U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS INOVADORAS DE PLANEAMENTO E CONTROLO DE OBRAS- ESTUDO DE CASO

INÊS RESSANO GARCIA BURMESTER MARTINS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JANEIRO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais

Não basta adquirir sabedoria, é preciso, além disso, saber utilizá-la

Cícero

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação marca o final do meu percurso académico pelo que não posso deixar de agradecer às pessoas que me ajudaram durante todo este percurso.

Ao meu orientador, Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) por todo o apoio, pelas inúmeras chamadas de esclarecimento e partilha de conhecimento, pela disponibilidade para fazer revisões e pela autonomia e confiança das minhas capacidades da gestão do meu próprio trabalho.

À Empresa Gabriel Couto e aos seus funcionários por me acolherem e darem a oportunidade de efetuar a dissertação em ambiente empresarial rodeada de boas condições e bom ambiente de trabalho.

Ao Engenheiro Ricardo Poças, que me possibilitou a oportunidade de elaborar a dissertação em regime empresarial, dando-me a conhecer a sua equipa de trabalho, partilha de conhecimentos e orientando a minha experiência em obra.

À minha família, por toda a liberdade que me foi dada para traçar o meu percurso. Em especial aos meus pais que me apoiaram e ajudaram incondicionalmente sendo ainda também os que mais me apoiam nos momentos difíceis e de maior ansiedade.

Aos meus amigos que me apoiam nos bons e maus momentos, em especial às minhas amigas e colegas, Teresa, Mariana e Rita, por terem partilhado e sido principal apoio ao longo destes cinco anos de curso. Sem elas e sua ajuda e partilha teriam sido cinco anos bem mais difíceis.

Aos bons professores que fui apanhando ao longo do meu percurso escolar e académico em especial aos que me formaram e cultivaram o meu interesse pelo saber.

Por último, às atividades que fui tendo ao longo do percurso que me ajudaram a descontrair e permitiram alargar horizontes, conhecer novas realidades e desenvolver-me enquanto ser humano em especial ao *Just a Change*, ERASMUS, Missão País e IACES.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo a implementação a nível prático do BIM 4D, ou seja, a utilização dos modelos de BIM 3D com o acréscimo da dimensão temporal para fins de planeamento e controlo de obra. Esta é fruto de um estágio realizado na Gabriel Couto para ajudar a produzir ferramentas de visualização do planeamento.

Embora seja comum, nos dias que correm, a utilização de BIM para a fase de projeto, em fase de construção o BIM é muitas vezes negligenciado, embora seja bastante vantajoso para quem os implementa.

Os modelos 4D, para além de criarem a perceção visual da ocorrência dos trabalhos, têm outras vantagens como, por exemplo, a precessão de pequenos erros de planeamento nos programas de MS Project que podem ter uma dimensão considerável. Estas correções podem ser cruciais para que haja menos problemas em obra e resultam em orçamentos mais realistas.

A produção de imagens tem dois objetivos concretos principais:

- Fornecer imagens da evolução dos trabalhos presentes e futuros à direção de obra;

- Fornecer imagens de acompanhamento de obra para a administração, clientes e para revisão e acompanhamento internos por parte da Divisão de Planeamento da empresa.

Estes objetivos pretendem ser desenvolvimento para que se caminhe para um planeamento e acompanhamento de obra mais visual e de mais fácil perceção de forma a facilitar a comunicação.

Ao longo da dissertação são apresentadas as várias tentativas de imagens que foram sendo retiradas do modelo, assim como, as imagens escolhidas pela empresa. São ainda apresentadas algumas das limitações que o *Navisworks* tem para este tipo de visualização.

A dissertação inclui 6 capítulos: Introdução, Estado de arte, Apresentação da empresa e Obra, Modelo BIM 4D da obra exemplo, Apresentação de Resultados e Conclusão

Inclui ainda dois Anexos. O primeiro apresenta uma reportagem fotográfica da obra acompanhada durante o período de estágio, anexo I e que apoia o capítulo 3. O segundo Anexo diz respeito a um "guia" de produção de modelos BIM 4D a partir de uma modelação BIM 3D existente e de um plano de trabalhos em MS Project, também antes produzido.

Sendo um objetivo estratégico da Gabriel Couto a instalação do BIM 4D na empresa, é feito um estudo sobre planeamento atual e BIM no estado de arte, seguido da apresentação do caso de estudo da empresa e obra. Segue-se um capítulo explicativo dos passos e do raciocínio seguidos ao longo do desenvolvimento do protótipo em *Navisworks*, que é apoiado em termos específicos pelo atrás referido guia prático, incluído no Anexo II.

O capítulo de apresentação de resultados contém os elementos do modelo BIM 4D efetuado, utilizados pela empresa durante o estágio.

Por último, o capítulo de conclusão contém as principais ilações, a reflexão sobre o cumprimento de objetivos da dissertação e uma sugestão de futuros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Planeamento visual, Direção de obra, BIM 4D, Navisworks, MS Project

ABSTRACT

The present dissertation aims at the practical implementation of BIM 4D, or, in other words, the use of 3D BIM models with the addition of the temporal dimension for planning and construction control purposes. This is the result of an internship carried out at Gabriel Couto to produce planning visualization tools.

Although it is common nowadays to use BIM for the design phase, in the construction phase BIM is often neglected even though it is quite advantageous for those who implement them.

In addition to providing a visual representation of the occurrence of works, 4D models have other advantages, such as the reduction of small planning errors in MS Project programs, which can be significant in size. These corrections can be crucial for fewer problems on site and more realistic budgets.

The production of images has two main concrete objectives:

- Providing construction management with images of the evolution of current and future tasks;

- To come up with follow-up images for the administration, clients and internal review and monitoring by the Planning Division of the company.

The aim is moving towards a more visual and easier to understand planning and monitoring of the work to facilitate communication.

Throughout the dissertation, the various attempts of images that were taken from the model as well as the images chosen by the company are displayed. Some of the limitations that Navisworks has for this type of visualization are also presented.

The dissertation includes 6 chapters: Introduction, State of the art, Presentation of the company and the constructions, 4D BIM model of the case study, Presentation of Results, and Conclusion.

It also includes two annexes. The first is a photographic report of the construction site monitored during the internship period, Annex I, which supports chapter 3. The second annex is a guide for the production of 4D BIM models from an existing 3D BIM modelling and a previously produced MS Project work plan.

One of the main goals of Gabriel Couto being the installation of BIM 4D in the company, a study on current planning and BIM in the state-of-the-art was completed, followed by the presentation of the case study of the company and the construction. Consequently, the chapter that follows explains the steps and reasoning throughout the development of the model in Navisworks, complemented by the practical guide included in Annex II.

The chapter presenting the results contains the elements of the 4D BIM model used by the company during the internship.

In conclusion, the final chapter contains the main conclusions, a reflection on the fulfillment of the dissertation objectives and a suggestion for future work.

KEY WORDS: Visual planning, Construction Management, BIM 4D, Navisworks, MS Project

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....i

RESUMO.....iii

ABSTRACT..... v

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO 1

1.2 METODOLOGIA SEGUIDA 2

1.3 BREVE APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO 2

2 ESTADO DE ARTE- TENDÊNCIAS INOVADORAS DO PLANEAMENTO.....5

2.1. INTRODUÇÃO.....5

2.2. GRANDES TENDÊNCIAS DE INOVAÇÃO DA CONSTRUÇÃO 5

2.3. *LEAN CONSTRUCTION*.....6

2.3.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL..... 6

2.3.2- TIPOS DE DESPERDÍCIO..... 7

2.3.3 KAIZEN..... 8

2.4. O BIM NO CONTEXTO DO PLANEAMENTO DE OBRAS.....8

2.5. ACOMPANHAMENTO E CONTROLO- FERRAMENTAS LPS E EVM 9

2.5.1 LPS (*Last Planner System*)..... 9

2.5.2 EVMS (EARNED VALUE MANAGEMENT SYSTEM)..... 13

2.6. BIM 4D.....13

2.6.1 USOS CORRENTES E VANTAGENS DIRETAS DO BIM 4D..... 13

2.6.1.1 *Clash detection*..... 13

2.6.1.2 Visualização 4D..... 14

2.6.2 POTENCIALIDADES E INVESTIGAÇÕES ATUAIS 16

2.6.2.1 Espaço critico para a execução de uma tarefa..... 16

2.6.2.2 Segurança em obra..... 16

2.6.2.3 Uso em processos de tribunal..... 17

2.7. PLANEAMENTO E ANÁLISE DE RISCO 18

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA 19

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA 19

3.1.1. POLÍTICA DE GESTÃO 20

3.1.2. DEPARTAMENTO DE PLANEAMENTO E CONTROLO DE OBRAS 20

3.1.2.1. Gestão usando o SAP 20

3.1.2.2. Funcionamento do Departamento de Planeamento e Controlo de Obras 21

3.1.3. PLANO DE TRABALHOS, RISCOS E MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS 22

3.1.4. OS PROCEDIMENTOS APLICADOS EM PROJETOS QUE RECORREM AO BIM 27

3.2. A OBRA- QUINTA DO PINHEIRO 28

3.2.1 DESCRIÇÃO DA OBRA 28

3.2.2. BREVE DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS 31

4 MODELO BIM 4D DA OBRA EXEMPLO 33

4.1. INTRODUÇÃO 33

4.2. PREPARAÇÃO DOS DOCUMENTOS E MODELO 4D 34

4.2.1. FERRAMENTAS UTILIZADAS 34

4.2.1.1. Microsoft Project 34

4.2.1.2. Revit 34

4.2.1.3. Navisworks 35

4.2.2 LÓGICA INERENTE À CRIAÇÃO DO MODELO AUTOMÁTICO 35

4.2.3 PREPARAÇÃO DO MODELO 4D – TAREFAS A REALIZAR - DESENVOLVIMENTO 36

4.2.3.1. Preparação do planeamento 36

4.2.3.2 Preparação do modelo 3D 37

4.2.3.3. Preparação do Modelo 4D e as suas características 37

4.3. IMAGENS RESULTANTES DO BIM 4D PARA EFEITOS DE DIREÇÃO DE OBRA 39

4.3.1 INTRODUÇÃO 39

4.3.2. IMAGENS DE ESTRUTURAS 40

4.3.3. IMAGENS DE INSTALAÇÕES 41

4.3.5- QUADRO RESUMO 46

4.4 UTILIDADE PARA ADMINISTRAÇÃO E CLIENTES 46

5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS 49

5.1. INTRODUÇÃO 49

5.2 GUIA PRÁTICO EXPLICATIVO DA CONSTRUÇÃO DE UM MODELO BIM 4D 49

5.2.1 INTRODUÇÃO 49

5.2.2. LÓGICA UTILIZADA NA MODELAÇÃO 49
5.2.3 DESCRIÇÃO SINTÉTICA DO ANEXO II 51
5.3. SÍNTESE DO MAIS IMPORTANTE QUE OCORREU NA OBRA DURANTE O ESTÁGIO 51
5.3.1 INTRODUÇÃO 51
5.3.2. VISITAS À OBRA 52
5.4 EXEMPLO DE IMAGENS UTILIZADAS EM OBRA 52
5.4.1. ESTRUTURAS 52
5.4.2 IMAGENS PARA FINS ADMINISTRATIVOS E REUNIÃO COM CLIENTES 54
5.5 CONCLUSÃO 56

6 CONCLUSÃO 59

6.1 INTRODUÇÃO 59
6.2 CUMPRIMENTO DE OBJETIVOS E PRINCIPAIS ILAÇÕES 59
6.3 OUTRAS DEDUÇÕES RESULTANTES DO ESTUDO EFETUADO 60
6.4 REFLEXÃO SOBRE POSSÍVEIS FUTUROS TRABALHOS 61

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62

ANEXOS 65

ANEXO I 67

ANEXO II 83

II.1 GUIA PRÁTICO PARA AUTOMATIZAR LIGAÇÃO DE ELEMENTOS COM TAREFAS 848

A) CRIAR COLUNAS EM MS PROJECT 88
B) CRIAR UM NOVO PARÂMETRO NO REVIT 89
C) ASSEGURAR QUE O MEU MODELO REVIT PERMANECE IMÓVEL 90
D) DEFINIR O PARÂMETRO "*NAVISWORKS ID*" PARA TODOS OS ELEMENTOS DO MEU MODELO 91
E) ATALHO PARA SELEÇÃO RÁPIDA DOS ELEMENTOS 92
F) ABRIR O MODELO DO REVIT NO NAVISWORKS 94
G) ABRIR A *TIMELINER* E ADICIONAR O MS PROJECT 94
H) FAZER *REFRESH* AO MODELO 96
I) FAZER *REFRESH* À *TIMELINER* 96
J) ADICIONAR UMA COLUNA DE *NAVISWORKS ID* 97

