, p. 448).

As estrelas são classificadas quanto à sua temperatura superficial usando letras do alfabeto. Existem sete classes principais de estrelas: O, B, A, F, G, K, M em ordem decrescente de temperatura (Tabela 1) (Giridhar, 2010).

Tabela 1 - Classes espetrais das estrelas

Classe Espetral	Cor intrínseca	Temperatura (Kelvin)
O	Azul	25000 – 50000
B	Azul	11000 – 25000
A	Branco azulado	7500 – 11000
F	Branco	6000 – 7500
G	Branco amarelado	5000 – 6000
K	Laranja	3500 – 5000
M	Vermelho	< 3500

A luminosidade de uma estrela, L, obtida por técnicas espetrofotométricas, relaciona-se com a sua temperatura superficial previamente calculada, T, e com o tamanho da estrela pela lei de Stefan-Boltzman (Inglis, 2014) :

$$L = 4\,\pi\,r^2\,\sigma\,T^4 \qquad (4)$$

onde r é o raio da estrela e

$$\sigma = 5.670367 \times 10^{-8}\ \mathrm{W} \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}.$$

2.3 Movimento dos corpos celestes



Figura 4: O espetro eletromagnético correspondente à radiação de uma fonte em repouso exibe as linhas de absorção nas suas posições características. Quando um objeto está em movimento, as linhas deslocam-se. Quando as linhas aparecem deslocadas para o vermelho em relação à sua posição característica significa que o objeto se está a afastar do observador. Quando as linhas aparecem deslocadas para o azul significa que o objeto se está a aproximar do observador.

A velocidade com que um objeto se desloca pode ser medida pela alteração da sua cor. De forma similar ao que acontece com a frequência das ondas sonoras produzidas por um objeto que se move em relação ao observador, a radiação luminosa também parece alterar o seu comprimento de onda à medida que se aproxima ou afasta do observador. Quando um objeto, de cor amarela, por exemplo, se aproxima do

observador tomará uma cor mais para o lado do azul do que se estivesse parado; se o mesmo objeto se afastasse do observador tomaria uma das cores mais para o lado direito do espetro. A mudança de cor aparente ao observador será tão mais intensa quanto maior for a velocidade que anima o objeto no instante da observação (Inglis, 2014). A explicação teórica tende a ser mais polida e menos evidente, mas o que se vê num espetro eletromagnético de um corpo em movimento são linhas negras correspondentes a radiação absorvida que estão deslocadas da sua posição característica. Se o corpo estiver em movimento de aproximação as ondas parecerão comprimidas ao observador fazendo com que no espetro apareçam com um comprimento de onda menor do que o seu comprimento real e por isso deslocadas para o lado azul do espetro. Se o corpo estiver a afastar-se as mesmas linhas parecerão distendidas ao observador e, portanto, deslocadas para uma região onde o comprimento de onda é maior, logo para o lado vermelho do espetro. Este efeito ótico é conhecido por *redshift* (desvio para o vermelho). A velocidade do objeto, v_0, pode ser determinada pela expressão

$$v = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \cdot c \qquad (5)$$

Onde $\lambda - \lambda_0$ corresponde à diferença entre o valor do comprimento de onda observado no espetro e o valor do comprimento de onda característico e c é a velocidade da luz de 300 000 000 m/s.