K) CRIAR REGRA AUTOMATICAMENTE 99

L) CONFIRMAR QUE NÃO FICARAM ELEMENTOS POR ASSOCIAR A TAREFAS 101

II.2 GUIA PRÁTICO PARA SELECIONAR RAPIDAMENTE PARTES DE PAREDES 103

A) ISOLAR NA VISTA A CATEGORIA DAS PAREDES 103

B) DIVIDIR POR PARTES 103

C) CRIAR UM *SCHEDULE* 104

D) PARA GUARDAR O DOCUMENTO E AS PARTES SE TORNAREM VISÍVEIS 106

II.3) GUIA PRÁTICO PARA CRIAR UM FILTRO NO MS PROJECT ..108

A) APLICAR UM FILTRO 108

II.4) GUIA PRÁTICO PARA ALTERAR A APARÊNCIA DO MODELO.109

A) ALTERAÇÕES DE APARÊNCIA EXEMPLO DE INSTALAÇÕES 109

A.1) SELECIONAR OS ELEMENTOS QUE QUEREMOS QUE TENHAM UMA APARÊNCIA DIFERENTE COM CRIAÇÃO DE *SETS*: 109

A.2) ABRIR "*APPEARANCE PROFILE*" E FAZER AS ALTERAÇÕES DESEJADAS 111

A.3) VOLTAR À APARÊNCIA INICIAL: 112

A.4) HÁ AINDA A POSSIBILIDADE DE ALTERAR AS OPÇÕES DE VISUALIZAÇÃO DURANTE A CONSTRUÇÃO DA OBRA: 112

B) DESTAQUE DA EVOLUÇÃO DE UMA SEMANA DE TRABALHO 113

B.1) CRIAR UMA NOVA *TASK TYPE* NO NAVISWORKS 113

B.2) ATRIBUIR UM NOVO *TASK TYPE* NO PROJECT 113

B.3) NO NAVISWORKS FAZER *REFRESH* AO PROJETO 113

II.5) GUIA PRÁTICO PARA ALTERAÇÃO DO MATERIAL DOS TUBOS NO REVIT 114

A) EDITAR AS PROPRIEDADES DE UM TUBO 114

A.1) CRIAR UM NOVO MATERIAL 115

B) ATRIBUIR ESTE NOVO MATERIAL AOS TUBOS PRETENDIDOS 118

B.1) ISOLAR OS ELEMENTOS PRETENDIDOS EM *DIROOTS* 119

B.2) ALTERAR O MATERIAL NAS PROPRIEDADES 119

C) ALTERAR O MATERIAL DAS OUTRAS PEÇAS DAS INSTALAÇÕES 120

II.6) GUIA PRÁTICO PARA CRIAÇÃO DE CORTES NO NAVISWORKS 121

A) ABRIR A "*SECTIONING TOOLS*" 121

B) ALINHAR VISTA E CRIAR CORTE 122

C) RETIRAR AS LINHAS VERMELHAS DO CORTE 122

II.7) GUIA PRÁTICO PARA ADAPTAÇÃO DO MODELO PARA ADMINISTRAÇÃO 123

II.8) GUIA PRÁTICO PARA EXPORTAR UMA IMAGEM DE UM CORTE COM BOA QUALIDADE NO NAVISWORKS 125

II.9) GUIA PRÁTICO PARA FAZER UMA ANIMAÇÃO 126

A) ABRIR O *ANIMATOR*, ADICIONAR CENA E UMA CÂMARA 126

B) ANDAR PELOS PONTOS DO MODELO NOS QUAIS QUEREMOS QUE PASSE A ANIMAÇÃO E GRAVAR NOS SEGUNDOS PRETENDIDOS: 127

C) ANIMAR OBJETOS 128

D) EXPORTAR A ANIMAÇÃO 130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU [4] 6
Figura 2 - Sistema tradicional de planeamento (*push*) 10
Figura 3 - Representação esquemática do Sistema *pull planning* 10
Figura 4 - *Last Planner System* 11
Figura 5 - Resumo do LPS e do seu controlo de produção neste sistema [14] 12
Figura 6 - Exemplo de uma *Hard Clash* 14
Figura 7 - Imagem retirada de uma simulação 4D (a verde estão representados os elementos em construção) 15
Figura 8 - Imagem de um ambiente virtual de uma obra em construção 17
Figura 9 - Logotipo da empresa 20
Figura 10 - LPS simplificado da obra da Quinta do Pinheiro 22
Figura 11 - Visão satélite do local da obra 28
Figura 12 - Planta geral do projeto da quinta do pinheiro (implantação) 29
Figura 13 - Modelos estruturais dos Blocos B, D e E e do elevador exterior 30
Figura 14 - Modelo estrutural do bloco D 31
Figura 15 - Logotipo Microsoft Project 34
Figura 16 - Logotipo Revit 35
Figura 17 - Logotipo Navisworks 35
Figura 18 - Processo de criação de um modelo 4D[20] 36
Figura 19 - Exemplo de uma Hard Clash: Pilar a colidir com um quadro elétrico 38
Figura 20 - Exemplo de um erro do Project: Paredes a serem construídas antes da laje 39
Figura 21 - Modelo de estruturas Bloco D 40
Figura 22 - Sinalização dos elementos em construção num determinado dia 41
Figura 23 - Modelo de instalações do Bloco D isolado 41
Figura 24 - Diferença de visualização das instalações com e sem cores 42
Figura 25 - Visualização das infraestruturas subterrâneas 43
Figura 26 - Rede de abastecimento de água 43
Figura 27 - Modelo de arquitetura do Bloco D 44
Figura 28 - Exemplo de uma imagem de arquitetura 45
Figura 29 - Menu configure da *Timeliner* do Navisworks explicado, onde se altera as aparências 47
Figura 30 - Formas de visualização do estado das tarefas do Navisworks 47
Figura 31 - Exemplo da transformação da imagem para que esta mostre um desenvolvimento semanal 53
Figura 32 - Aplicação e utilidade em obra do planeamento semanal usando BIM 4D (junto com o Last Planner System, em quadros, usado na Gabriel Couto) 53
Figura 33 - Imagem para fins administrativos 54
Figura 34 - Comparação do planeamento com a realidade– execução de elementos verticais em Betão Armado do Bloco D 55
Figura 35 - Relatório de Balizamento de Obra com Imagens do BIM 4D 56
Figura 36 - Edifício D 68
Figura 37 - Cofragem de um pilar 68
Figura 38 - Pilar já pronto 69
Figura 39 - Edifício D 69
Figura 40 - Edifício D 70
Figura 41 - Montagem da Grua 70
Figura 42 - Muros em construção: cofragem das sapatas e cofragens do muro com a armadura já pronta 71
Figura 43 - Muros em construção: cofragem das sapatas e cofragens do muro com a armadura já pronta (mais próximo) 71
Figura 44 - Edifício D 72
Figura 45 - Fundações indiretas 72
Figura 46 - Edifício D 73
Figura 47 - Edifício D 73
Figura 48 - Caixas de visita 74
Figura 49 - Edifício D 74
Figura 50 - Edifício D 75

Figura 51 - Edifício D ... 75
Figura 52 - Edifício D ... 76
Figura 53 - Edifício D ... 76
Figura 54 - Edifício D ... 77
Figura 55 - Edifício D ... 77
Figura 56 - Edifício D ... 78
Figura 57 - Testes ao betão ... 78
Figura 58 - Betonagem 1: Limpeza das armaduras ... 79
Figura 59 - Betonagem 2: Colocação do betão ... 79
Figura 60 - Betonagem 3: Vibração ... 80
Figura 61 - Edifício D ... 80
Figura 62 - Edifício D ... 81
Figura 63 - Edifício D ... 81
Figura 64 - Criação de colunas Project 1 ... 88
Figura 65 - Criação de colunas Project 2 ... 88
Figura 66 - Criação de parâmetro 1 ... 89
Figura 67 - Criação de parâmetro 2 ... 89
Figura 68 - Criação de parâmetro 3 ... 90
Figura 69 - Imobilizar modelo ... 91
Figura 70 - Propriedades Revit ... 91
Figura 71 - Isolar elementos/categorias 1 ... 92
Figura 72 - Isolar elementos/categorias 1 ... 93
Figura 73 - Repor visualização ... 93
Figura 74 - Abrir modelo no Navisworks 1 ... 94
Figura 75 - Abrir modelo no Navisworks 2 ... 94
Figura 76 - Abrir *timeliner* 1 ... 95
Figura 77 - Abrir *timeliner* 2 ... 95
Figura 78 - Abrir *timeliner* 3 ... 96
Figura 79 - *Refresh* ao modelo ... 96
Figura 80 - *Refresh* ao planeamento 1 ... 96
Figura 81 - *Refresh* ao planeamento 2 ... 97
Figura 82 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 1 ... 97
Figura 83 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 2 ... 98
Figura 84 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 3 ... 98
Figura 85 - Associação dos parâmetros em comum 1 ... 99
Figura 86 - Associação dos parâmetros em comum 2 ... 99
Figura 87 - Criar regra 1 ... 100
Figura 88 - Criar regra 2 ... 100
Figura 89 - Criar regra 3 ... 101
Figura 90 - Confirmar que não há elementos não atribuídos ... 102
Figura 91 - Exemplo de modelo básico em planta ... 103
Figura 92 - Divisão por partes 1 ... 103
Figura 93 - Criar *Schedule* 1 ... 104
Figura 94 - Criar *Schedule* 2 ... 104
Figura 95 - Criar *Schedule* 3 ... 105
Figura 96 - Agrupar elementos *Schedule* ... 105
Figura 97 - Aspeto final do *Schedule* ... 106
Figura 98 - Guardar documento para conversão em partes 1 ... 106
Figura 99 - Guardar documento para conversão em partes 2 ... 107
Figura 100 - Filtrar o Project 1 ... 108
Figura 101 - Filtrar o Project 2 ... 108
Figura 102 - Filtrar o Project 3 ... 108
Figura 106 - Criação de Sets 1 ... 109
Figura 107 - Criação de Sets 2 ... 109
Figura 108 - Esconder elementos ... 110
Figura 109 - *Selection tool* ... 110
Figura 110 - Criação de *sets* por pesquisa ... 110
Figura 111 - *Appearance profiler* ... 111

Figura 112 - Alterar a aparência 111
Figura 113 - Exemplo de alteração de aparência 111
Figura 114 - Modos de Renderização 112
Figura 115 - Repor aparências 112
Figura 116 - Criação de *Task Type* 1 112
Figura 117 - Exemplo de aplicação 113
Figura 118 - Criação de *Task Type* 2 113
Figura 119 - Imagem exemplo de um destaque semanal 114
Figura 120 - Editar propriedades de um tubo no Revit 1 114
Figura 121 - Editar propriedades de um tubo no Revit 2 115
Figura 122 - Editar propriedades de um tubo no Revit 3 115
Figura 123 - Criar material no Revit 1 116
Figura 124 - Criar material no Revit 2 116
Figura 125 - Criar material no Revit 3 117
Figura 126 - Criar material no Revit 4 117
Figura 127 - Criar material no Revit 5 118
Figura 128 - Editar propriedades de um tubo no Revit 4 118
Figura 129 - Filtrar com *DiRoots* 119
Figura 130 - Editar propriedades de um tubo no Revit 5 119
Figura 131 - Editar propriedades de peças no Revit 1 120
Figura 132 - Editar propriedades de peças no Revit 2 121
Figura 133 - Abrir *Sectioning Tools* 121
Figura 134 - Alinhar vista 122
Figura 135 - Editar definições de corte 1 122
Figura 136 - Editar definições de corte 2 (linha vermelha) 123
Figura 137 - Criar colunas do tipo início e fim 123
Figura 138 - Associação de parâmetros comuns no Navisworks 124
Figura 139 - Simulation settings 124
Figura 140 - Exportar imagem (exemplo) 125
Figura 141 - Exportar imagem 1 125
Figura 142 - Exportar imagem 2 126
Figura 143 - Opções de animação 126
Figura 144 - Animação com câmara 1 126
Figura 145 - Animação com câmara 2 127
Figura 146 - Animação com câmara 3 127
Figura 147 - Modos de navegação pelo modelo 128
Figura 148 - Animar objeto 1 128
Figura 149 - Animar objeto 2 129
Figura 150 - Animar objeto 3 129
Figura 151 - Animar objeto 4 130
Figura 152 - Animar objeto 5 130
Figura 153 - Exportar a animação 1 130
Figura 154 - Exportar a animação 2 131

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de desperdício 7
Tabela 2 – Análise genérico de riscos de “problemas de produção” usada na Gabriel Couto 23
Tabela 3– Análise genérico de riscos de “problemas de produção” usada na Gabriel Couto 25
Tabela 4 – Características gerais da obra exemplo (áreas e constituição) 30
Tabela 5 - Quadro resumo 46
Tabela 6- Descrição da aparência do modelo nas diferentes situações possíveis 48

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LPS – Last planner system

PPC – Percentagem plano completo

EVMS – Earned Value Management System

EVM – Earned Value Management

MBR – Managing by results

MBM – Managing by mean

WBS – Work breakdown structure

PMB – Performance measurement baseline

BIM – Building Information Modeling

LOD – Level of development

SAP – Sistema de Enterprise Resource Planning

ACC – Autodesk construction cloud

MQT – Mapa de quantidades e trabalhos

QTO – Quantity take-off

RVT – Formato proprietário da Autodesk para arquivos do Revit

MEP – Mechanical, electrical and plumbing

ACE – Agrupamento complementar de empresas

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

1
INTRODUÇÃO

1.1 OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

A presente dissertação apresenta um caso de estudo de planeamento e controlo de obra com recurso ao BIM 4D. Marca o final do percurso académico da autora no Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Foi realizada em contexto de estágio curricular em ambiente empresarial, proporcionado pela empresa construtora Gabriel Couto SA.

A evolução tecnológica invade toda a indústria e a área da engenharia não é exceção. As novas e inovadoras ferramentas que vão surgindo podem ser um caminho de inovação a seguir num mercado muito competitivo, proporcionando a realização de processos de construção de modo mais eficaz e com menor desperdício de recursos incluindo o tempo.

Na área da construção, o BIM veio revolucionar o mercado com ferramentas que tornam expeditas algumas das tarefas de um engenheiro clássico e abrem um mundo de novas possibilidades. Estas ferramentas podem ser utilizadas de diversas formas e é útil a pesquisa feita no sentido da utilidade das mesmas em casos reais.

A comunicação é uma condição essencial na vida de todos, quer a nível pessoal, quer a nível profissional. Os lapsos, deficiências e falhas, que são fonte de desperdício de tempo e dinheiro, são múltiplas vezes resultado de erros de comunicação. A boa comunicação evita conflitos e dá espaço para que seja feito um melhor trabalho.

Nos dias de hoje, é essencial para as empresas a utilização dos novos softwares e a Gabriel Couto criou recentemente uma equipa de BIM para dar apoio aos projetos mais recentes. Consequentemente, surge o âmbito do estágio: um estudo mais aprofundado do BIM 4D na fase de acompanhamento e controlo da Obra.

O objetivo principal da dissertação é assim o de contribuir, criando um modelo BIM 4D de uma obra exemplo, para criar imagens que ilustram o desenvolvimento da obra em cada momento, visando uma melhor e mais simples comunicação visual. Como diz o ditado popular: “Uma imagem vale mais que mil palavras”.

A dissertação centra-se também em determinar a utilidade deste tipo de modelos para a empresa e a viabilidade da sua utilização no futuro.

1.2 METODOLOGIA SEGUIDA

São explorados no decorrer da mesma, dois grandes tipos de utilização possível:

-Utilização para comunicação em obra com principal utilidade para o Diretor de Obra, tornando visual o seu plano inicial e facilitando a sua comunicação com os diversos subempreiteiros.

-Utilização para Administração e Clientes, de forma a tornar evidente a diferença entre a realidade e o que foi estabelecido em contrato.

Embora sejam exploradas diversas fases de uma obra pela natureza de previsão associada à área do planeamento de obras, os resultados dizem apenas respeito às fases acompanhadas durante o período de dissertação.

O software principal que foi explorado foi o Navisworks. Este software já fazia parte do pacote que foi comprado pela empresa e é atualmente utilizado pela empresa para outros fins. Para além deste software, usou-se também o planeamento MS Project da obra e o modelo BIM 3D do seu bloco D (o único acompanhado), ambos existentes e disponibilizados pela Gabriel Couto.

A dissertação acaba por ter também assim outro objetivo, não explicitado acima pois refere-se a um objetivo da Gabriel Couto e não da dissertação e que diz respeito a um melhor e maior aproveitamento de programas informáticos existentes na empresa.

A obra designada como caso de estudo é a Quinta do Pinheiro, construção de cinco edifícios de habitação no coração da cidade do Porto. O cliente, Montepio Gestão de Ativos Imobiliários contratou a empresa Gabriel Couto como construtora principal desta obra.

Como atrás se refere, dos cinco edifícios, este trabalho centra-se apenas naquele que sofreu evolução durante o período de estágio, o bloco D. O foco em apenas um dos edifícios permitiu um maior nível de detalhe e menor repetição, nos trabalhos desenvolvidos pela autora durante o estágio.

A dissertação relata, de forma simples e que se pretendeu tão direta e objetiva quanto possível todo o trabalho realizado durante o período da realização da mesma. De qualquer forma, não se pretendeu realizar um "relatório de estágio", mas sim estruturar a dissertação num modelo comum de estado da arte, definição do objeto de estudo e dois capítulos de desenvolvimento, um com a descrição do modelo criado e outro com a apresentação e discussão dos resultados obtidos.

A bibliografia apresentada é referente aos documentos que foram citados e utilizados como fonte e justificação ao longo da dissertação, não inclui todos os documentos e vídeos consultados e refere-se essencialmente ao capítulo 2 de estado da arte.

1.3 BREVE APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação contém cinco capítulos. Para além deste primeiro capítulo introdutório existem ainda outros quatro que de seguida se descrevem de modo sintético.

O segundo capítulo refere-se a um estado de arte com um conhecimento aprofundado sobre os temas da dissertação, acaba por descrever brevemente algumas das possibilidades e caminhos que estão em desenvolvimento e numa fase inicial de aplicação a obras reais. Começa com um enquadramento das preocupações e tendências atuais da área de engenharia civil. Baseado principalmente em artigos especializados sobre a área, apresenta e detalha os conceitos de Lean Construction, BIM, BIM 4D, Acompanhamento e controlo de Obras, e, por último de Análise de Risco.

Estes conceitos estão intimamente relacionados com o objeto da dissertação e vão sendo mencionados ao longo dos outros capítulos. De certa forma, este capítulo tem como propósito, também, a descrição e justificação do tema e inserção do mesmo na engenharia Civil, retratando a importância e impactos do planeamento de obra e referindo o BIM como vertente tecnológica atual bastante importante, bem como quais as possibilidades abertas pelos modelos BIM 4D.

O terceiro capítulo apresenta a empresa Gabriel Couto de forma geral e detalha sobre o funcionamento da secção de Planeamento e controlo de obras e procedimentos aplicados a projetos que recorrem a ferramentas BIM. O principal objetivo deste capítulo é o enquadramento da prática comum da empresa assim como a familiarização com a obra explorada como estudo de caso. As características e a breve descrição dos métodos construtivos da obra em questão fecham este capítulo.

O capítulo quarto apresenta o desenvolvimento dos modelos de BIM 4D, apresentação dos softwares que suportaram a construção desse modelo e a lógica e explicação de alguns atalhos para tornar mais rápida a criação dos modelos e ainda, a descrição de toda a preparação necessária para a criação do modelo 4D.

Este capítulo torna claro algumas das possibilidades do programa explorado. Contém também alguns exemplos das imagens que foram geradas e utilizadas pela empresa, evidenciando a utilidade das mesmas. Foram separadas as imagens para efeitos de direção de obra das imagens para fins administrativos e apresentação a clientes.

O capítulo explica as diferentes abordagens para as diferentes especialidades e ainda várias possibilidades de utilização das imagens. O capítulo contém as várias experiências e tentativas consideradas relevantes de utilização da ferramenta Navisworks, assim como conclusões feitas sobre as mesmas em relação ao fim para o qual foram ou poderiam ser utilizadas.

São exploradas e resumidas numa tabela as três grandes divisões de obra em subespecialidades: Estruturas, Instalações e Arquitetura. O quadro em questão é possivelmente indicativo do grau de utilidade para cada uma das diferentes fases de obra sendo que nem todas decorreram no período da dissertação.

O quinto capítulo incide sobre a apresentação de resultados, ou seja, o que foi o produto final da dissertação. Indica que imagens foram utilizadas pela empresa e demonstra resultados obtidos ao longo da dissertação.

Inclui-se num anexo II, um guia prático para a implementação de um modelo 4D. Este guia é fruto da pesquisa e aprendizagem dos programas utilizados e foi realizado para ser usado futuramente pela Gabriel Couto no desenvolvimento de novos processos similares.

Por fim existe o capítulo de conclusão que incide sobretudo sobre a reflexão sustentada sobre o cumprimento dos objetivos, sugerindo ainda temas de desenvolvimentos futuros relacionados.

2

ESTADO DE ARTE- TENDÊNCIAS INOVADORAS DO PLANEAMENTO

2.1. INTRODUÇÃO

O Capítulo de estado de arte pretende apresentar e fundamentar, com base científica, o trabalho a ser realizado nesta dissertação.

Um planeamento bem feito e com elevado nível de detalhe melhora a produtividade reduzindo atrasos, permite realizar o trabalho numa sequência de construção mais lógica, combina a mão de obra com o trabalho disponível e coordena de forma eficiente as várias atividades. Um planeamento ideal prevê acontecimentos e disponibiliza soluções para os problemas correntes da obra e é o primeiro passo para atingir o cumprimento dos prazos da obra. Essencialmente, o planeamento pode ser associado e implica conhecimento sobre todas as áreas de engenharia civil.

No âmbito desta dissertação e do trabalho desenvolvido, há também uma componente inovadora e muito atual: BIM 4D e visualização rápida. As imagens são uma forma muito eficiente de comunicação, podem substituir longas descrições e podem ser consultadas várias vezes, clarificando imediatamente dúvidas que possam vir a surgir.

Nessa perspetiva, este capítulo começa por um subcapítulo que insere o tema nas tendências atuais da Engenharia Civil seguido por uma série de introdução a conceitos essenciais usados nos processos mais modernos de gestão, tais como a *Lean Construction* e o BIM, sem esquecer as ferramentas mais tradicionais utilizadas no planeamento de obras de construção civil.

Desenvolve-se o tema dos modelos de BIM 4D de modo mais detalhado, apresentando os usos correntes e vantagens dos mesmos. Por fim, é introduzido o conceito de análise de risco no contexto da planificação de trabalhos de obra.

Para a concretização deste capítulo foram consultados 72 artigos/teses dos quais apenas 31 foram referenciados.

2.2. GRANDES TENDÊNCIAS DE INOVAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A construção é uma atividade repleta de incertezas e dependente de muitos fatores complexos e não podendo ser gerida de forma tradicional. Devem utilizar-se vários tipos de modelos organizacionais de forma a poder prever, antecipar, reduzir e adaptar os vários riscos e atrasos que venham a acontecer em obra de forma que esta cumpra os seus objetivos, [1].

É um ramo único na indústria de produção porque tem ciclos de construção mais longos e diversos fatores envolventes e incontroláveis, [2]. Por outro lado, esta indústria encontra-se à beira de uma mudança significativa na forma de execução, que promete melhorar os resultados dos projetos e o processo de construção.

Existem atualmente 3 tendências principais responsáveis pela mudança:

a) Lean construction (ver 2.3);

b) BIM (ver 2.4);

c) Construção verde (não tão relevante no âmbito desta dissertação e por esse motivo não desenvolvido neste capítulo).

Todos estes princípios envolvem algum tipo de planeamento construtivo que, quanto mais minucioso e mais preciso for, menor é o risco de incumprimento,[3].

2.3. *LEAN CONSTRUCTION*

O objetivo da construção é muito simples, agradar ao cliente, maximizar o uso de recursos disponíveis: tempo, pessoas, espaço, material, equipamento. Pretende de igual forma aumentar o lucro, minimizar os atrasos e criar de forma sustentável algo que se gere de forma ecológica, [1].

2.3.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável definidos pelas Nações Unidas são claros, e alguns deles podem ser diretamente ou indiretamente ligados à engenharia civil, ver figura 1, [4].

A sustentabilidade e economia de recursos deve ser um objetivo presente para todos, a responsabilidade ecológica está especialmente assente na construção, quer na fase de produção, quer na fase de exploração.



Figura 1 - Objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU [4]

A construção *lean* é baseada nos princípios desenvolvidos pela Toyota para aumentar a eficiência na fabricação de automóveis. A aplicação de princípios *lean* em projetos de construção existe há um período relativamente curto, mas o objetivo é claro, [3]: reduzir o desperdício ao mínimo possível.

2.3.2- TIPOS DE DESPERDÍCIO

A construção *lean* pretende a inexistência de desperdício, esta parte os vários tipos de desperdício em: superprodução, tempos de espera, transporte ineficiente, excesso de processamento, inventário (stocks), movimentos desnecessários e por último defeitos e rejeições, [2].

Tabela 1- Tipos de desperdício [2]

Tipos de desperdício	Exemplo
Transporte ineficiente	A descarga de materiais é realizada para armazenamento e não diretamente para o local de aplicação (duplicação de fases de transporte).
Tempo de espera	Trabalhadores aguardando a chegada de materiais e/ou equipamentos para a execução dos trabalhos devido a coordenação deficiente.
Movimento desnecessário	Processo de trabalho obrigando a deslocações sistemáticas e cíclicas para a recolha de materiais
Excesso de processamento	Acabamentos com um nível de perfeição desajustada à situação final (ocultação por teto falso, por exemplo)
Defeitos e rejeições	Trabalhos com um nível de qualidade inadequada
Inventário desnecessário (stocks)	Materiais em armazenamento durante um período longo até que sejam, efetivamente, necessários (custos de aquisição sem contrapartida de faturação, maior possibilidade de degradação)
Superprodução	Execução de trabalhos em quantidade excessiva e não coordenada com outros trabalhos complementares (por exemplo, inserção de infraestruturas)

O objetivo é reduzir ou mesmo eliminar as fases que acarretem desperdícios e maximizar o valor com técnicas que influenciem a eficiência da produção. Os princípios a seguir para reduzir desperdícios e maximizar lucros são:

- Especificar o que cria valor dum ponto de vista do cliente;

- Identificar os passos a seguir para entregar o que é pretendido e não aquilo que não acrescenta valor;

- Assegurar o fluxo de trabalho contínuo;

- Produzir apenas aquilo que é pretendido "*just in time*", assegurando que os recursos chegam ao local de produção quando são necessários para não ocupar espaço útil do estaleiro.

- Ambicionar perfeição na entrega daquilo que o cliente quer no tempo certo, minimizando desperdícios, [1].

Embora alguns argumentem que a construção *lean* tem o maior potencial para transformar a indústria, o processo tem evoluído de forma mais lenta na construção e ainda não foi totalmente adotado nesta indústria, [3].

2.3.3 KAIZEN

Em japonês, Kaizen, significa melhoria contínua, este método procura envolver todos os participantes do processo analisado para o melhoramento do mesmo. O resultado é um fluxograma constituído por macro-etapas que contêm tarefas organizadas sistematicamente, que levam à identificação e classificação de problemas no sistema de produção, passando pela seleção dos melhoramentos mais adequados e a sua posterior implementação.

Este fluxograma procura atender à necessidade de cada caso, fornecendo meios operacionais e sistemáticos para a identificação de problemas e para o desenvolvimento das melhorias. É o primeiro passo para assegurar uma melhor qualidade do projeto, um menor investimento e menores custos, a redução do prazo de entrega e uma maior motivação e produtividade dos recursos humanos, aplicando os conceitos de *lean construction*, e *Last Planner System* quando associados à área de engenharia civil.

Passa pelo melhoramento e análise de risco inicial na fase de projeto e na fase de obra mapas de planeamento comprimidos para as semanas mais próximas acompanhados por metodologias e processos de controlo visual, facilmente atualizáveis, [5][6].

A chave para maximizar a construção e os conceitos da *lean construction* é implementar um sistema de planeamento e controlo de produção, [3].

2.4. O BIM NO CONTEXTO DO PLANEAMENTO DE OBRAS

Foram surgindo vários programas informáticos úteis para planeamento de obras. A maioria não foi concebida especificamente para a área da construção civil. No entanto estes, se bem aplicados, trazem grandes vantagens:

- Permite a alteração e afinação de forma expedita ao longo da obra

- Permite o cálculo rápido de redes e caminhos críticos,

- Permitem a alocação de informação como preços e recursos a tarefas para consulta intuitiva e rápida, [7].

Nos últimos anos, a utilização de ferramentas informáticas e o uso de BIM *Building Information Modeling* têm sido uma moda recorrente no mercado da AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção. Formalmente, o BIM é definido como a modelação paramétrica de um edifício. A base de dados é inerente ao programa e as suas capacidades de criar, guardar, processar e representar informação paramétrica assim como estabelecer conexões entre elementos do modelo e a informação associada tornam esta ferramenta particularmente interessante. Embora seja uma ferramenta de pré construção está também a ser cada vez mais usada por construtoras e empreiteiros como uma ferramenta de visualização e de estudo da viabilidade da construção e das alterações feitas durante o processo construtivo, [3].

A grande vantagem do BIM neste momento é a criação de modelos paramétricos para diferentes tipos de uso. Um modelo 3D enriquecido com todo o tipo de informação pode ser acedido e ampliado ao

longo do ciclo de vida da construção. A ferramenta mais usada para a criação de modelos 3D é o Revit, que, a nível de planeamento, está associada à redução dos custos associados à fase de projeto e melhores previsões de custos, [8].

Esta ferramenta permite a criação, documentação e visualização dos modelos das especialidades de arquitetura, estrutura e instalações [9]. Aos modelos de BIM 3D existentes podem ser adicionadas dimensões: se ao modelo for associado um planeamento ou mais concretamente se no modelo paramétrico estão associados parâmetros relacionados com o faseamento construtivo aos objetos que o compõem, é adicionada a dimensão temporal (4D), [8].

A modelação em 4D permite que as equipas de projeto visualizem panos de construção, identifiquem sequências de construção e melhorem a comunicação interna, [3], e torna-se possível realizar um "planeamento por localizações" usando linhas de balanço e/ou desenvolver animações do processo construtivo onde cada objeto aparece ou desaparece da imagem em função das datas de início e fim das tarefas a que está associado, [8].

De seguida, pode ser equacionada uma 5ª dimensão: o custo. Se a cada uma das tarefas, que estão alocadas a um objeto, atribuirmos preços ou custos do material, mão de obra e equipamentos, é possível estimar facilmente os custos e os recursos necessários, bem como os preços de venda, dependendo da parametrização efetuada.

A automação é um dos benefícios mais úteis do BIM. Corresponde à aceleração do processo, por exemplo, o aumento da rapidez de execução dos Desenhos e Medições. A informação dos modelos também facilita a tomada de decisões suportadas por dados acessíveis em tempo real nomeadamente no processo de execução. É comum detetarem-se incompatibilidades estruturais, erros do projeto e problemas de conflitos entre o sistema de instalações e a estrutura. Este tipo de informação sobre onde haverá esses conflitos é importantíssima porque poupa imenso tempo e futuros problemas de atrasos e de custos acrescidos durante a fase construtiva, [8].

2.5. ACOMPANHAMENTO E CONTROLO- FERRAMENTAS LPS E EVM

De nada serve planear sem controlar e acompanhar. O acompanhamento e controlo é retirar da obra em curso a informação que permite atualizar o planeamento em vigor, adaptando-o ao futuro desenvolvimento dos trabalhos e complementando-o com informação, [7]. O mundo da construção está repleto de mudanças de planos, atrasos, imprevistos que é necessário acompanhar, [10].

2.5.1 LPS (*LAST PLANNER SYSTEM*)

O *last planner system* é um sistema de controlo da produção que tem como objetivo designar progressivamente as tarefas para orientar os trabalhadores e controlar o fluxo produtivo, [11]. Parte do pressuposto que o planeamento não é perfeito e está repleto de incertezas. [12] Foi adotado por muitas empresas que reportaram melhorias do respetivo fluxo produtivo, [10].

Contrariamente ao planeamento tradicional, utiliza processos de *pull planning* (ver figura 3) em vez de *push planning* (ver figura 2).

A figura 4 esquematiza o processo do LPS (*Last Planner System*).

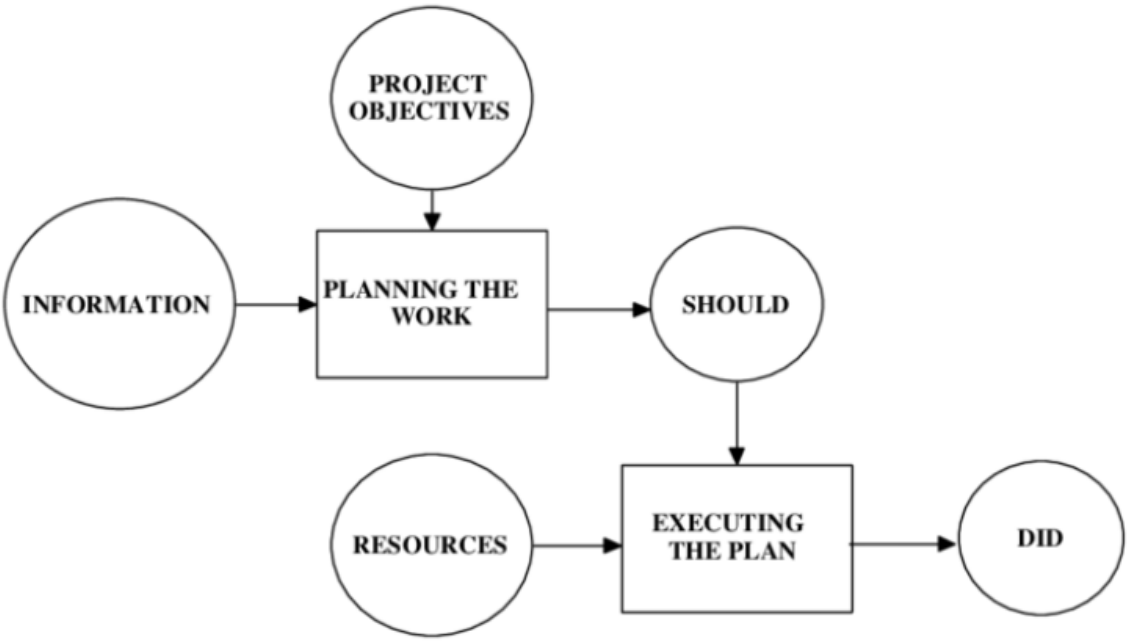


Figura 2 - Sistema tradicional de planeamento (*push*)

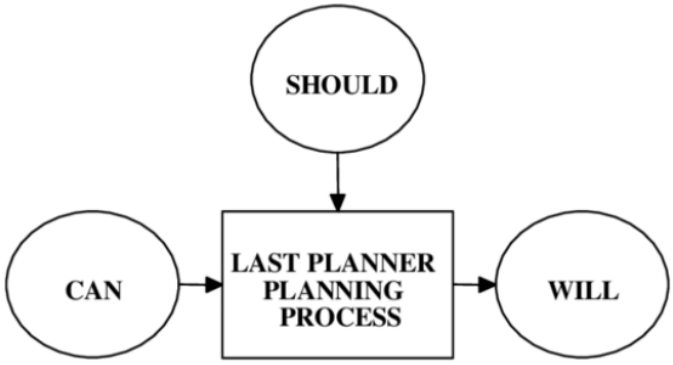


Figura 3 - Representação esquemática do Sistema *pull planning*

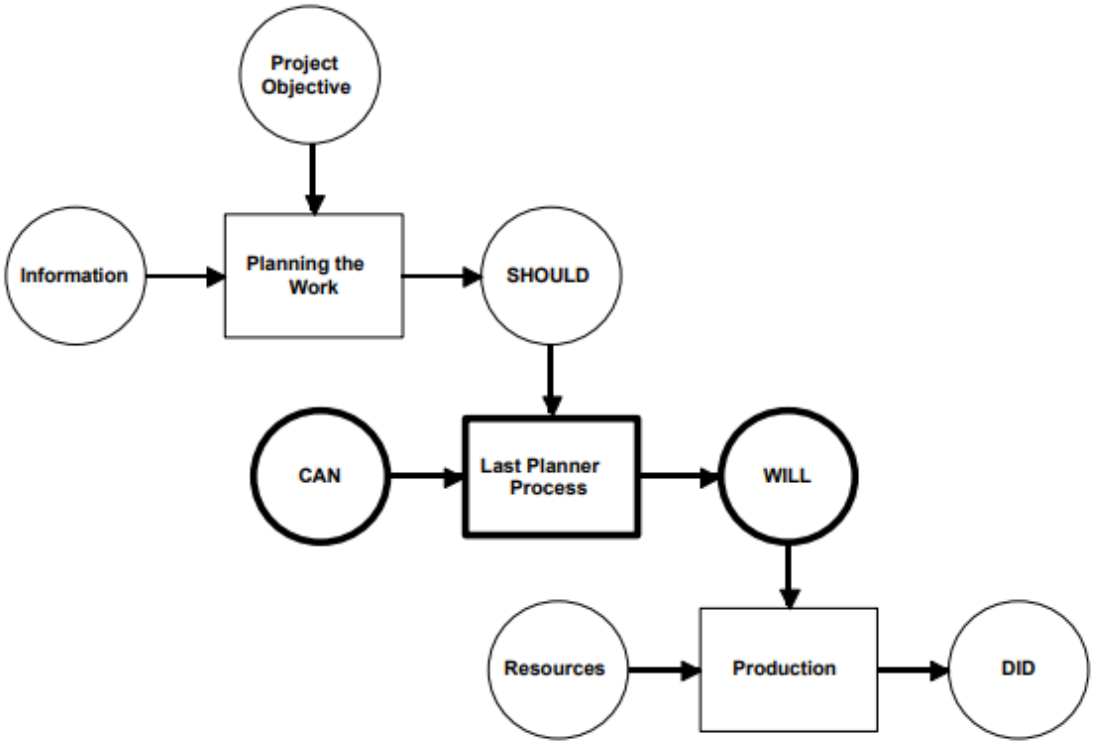


Figura 4 - *Last Planner System*

O LPS segue uma linha de pensamento MBM (*Managing by mean*) que defende que é mais importante nutrir relações entre partes do que maximizar a produção e a eficiência. Apenas se desviarmos os olhos dos objetivos desejados é que eles podem ser alcançados. Ao contrário do que é feito tradicionalmente, pretende que só saiam planos concretizáveis em vez de planos não concretizáveis, desenhados para alegadamente cumprir prazos. Fazer atribuições de qualidade protege as unidades de produção, permitindo que elas melhorem as próprias produtividades, [10].

A construção exige planeamento feito por diferentes pessoas em lugares diferentes e em momentos diferentes da vida do projeto. O planeamento da empresa tem de se concentrar em objetivos globais e restrições que governam todo o projeto. Esses objetivos impulsionam o planeamento das chefias que pretendem atingi-lo. No fundo a pessoa ou grupo que toma a decisão do que vai ser feito no dia seguinte é o *Last Planner*, permitindo assim que seja impulsionado o trabalho direto em vez da produção de um novo plano, [13].

Envolver na decisão as pessoas que têm de completar a tarefa dá uma visão mais realista do que pode ser feito.

O sistema *pull* consiste em gerir a variabilidade do projeto. Define o que será feito (*will*) compatibilizando a forma como deveria ser feito (*should*) com as capacidades reais da equipa (*can*), ver figura 3), [12]. O LPS tem duas componentes: controlo da produção e controlo do fluxo de trabalho, [11].

O controlo de produção consiste em ajustar melhor o planeamento à realidade produtiva dos trabalhadores. Passa também por uma melhor definição da tarefa, sequência adequada do processo construtivo, correta quantidade de mão-de-obra selecionada para a execução da tarefa e a possibilidade efetiva de ser realizada, ver figura 5. Avalia ainda o PPC (percentagem plano completo) e procura melhoria contínua do mesmo e consequentemente, do desempenho produtivo. É calculada pela divisão do número de tarefas completas pelo número de tarefas planeadas, com o resultado definido em percentagem.

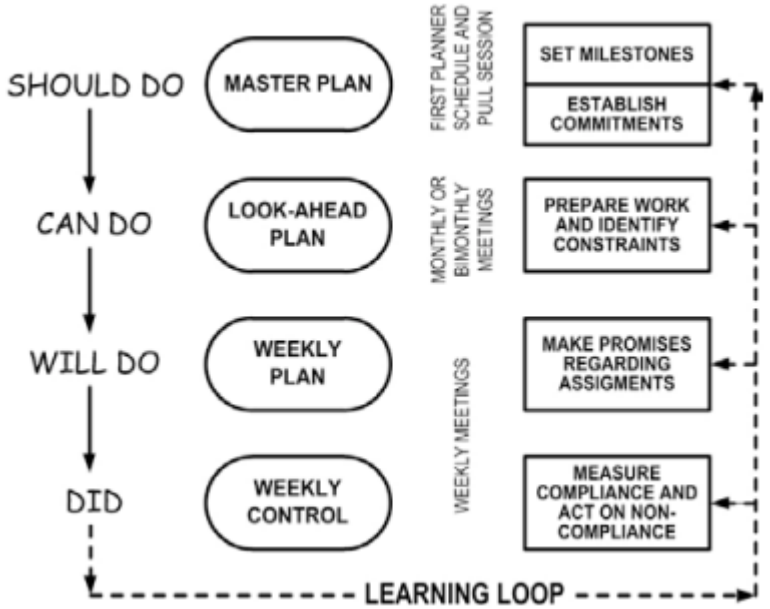


Figura 5 - Resumo do LPS e do seu controlo de produção neste sistema [14]

O controlo do fluxo de trabalho coordena a execução de trabalhos dentro de unidades de produção, equipas de construção e equipas de projeto para que o trabalho se desenvolva no melhor ritmo possível.

Este sistema defende ainda que todo o planeamento a longo prazo deve ser vago devido à incerteza do ambiente produtivo. O planeamento a médio prazo não consegue traduzir fielmente a realidade futura devido a falta de informação mas tem alguma importância para servir propósitos como a definição da sequência e ritmo do fluxo de trabalho, harmonização do fluxo de trabalho e da capacidade de produção, decomposição das atividades em pacotes de trabalho de operações, desenvolvimento de métodos detalhados para execução dos trabalhos, desenvolvimento de um stock de pacotes de trabalho para serem executados quando os originalmente planeados não podem ser executados e por último atualização e revisão dos programas dos níveis mais elevados, [12].

O planeamento de curto prazo é realizado pelo *last planner*, são adaptados os planos com pequenos ajustes na sequência das tarefas em função do que foi feito e da disponibilidade dos recursos para minimizar imprevistos, [11].

Glenn Ballard, o criador deste sistema, continua a fazer adaptações e acrescentar valor e detalhes ao seu trabalho, de forma a continuar a aumentar a produtividade do seu sistema e resolver problemas como, por exemplo, a análise de risco, sendo que a versão mais recente do LPS é de 2020, [15].

2.5.2 EVMS (EARNED VALUE MANAGEMENT SYSTEM)

O EVMS é um sistema que fornece a integração entre custos, prazos e âmbito do trabalho juntamente com as ferramentas para o seu planeamento e gestão, permite: estabelecer bases de referência, rastrear indicadores de desempenho e custos e executar análises e previsões, baseadas em dados acumulados. É formado por um conjunto de ferramentas e processos utilizados para planeamento e controlo de projeto chamado EVM, [16].

EVM é um método de gestão de projetos que integra o âmbito, cronograma e custo e permite monitorizar essas três componentes para que tenham uma medida objetiva do estado do projeto, [17]. Interliga o âmbito, o plano de trabalhos e os recursos do projeto. A finalidade é tornar objetiva a medição do desempenho e progresso ao longo do processo com a vantagem de permitir uma previsão antecipada dos resultados, [16].

EVM segue a linha de pensamento MBR (*managing by results*), que parte do pressuposto que a otimização de partes otimiza o todo, [10].

O planeamento do projeto passa principalmente por definir o WBS (*Work breakdown structure*) que é a divisão do projeto em vários subprojectos de trabalho e a definição de quem vai desempenhar e gerir o trabalho, os prazos e os custos. O planeamento e o custo precisam de ser interligados e registados num orçamento faseado chamado PMB (*performance measurement baseline*). Uma vez feito, o controlo do projeto está maioritariamente na monitorização e na avaliação dos relatórios relativos à execução dos planos de gestão dos projetos: planeamento, custo, qualidade e risco, [16].

Esta informação e previsão é útil não só para saber qual está a ser o funcionamento da obra, mas também para poder corrigir os problemas atempadamente. Se por exemplo uma equipa estiver a ter um rendimento muito inferior ao que é suposto, há a possibilidade de contratar mais homens, corrigir a data final para minimizar atrasos e, esta constatação se tomada em tempo útil, pode levar a que os atrasos na obra tenham menores impactos financeiros.

Todos estes métodos de gestão de projeto não são necessariamente incompatíveis, na verdade, a maioria das empresas utiliza vários em simultâneo, [17].

O pensamento EVM ao nível das operações, têm sistemas com graus de relação complexos entre tarefas e partes o que faz dele menos adequado que o LPS. A diferença entre os dois é que o EVM é mais adequado a sistemas mecânicos e o LPS é mais adequado a sistemas como uma organização empresarial. Tentar otimizar cada parte de uma organização separadamente não resulta e reduz o desempenho. O sistema LPS tende a melhorar a performance de custo por criar boas condições de *performance*. O sistema EVM, que assume que o projeto pode ser dividido em subprojectos independentes, não é bom para gerir operações porque as atividades são altamente dependentes umas das outras e, tanto a pesquisa como a amostra, sugerem que o LPS supera o EVM, [10].

2.6. BIM 4D

2.6.1 USOS CORRENTES E VANTAGENS DIRETAS DO BIM 4D

2.6.1.1 *Clash detection*

Uma *Clash detection* é um processo de verificação automático executado em ambiente BIM que permite detetar que elementos de diferentes modelos ocupam o mesmo espaço volumétrico. A *Clash detection* define três tipos de "problemas":

- *Hard clash*: quando dois objetos passam um pelo outro (tubo a passar por um elemento estrutural, por exemplo);

- *Soft Clash*: deteta conflitos que ocorrem quando objetos invadem tolerâncias geométricas uns dos outros (edifício ao lado de um cabo de alta tensão);

- *4D/workflow Clash*: problemas de planeamento (abrir roços para um tubo de drenagem por baixo de uma grua que se encontra montada nesse local).

A figura 6, que se segue, demonstra um exemplo da aparência de uma *Hard Clash* no software Navisworks.

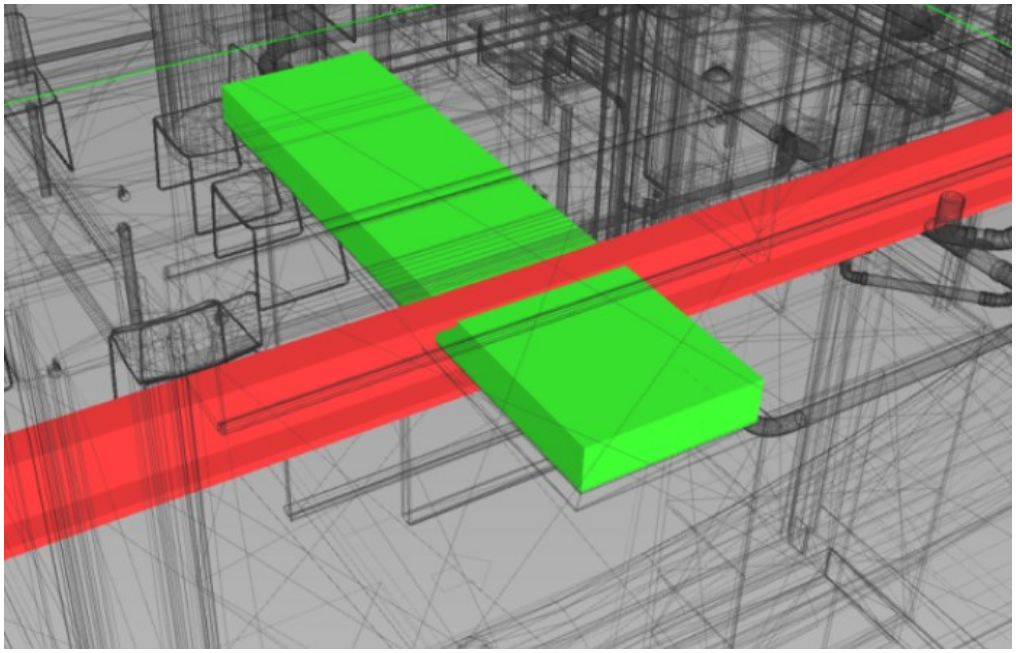


Figura 6 - Exemplo de uma *Hard Clash*

A separação dos projetos dentro do Navisworks é uma mais-valia desta ferramenta, devido à sua possibilidade de verificar dois a dois a existência de anomalias. A ferramenta *clash detection* usada de forma isolada vai apresentar menos resultados e mais direcionados à vontade do utilizador. A utilização deste software permite tanto ao utilizador como aos intervenientes da obra uma segurança e garantia de conformidade do projeto. Ainda merecem destaque algumas das vantagens associadas tais como: a redução de custos na fase de projeto e execução e a deteção antecipada de falhas permitirá uma resolução inteiramente digital, para que posteriormente os trabalhos decorram com regularidade, melhorando a sua eficiência e poupando material, [18].

2.6.1.2 Visualização 4D

O BIM 4D vem de uma necessidade de acompanhar o planeamento da obra de forma mais visual. Já foi demonstrado que, utilizando modelos 4D, são detetados erros lógicos com mais frequência, mais rapidez, do que usando modelos 3D ou 2D e gráficos de barras. Essas descobertas mostram evidências empíricas dos profissionais da indústria de que a visualização de construção 4D, baseada na Web, pode melhorar a colaboração da equipa no planeamento e programação da construção, [19]. Além disso, o

BIM 4D pode ajudar aos que estão em obra em sessões de brainstorming e discussões sobre acesso, armazenamento e sequenciamento de obras, [20]. Parece ser uma maneira eficaz de aprimorar os muitos tipos diferentes de perceção e pode ajudar a antecipar potenciais conflitos de construção durante as etapas operacionais, [21]. Uma melhor imagem visual facilita a colaboração da equipa na remoção de relações entre as atividades nas operações de construção. Os clientes podem ter pouca experiência em construção, e muitas vezes não conseguem participar verdadeiramente no desenvolvimento de planos de construção, de onde pode resultar que a visualização 4D BIM ajuda a criar confiança e perceção ao cliente em relação ao estado da obra, ver figura 7, [20].

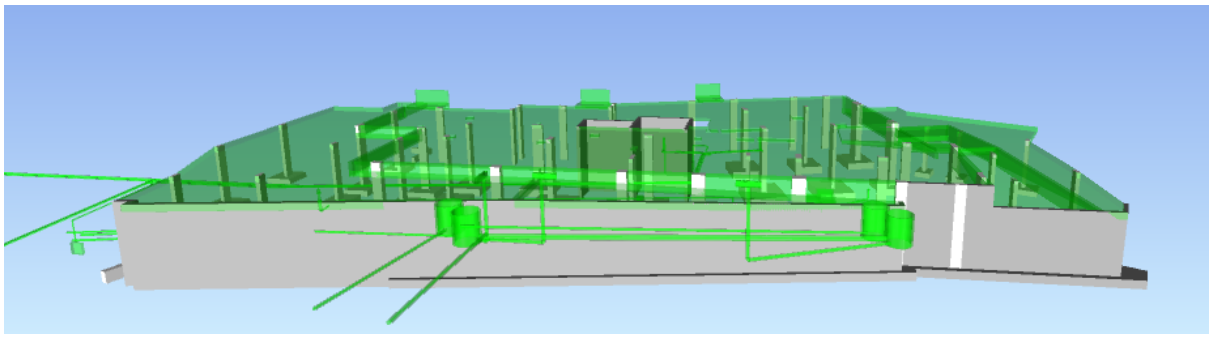


Figura 7 - Imagem retirada de uma simulação 4D (a verde estão representados os elementos em construção)

Atualmente, os modelos 4D têm limitações no compartilhamento e visualização do progresso da construção, devido a não incorporarem informações importantes em tempo útil, tais como as que se associam a problemas de atraso de tarefas e inconsistência de dados.

De acordo com o estudo [22], estes problemas podem ser ultrapassados num modelo com base de dados e visualização na web que são compartilhados instantaneamente. Os resultados deste estudo ilustram que o método supera o atraso nas informações e a inconsistência dos dados, conseguindo eliminar uma parte significativa dos custos associados a falhas e a retrabalho.

A fim de integrar com sucesso diferentes componentes para o planeamento e gestão da construção, um requisito essencial do modelo de visualização 4D é a capacidade de identificar e organizar vários tipos de dados. A visualização do estado do estaleiro de obras em 3D, o trabalho realizado, e a identificação do trabalho incompleto são percetíveis em qualquer momento do tempo de construção, conforme se avança ou retrocede na linha temporal. É essencial que o utilizador tenha a possibilidade de atualizar o plano de construção e o modelo,[21].

Para a criação de um modelo 4D, os passos a seguir são os seguintes:

- Criação de um modelo 3D (este modelo deve seguir certas boas práticas como a criação de elementos por nível e não um único elemento contínuo);

- Criação de um planeamento detalhado da obra que inclui datas de início e fim para a realização de cada tarefa listada;

- Adaptação do modelo e divisão pelas zonas correspondentes às tarefas do planeamento;

- Integração do modelo 3D com o planeamento da obra, ou seja, associação direta dos elementos do modelo às tarefas, [23].

Idealmente esta ligação é feita de forma expedita através de uma condição de junção baseada numa igualdade de valores de parâmetros/colunas, [22].

2.6.2 Potencialidades e Investigações atuais

Atualmente, os projetos em BIM 4D não são novidade e já são em alguns países prática comum. Os usos não se limitam a construção de planeamento nem de *clash detection*, mas também oferecem acesso a gestão e monitorização da construção, evoluindo ao longo do ciclo de vida do projeto e sendo parte das mudanças tomada de decisão tornando a programação e a coordenação mais eficientes, [24].

A má qualidade de obras de construção e a definição ineficaz do planeamento da obra podem ser significativamente diminuídos pela adoção do BIM no processo de design inicial. O desempenho da construção no local pode ser aprimorado por vincular modelos de informações de construção com cronogramas. Este vai resultar num melhor controlo nas diferentes etapas do projeto, correta distribuição de trabalhadores e minimização de interferências entre diferentes tarefas de construção que resulta em custos cada vez mais reduzidos, [25].

2.6.2.1 Espaço critico para a execução de uma tarefa

Até aos dias de hoje um dos problemas que foi ignorado por se resolver com experiência e intuição de quem planeia é o espaço crítico para a realização de uma tarefa. Foram conduzidos estudos para definir qual o espaço necessário para trabalhar, chegando à conclusão que há de facto descida de produtividade quando esse espaço não existe de modo bem definido para os diversos especialistas envolvidos na construção.

Agora que há métodos sofisticados de planeamento e análise da sequência das tarefas do WBS mas o problema do espaço para a realização das tarefas não é tido em conta principalmente porque é extremamente variável. Não só pelos vários trabalhadores que andam pela obra e podem colidir espacialmente consoante a tarefa que estão a realizar, mas também, porque a construção de um piso é um novo espaço de trabalho e uma parede representa uma barreira assim que é construída: o espaço disponível para as tarefas está em constante alteração.

Esta característica é outra que distingue a construção do resto da indústria e, consequentemente, um motivo pelo qual não funcionam da mesma forma: O espaço de trabalho está intimamente ligado ao planeamento construtivo, [26]. Esta pode ser uma grande vantagem do 4D: se aos elementos construtivos forem associados o espaço crítico para a construção do mesmo, podem ser feitas colisões de espaços de trabalho, assegurando que não vai haver coincidência espacial durante a fase de construção. Os requisitos de espaço de atividade específico do projeto podem ser gerados automaticamente pela interpretação de descrições genéricas de pela utilização do modelo de 4D e da informação a ele associada, [27].

2.6.2.2 Segurança em obra

O mundo da construção é conhecido como um grande local de risco e é obrigatório cumprir normas principalmente para segurança dos próprios trabalhadores. Outro aspeto reconhecido no mundo das obras é a cultura de pouca adesão dos trabalhadores em geral em relação a essas medidas.

As simulações 4D podem ser geradas com foco nos procedimentos de segurança. Essas simulações podem identificar a metodologia, elementos de segurança temporários e podem destacar as áreas mais perigosas da obra. Podem ser criados sistemas para detetar automaticamente as atividades de alto risco

e indicar as medidas de segurança necessárias. A figura 8 demonstra um exemplo de um modelo num ambiente transitável para Realidade Virtual ou Realidade Aumentada.

O uso de 4D para ensaiar atividades da construção proposta em um ambiente de realidade virtual pode ser uma chave para permitir o planeamento preciso da segurança da obra, isto porque fornece uma imagem mais próxima da realidade e de forma imersiva, onde são facilmente identificáveis os perigos e é possível criar um plano para mitigar os riscos na fase de pré-construção, [28]. Considera-se assim esta ferramenta como tendo um potencial enorme nas tarefas de formação dos trabalhadores, nomeadamente em projetos mais complexos e realizados em piores condições atmosféricas.



Figura 8 - Imagem de um ambiente virtual de uma obra em construção

As barreiras para utilização de 4D são, de acordo com o artigo [29], o tempo e o custo de implementação, complementados com a cultura de resistência e de inércia em relação à mudança. Também é necessária mais investigação sobre a adoção atual e em desenvolvimento do BIM 4D, [28].

2.6.2.3 Uso em processos de tribunal

O artigo [30] menciona que a simulação se tornou a ferramenta de visualização ideal para a sala do tribunal e, se for provado que o modelo é confiável, pode ser usado como uma exposição junto com o testemunho de especialistas. Também menciona que um benefício de usar animação na sala do tribunal resulta do facto de transformar indiretamente os membros do júri em testemunhas porque as imagens são absorvidas pelos elementos como se a experiência tivesse sido vivida pelos próprios.

2.7. PLANEAMENTO E ANÁLISE DE RISCO

A qualquer objetivo que envolve um conjunto de suposições, expectativas ou pressupostos está associado um risco. [2] A um risco estão sempre associadas incertezas e uma possibilidade de ocorrência. A análise de risco é importante para manter uma visão mais realista do que pode acontecer no futuro e antever algumas situações que possam vir a acontecer.

Qualquer que seja o método de análise de risco escolhido, todos eles acabam por seguir a mesma linha de pensamento:

-Identificar o risco e a causa do mesmo;

-Identificar o impacto do risco;

-Avaliar a probabilidade de ocorrência do mesmo com um grau de severidade elevado e se ele é ou não facilmente detetável;

-Associar ao risco um custo resultante da ocorrência dos factos identificados na análise de risco;

-Monitorização e medidas preventivas, [31].

A análise de risco é extremamente útil para identificar, entre os trabalhos previstos, os que poderão introduzir maior dificuldade no cumprimento dos prazos e sinalizá-los para haver maior monitorização (poder agir assim que algo não corre de acordo com o planeado) e prevenção dos mesmos.

A tarefa ter ou não impacto nas tarefas seguintes é também ser um fator relevante, pois todas as tarefas do caminho crítico têm um grau acrescido de risco. Os riscos de falhas, por esse motivo, são assim maiores para as tarefas que se situam mais no fim dos projetos, [2].

Este processo é sempre um pouco subjetivo: duas pessoas diferentes podem discordar do grau de severidade ou de ocorrência de um determinado risco dependendo da experiência individual, [2]. Há também um fator relevante a salientar, a análise de risco será melhor consoante o grau de conhecimento sobre o objeto do decisor.

A escolha do método de cálculo a usar na avaliação do risco depende da pessoa que toma a decisão, da complexidade de cálculo, exigência de aplicação, programas de computador e do objetivo da mesma, [31]. A escolha de um modelo específico, disfarçado por uma aparência de elevada precisão matemática, tem sempre um grau de variabilidade e contextualização muito elevados, pelo que a complexidade muitas vezes é inimiga da qualidade da avaliação.

É importante saber-se que nenhum dos potenciais métodos de avaliação é perfeito e que por vezes o olhar experiente do avaliador é predominante sobre o método escolhido, [2]. Ainda assim, o mais relevante é que haja uma análise de risco feita, principalmente se esta incluir a concretização de ações específicas de minimização de danos, [31].

3
APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Gabriel Couto é uma empresa de construção civil e obras públicas com mais de 70 anos de atividade.

Começou por uma pequena unidade económica e de relevância local, em Famalicão, sede da empresa, e evoluiu para uma organização de referência no sector, oferecendo diversos produtos e serviços e integrando-se em vários mercados. De forma a continuar a diversificar os seus serviços, a Gabriel Couto trabalha diretamente com diversas empresas que lhe permitem penetração em novos mercados. Há também um longo historial de execução de projetos complexos, com prazos exigentes e equipas de gestão de projeto altamente qualificadas. O cumprimento dos mesmos sem prejudicar os níveis de alta qualidade, têm vindo a consolidar a reputação de excelência da empresa tornando-a significativa no mercado atual.

A empresa conta com o contributo dos seus colaboradores que são hoje mais de 750, e que têm vindo a ser decisivos para atingir os valores de produção, ao nível de vendas, próximos dos 105 milhões de euros. A empresa está presente nos mercados da Roménia, Cabo Verde, Senegal, Angola, Gana, Zâmbia, Moçambique, Suazilândia, El Salvador, Nicarágua e Honduras.

A identidade organizacional é representada pela Visão, Missão e Valores.

A visão de melhorar a empresa para um objetivo futuro: Ser uma empresa de referência e prestígio na área de construção civil e obras públicas, reconhecida por gerir e desenvolver o talento e competências dos seus colaboradores como fator competitivo e diferenciador, de forma a assegurar a melhoria dos seus próprios processos, nível de rentabilidade e criação de valor.

Relativamente à Missão ou razão de existir, pretende-se assegurar uma correta resposta às exigências dos clientes, de forma sustentada com qualidade e rigor, através de recursos diferenciadores, inovadores e qualificados que permitem a rentabilidade de um negócio atrativo.

Por último, mas igualmente relevante, os Valores: rigor, integridade, transparência, eficiência, sustentabilidade, ética e inovação,[32].

A figura em baixo, 9, contém o logotipo da empresa.



Figura 9 - Logotipo da empresa

3.1.1. Política de gestão

Existe um compromisso de cumprimento dos requisitos legais, contratuais, normativos e aqueles que são definidos internamente nomeadamente para com os seus clientes: saúde e segurança, sustentabilidade, melhoria contínua e melhor ambiente empresarial.

Devido ao crescente nível de exigência em relação a todos os compromissos previamente descritos e de forma a assegurar qualidade, há uma maior necessidade de certificações. Como tal, a Gabriel Couto possui um histórico com mais de uma dezena de anos que acabam por torná-la diferenciadora, íntegra, sustentável e inovadora. Estas certificações asseguram a qualidade dos projetos, valorização do ambiente e preservação do mesmo, segurança e melhoria das condições de trabalho e por último inovação e melhoria contínua da qualidade de produção.

3.1.2. Departamento de Planeamento e Controlo de Obras

Após a adjudicação de uma obra, a equipa de Planeamento e Controlo começa o seu trabalho. O Departamento promove uma reunião de passagem de obra com o Departamento de Técnica Comercial, Orçamentista, Direção de Gestão de Obras, Direção de Compras e Direção de Obras antes da qual o Orçamentista é responsável por preparar uma folha resumo com os dados mais importantes relativos ao âmbito da empreitada, prazos, principais quantidades e recursos críticos. São também fornecidos dados económicos e margens brutas e líquidas estimadas em sede de orçamento comercial da empreitada.

Aquando da consignação é aberto o projeto da obra no sistema SAP (que representa o sistema de Enterprise Resource Planning usado na empresa) pela equipa de Planeamento e Controlo e Direção de Obra, sendo criada uma estrutura de codificação de custos adaptada a cada obra.

3.1.2.1. Gestão usando o SAP

O Sistema de Informação SAP (SAP BUSINESS SUITE), existente na empresa, suporta a cadeia de valor global da empresa, com acesso interno (sede) e externo (estaleiros dispersos pelo país e pelos mercados externos). Em termos sintéticos, esta ferramenta permite:

- Reunir num só sistema toda a informação de suporte à gestão da empresa e ao desenvolvimento das áreas de negócio da empresa;

- Aumentar a fiabilidade das decisões executivas e operacionais a tomar na empresa ao nível global, de áreas de negócio (sobretudo nos mercados de exportação) e de cada obra específica;

- Controlar eficientemente as empreitadas, em termos de prazos e controlo custos, nomeadamente empreitadas Nacionais e Internacionais, já que o modelo de controlo é universal a todas as geografias;

- Fomentar o desenvolvimento de novos projetos de investimento.

3.1.2.2. Funcionamento do Departamento de Planeamento e Controlo de Obras

A direção de Obra, em conjunto com o Departamento de Planeamento e Controlo de Obras, elabora o plano de trabalhos, o plano de recursos e o cronograma financeiro em MS Project e o plano de necessidades de materiais e subempreiteiros. Esta ferramenta permite criar uma metodologia que visa atribuir um prazo real e específico para cada uma das tarefas e perceber o encadeamento das mesmas, ver figura 10.

É também criado um controlo de produção semanal através do modelo "Mapa de controlo de produção"

Para algumas das obras são criados e implementados mapas do tipo "*pull-planning*", adotando a metodologia "Kaizen", para uma melhor visualização das tarefas.

Estes mapas vão sendo atualizados ao longo da obra.

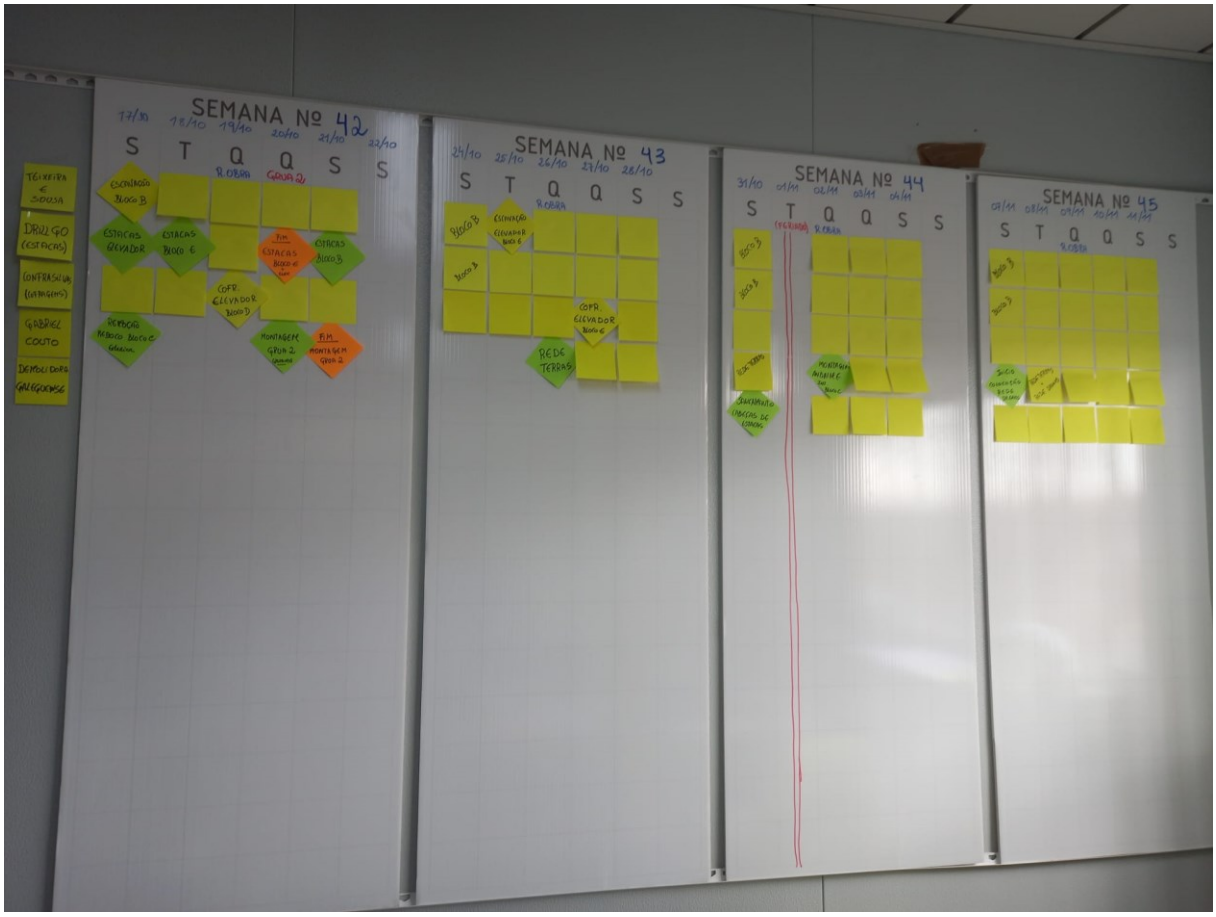


Figura 10 - LPS simplificado da obra da Quinta do Pinheiro

Os processos de controlo de custos têm em conta o cumprimento de um orçamento objetivo, que é submetido à aprovação da Administração pela Direção de Planeamento e Controlo e pela Direção de Obra e que é depois monitorizado mensalmente.

Cada relatório mensal traduz-se numa comparação muito detalhada, para a obra em questão, entre o previsto e o realmente efetuado, é feito com um nível de detalhe que permite identificar problemas e desencadear de ações de recuperação/correção de problemas e dos correspondentes atrasos.

3.1.3. PLANO DE TRABALHOS, RISCOS E MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS

O programa de trabalhos constitui, numa fase inicial, uma previsão que será detalhada e ajustada durante a fase de preparação e planeamento da obra. Para isso, é fulcral a elaboração de um plano de trabalhos detalhado, rigoroso e flexível, com base em rendimentos de trabalho e capacidade de mobilização realistas, um elevado nível de conhecimento da capacidade de aprovisionamento e contratação do mercado, e ainda, experiência recolhida na execução de obras com semelhante dimensão e complexidade.

Com o decorrer da empreitada, deve haver um controlo contínuo e bastante interventivo do nível de cumprimento das metas propostas, de modo a prevenir problemas e potenciar a resolução dos mesmos por antecipação, com recurso a folgas e maleabilidade consagradas no programa inicial.

Estabelecem-se assim para todas as atividades as respetivas relações de precedência e define-se de forma inequívoca o modo de evolução da empreitada. A sequência das atividades deve ser definida com recurso a decisões estratégicas, sempre respeitando a lógica normal de execução dos trabalhos nomeadamente do ponto de vista de limitações e condicionalismos físicos, tendo em vista a otimização dos recursos e rendimentos de execução, a minoração de riscos de deterioração das atividades antecessoras (que se traduz num aumento de qualidade), e a execução da obra no menor prazo possível, que acarreta sempre vantagens económicas e financeiras importantes.

Deve dar-se uma especial atenção à coordenação das várias atividades, especialmente quando estabelecem uma relação de dependência com as restantes e se encontram no caminho crítico já que estas não têm flexibilidade na data de execução.

Deve também ter-se em conta a possibilidade de avarias mecânicas, insuficiência de operadores, condições climáticas (principalmente pluviosidade e ventos fortes) e condições geotécnicas diferentes das esperadas. Os atrasos podem ser compensados com contratação de mão de obra extra. A elaboração do plano de obra é realizada em MS Project e a todas as atividades são alocados meios humanos, equipamentos necessários à sua execução, estimadas com base na necessidade de cumprimento dos prazos estabelecidos em contrato celebrado com os clientes. À medida que a obra vai evoluindo, o desenrolar das atividades é acompanhado e o plano vai se ajustando consoante as circunstâncias específicas que vão ocorrendo na obra.

Como já foi referido, há sempre riscos associados à execução da obra de que resulta a possibilidade de incumprimento dos prazos. Para o evitar, é feita uma análise de risco identificando todos os riscos associados e fazendo uma análise quantitativa e qualitativa dos mesmos. Esta análise permite muitas vezes prever acontecimentos, tomar medidas preventivas e criar planos de contingência para evitar ou mitigar acontecimentos prováveis que possam atrasar a obra.

As Tabelas 2 e 3 abaixo apresentam uma análise genérica de riscos e medidas preventivas e corretivas associadas, adotada na empresa como base de raciocínio a ser usada por cada equipa produtiva.

Tabela 2 – Análise genérico de riscos de “problemas de produção” usada na Gabriel Couto

(medidas preventivas)

RISCOS	MEDIDAS PREVENTIVAS
Risco de Atraso no Aprovisionamento de Materiais.	Após a decisão de adjudicação da empreitada, serão imediatamente iniciados os processos de aprovisionamento, para consulta, aprovação, adjudicação e compra dos materiais e equipamentos necessários. Será feita “stockagem” imediata de tubagens, pré-fabricados, inertes e equipamentos eletromecânicos e elétricos.
Entrada na Obra de Materiais com Defeitos ou inadequados para Utilização	A aquisição de materiais habituais, como pré-fabricados em betão, inertes e tubagens será feita preferencialmente a fornecedores credenciados no mercado, e com os quais o concorrente detém relações privilegiadas. Serão definidos procedimentos de receção e verificação de receção de encomendas no estaleiro, os quais terão prazos definidos para substituição de peças danificadas e/ou inadequadas.

Tabela 3 – Análise genérico de riscos de "problemas de produção" usada na Gabriel Couto

(medidas preventivas)

Dificuldade na Mobilização de Equipamentos Necessários à Empreitada	O concorrente é proprietário de todos os equipamentos necessários à execução dos trabalhos, equipamentos estes que se encontram em adequadas condições de operacionalidade, de acordo com a legislação aplicável em vigor, evitando-se desta forma atrasos decorrentes de "procurement" de fornecedores de equipamento. O concorrente tem os equipamentos em manutenção constante para, a qualquer momento estarem disponíveis para serem mobilizados para a obra, para operarem em conformidade.
Avaria de Equipamentos	O concorrente tem oficinas de mecânicas próprias, com técnicos especializados nos equipamentos em questão. Estas oficinas possuem piquetes de emergência com veículos equipados com todas as ferramentas e acessórios necessários as uma intervenção "in situ", evitando-se assim a desmobilização dos equipamentos. O concorrente detém ainda relações de excelência com os representantes nacionais das principais marcas de equipamentos necessários aos trabalhos da empreitada, possibilitando assim o acesso em tempo útil a peças de substituição ou outros elementos necessários.
Dificuldade na Mobilização de Meios Humanos Necessários à Empreitada	O concorrente tem mão-de-obra própria adequada à execução de todos os trabalhos da empreitada, desde os técnicos mais especializados até os trabalhadores indiferenciados. A mobilização poderá ser feita imediatamente a seguir à consignação da empreitada. Caso seja necessária mão-de-obra suplementar, o concorrente possui reações de excelência com subempreiteiros de cedência de mão-de-obra da região.
Relações Institucionais	O concorrente detém relações de excelência com a maior parte das entidades que possam porventura estar relacionadas com os trabalhos da empreitada. Recebida a intenção de adjudicação, serão iniciadas todas as diligências no sentido da obtenção de todos os cadastros que possam interferir com os trabalhos da empreitada. Serão também expostos logo nesta fase as problemáticas detetadas, com vista ao início da formulação da metodologia de intervenção.
Processos Construtivos	Após a decisão de adjudicação, serão imediatamente destacados os técnicos com experiência em obras desta natureza para estudarem todos os processos construtivos da empreitada. Será analisado o projeto, e serão preparados todos os trabalhos com ricos especiais, com pormenorização acrescida.

Tabela 4 – Análise genérico de riscos de "problemas de produção" usada na Gabriel Couto

(medidas preventivas)

Existência de Infraestruturas Enterradas	Antes do início dos trabalhos serão contactadas todas as entidades e concessionárias de infraestruturas eventualmente existentes na área de intervenção da empreitada, para obtenção dos cadastros. Nas zonas onde seja previsível a existência de infraestruturas enterradas, a escavação será mais cuidada, podendo-se recorrer à escavação manual.
Precipitação e Pluviosidade	Este risco está sempre presente e as suas medidas de mitigação prendem-se apenas com a minoração dos efeitos resultantes. Assim, serão mantidas sempre as inclinações dos terrenos contíguos às valas com inclinações favoráveis ao escoamento das águas.
Quebras de Produtividade	Os meios humanos do concorrente são abrangidos por políticas de compensação monetária por objetivos, prémios de produtividade e outras ajudas com vista à estimulação da produtividade. Todos os meios humanos possuem formação reativa aos trabalhos a executar, e possuem experiência que permite o desenvolvimento dos trabalhos com o rendimento esperado.
Doenças e Substituição de Meios Humanos.	O concorrente tem uma política de proteção da saúde dos seus trabalhadores, com campanhas de vacinação periódicas contra as principais doenças sazonais como gripes e constipações.

No caso de haver atrasos, podem ser tomadas algumas medidas corretivas como a contratação de uma equipa extra de forma a duplicar o rendimento diário, tendo em conta o cumprimento do prazo de execução.

Tabela 5– Análise genérico de riscos de "problemas de produção" usada na Gabriel Couto

(medidas corretivas)

RISCOS	MEDIDAS CORRETIVAS
Risco de atraso no Aprovisionamento de Materiais.	Caso seja detetado algum atraso no fornecimento de materiais, o mesmo será imediatamente comunicado ao departamento de aprovisionamento, o qual pressionará o fornecedor para proceder ao fornecimento imediatamente. Na ausência de resposta do fornecedor em tempo útil, iniciar-se-á imediatamente o contacto com um fornecedor alternativo, com vista à colmatação da situação. Se possível, recorrer-se-á ao fornecimento de materiais entre frentes, para que "nenhuma frente seja obrigada a parar por falta de material.

Tabela 6– Análise genérico de riscos de "problemas de produção" usada na Gabriel Couto

(medidas corretivas)

Entrada na Obra de Materiais com Defeitos ou Inadequados para utilização	Caso seja detetado algum elemento não conforme, o mesmo será imediatamente comunicado ao departamento de aprovisionamento, o qual pressionará o fornecedor para proceder à substituição imediata do material! ou do componente em questão. Na ausência de resposta do fornecedor em tempo útil, iniciar-se-á imediatamente o contacto com um fornecedor alternativo, com vista à colmatação. da situação. Se possível, recorrer-se-á ao fornecimento de materiais entre frentes, para que nenhuma frente seja obrigada a parar por falta de matéria.
Dificuldade na Mobilização de Equipamentos Necessários à Empreitada	Caso haja algum atraso na mobilização de equipamentos para a empreitada, serão imediatamente contactados os fornecedores habituais de equipamento da região. para colocarem em obra, ainda que provisoriamente, o equipamento necessário com vista do início imediato dos trabalhos.
Avaria de Equipamentos	Em caso de avaria, será avisado imediatamente o piquete de mecânica do concorrente, o qual terá como obrigação a deslocação à obra no mesmo dia útil. Caso a avaria determine um período de paragem mais elevado, será mobilizado para a frente de obra equipamento de reserva que se encontra em estaleiro
Dificuldade na Mobilização de Meios Humanos Necessários à Empreitada	Caso se verifique o atraso na mobilização dos meios humanos necessários ao início dos trabalhos, serão contactados subempreiteiros de cedência de mão-de-obra da região, com vista à colocação imediata de equipas de mão-de-obra nas frentes de obra.
Doenças e Substituição de Meios Humanos	Caso seja detetado algum trabalhador com doença que o incapacite de exercer a sua atividade profissional normalmente, o mesmo será imediatamente substituído, devendo no máximo, no dia útil seguinte estar presente na frente de trabalho trabalhador de substituição.
Quebras de Produtividade.	Caso sejam detetadas quebras de produtividade, as mesmas serão investigadas para se aferir a causa das mesmas, e serão implementadas medidas corretivas como ações de formação.
Relações Institucionais	Caso as diligências para resolução de problemas relacionados com as atividades externas estejam a revelar-se infrutíferas, serão aferidas as condições em que as mesmas se encontram a ser levadas a efeito, e serão retomadas insistentemente até obtenção de resposta por parte das entidades relacionadas.

Tabela 7– Análise genérico de riscos de "problemas de produção" usada na Gabriel Couto

(medidas corretivas)

Processos Construtivos.	Caso os processos construtivos se revelem inadequados, ou não originem os resultados pretendidos, serão reformulados os procedimentos de ação, com vista à execução dos trabalhos da forma mais correta e mais rápida.
Nível Freático	Caso seja detetado nível freático elevado, o mesmo deverá ser desviado com valas de escoamento, ou com a ajuda de meios mecânicos - motobombas.
Existência de Infraestruturas Enterradas	Caso seja detetada alguma infraestrutura enterrada não prevista, será imediatamente suspensa a escavação mecânica e será iniciada a escavação manual. Em caso de rotura de alguma infraestrutura, será contactado o piquete de emergência da concessionária da infraestrutura em questão, para colmatação do problema.
Precipitação e Pluviosidade	Em caso de danos consumados resultantes da pluviosidade, como desmoronamento de terras para as valas, as mesmas serão regularizadas novamente, e recorrer-se-á a painéis de entivação e bombas para remoção da água da vala e continuação do trabalho em segurança.

Do ponto de vista dos elementos de planeamento apresentados, tais como o Plano de Trabalhos, Plano de Mão de Obra e Plano de Equipamentos, pode-se dividir o período de intervenção em dois tempos:

- Na fase de apresentação de propostas, onde se elaboram os planos de trabalhos, mão de obra e equipamentos, com os pressupostos referidos nas medidas preventivas;

- Na fase de execução dos trabalhos, onde, sempre que ocorrem atrasos, são implementadas medidas corretivas de forma a recuperar atrasos ocorridos.

3.1.4. OS PROCEDIMENTOS APLICADOS EM PROJETOS QUE RECORREM AO BIM

Neste momento a empresa já trabalha com várias ferramentas de apoio ao planeamento e acompanhamento da obra inclusive tem projetos que recorrem à metodologia BIM.

Os programas de BIM, se bem utilizados melhoram substancialmente o fluxo de trabalho no local de construção, a coordenação de modelos, a colaboração durante o processo de projeção, o cálculo dos custos e a gestão de documentos. Neste momento, a empresa trabalha com o software, da área do BIM, REVIT e Navisworks.

Para além destes são também usados programas de planeamento, tais como o MS Project, que permite saber quais foram os maiores desvios temporais e de atraso na obra, realizar o balizamento dos trabalhos e fazer uma análise às previsões de faturação.

Os procedimentos, quando se recorre a projetos que usam ferramentas de BIM, envolvem uma fase importante de preparação inicial e começam pela definição do "*Bim Coordinator*" e da equipa do projeto, organização das pastas do servidor interno e da plataforma ACC (Autodesk construction cloud) que permitirá a comunicação com a equipa de obra.

Logo após, inicia-se a modelação com o nível de detalhe adaptado aos usos BIM pretendidos, o que normalmente envolve: o planeamento da mesma, preparação RVT com templates internos, famílias por especialidade e problemas encontrados como dúvidas de projeto e avisos para a obra.

Está nos planos da empresa implementar nesta fase também os modelos BIM 4D, o que acaba por ser o objetivo desta dissertação, já que a empresa se encontra na fase inicial deste processo.

3.2. A OBRA- QUINTA DO PINHEIRO

3.2.1 DESCRIÇÃO DA OBRA

A Obra da Quinta do Pinheiro refere-se à empreitada de construção de 117 apartamentos para a empresa Montepio Gestão de Ativos Imobiliários, ACE, a ser realizada num prazo de 24 meses.

O presente projeto é composto por um lote com 5 edifícios (Blocos A, B, C, D e E), num condomínio fechado e com um total de 117 habitações e uma fração de comércio/ serviços, ver figuras 11, 12 e 13.



Figura 11 - Visão satélite do local da obra

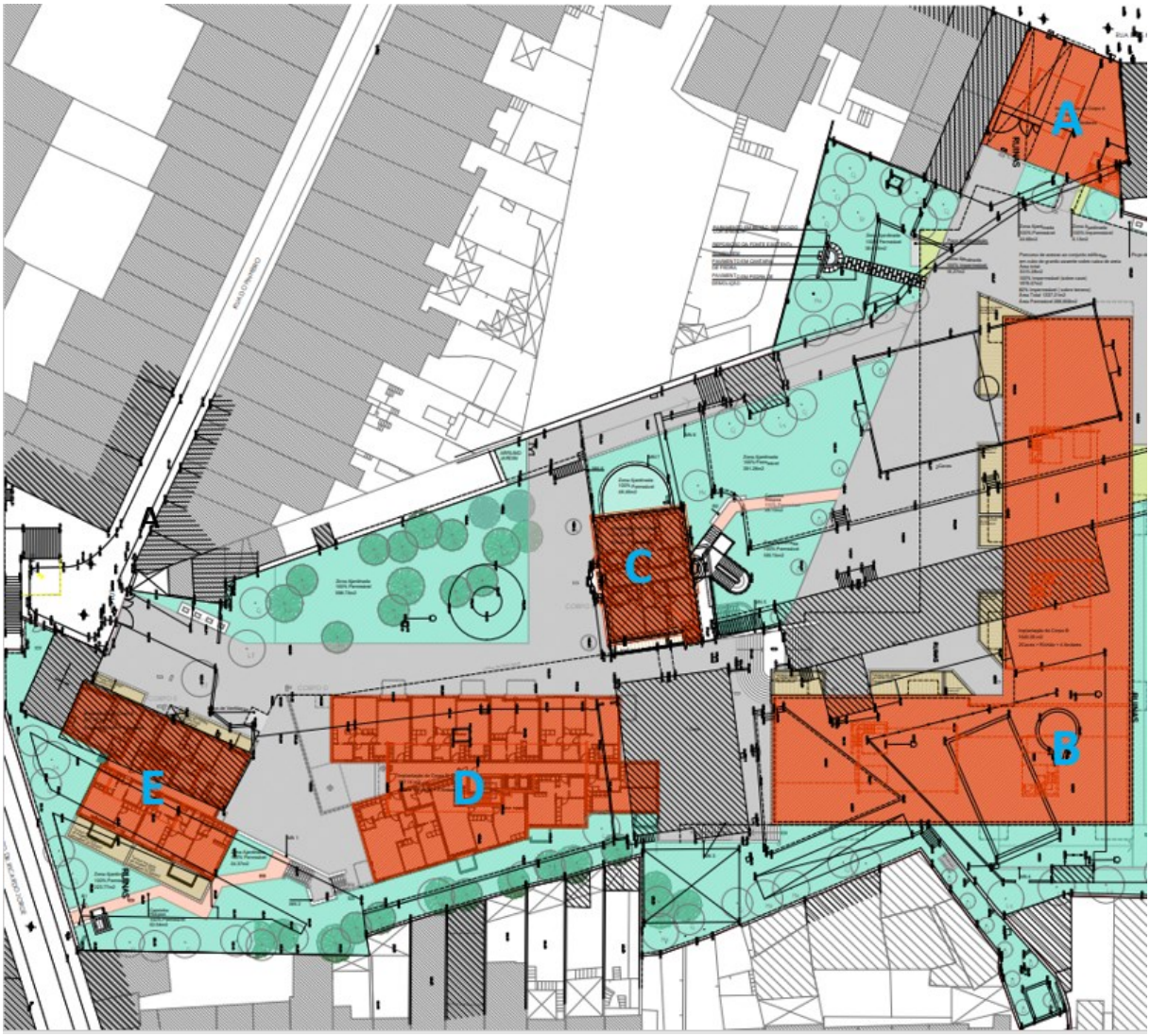


Figura 12 - Planta geral do projeto da quinta do pinheiro (implantação)

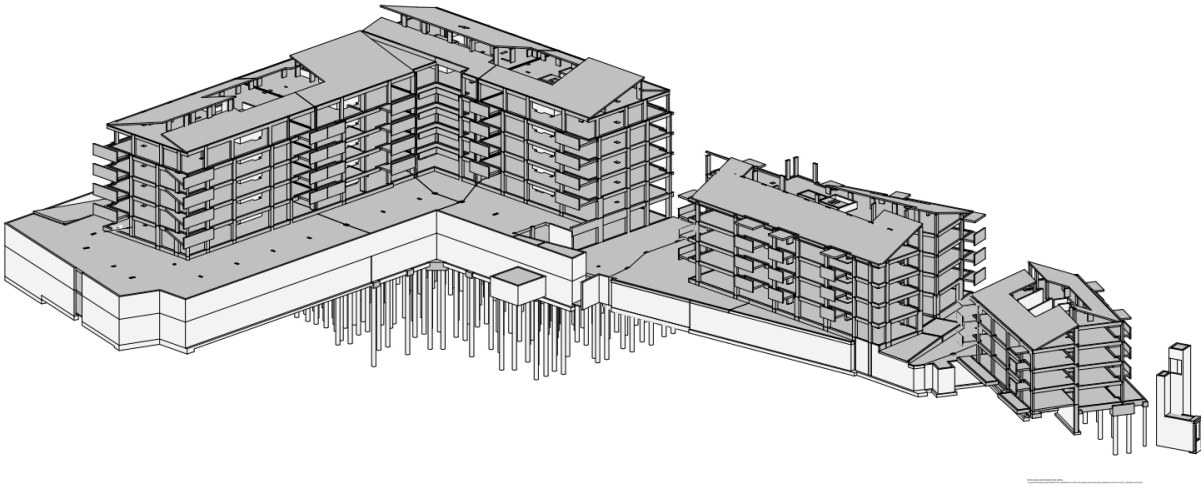


Figura 13 - Modelos estruturais dos Blocos B, D e E e do elevador exterior

A cave -2 envolve todos os 5 edifícios e a cave -1 é apenas comum aos Blocos A e B.

O acesso automóvel ao aparcamento em cave será feito, essencialmente, pela Rua dos Mártires da Liberdade, através de arruamentos novos a construir.

Será feito um elevador exterior para acesso pedonal a partir da Rua do Dr. Ricardo Jorge

Os diferentes corpos apresentam a seguinte volumetria:

- Corpos A e D: R/chão e 3 andares;

- Corpo B: R/chão e 4 andares (sendo o 4º ligeiramente recuado);

- Corpo C: R/chão e 3 andares (habitação existente a recuperar);

- Corpo E: R/chão e 2 andares e habitação ao nível da cave na área de ampliação, resultante do desnível do terreno nesta área.

A Tabela 4 abaixo resume as características gerais do Conjunto Habitacional ao nível de áreas e constituição.

Tabela 8 – Características gerais da obra exemplo (áreas e constituição)

Áreas de construção	
Áreas bruta acima do solo	14013
Área bruta abaixo de solo	8316
Total	22329
Nº de frações	117
Comércio	1
Lugares de estacionamento	192

Devido ao reduzido tempo disponível para a realização desta dissertação, esta dissertação aplica-se sobretudo ao bloco D, o primeiro edifício a ser construído na empreitada, ver figura 14.

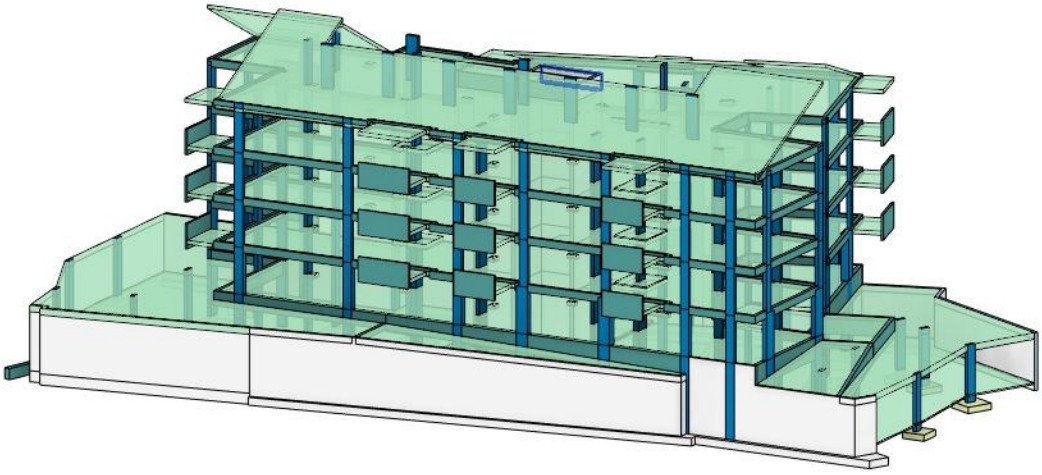


Figura 14 - Modelo estrutural do bloco D

3.2.2. BREVE DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Nos trabalhos preparatórios prevê-se 5 dias para a implantação e piquetagem da obra, seguidos pela limpeza da obra onde é feito o abate de árvores referenciadas incluindo as raízes de modo a evitar futuros assentamentos. Além disso serão feitos os movimentos de terra com três tipos de escavação consoante a situação: Escavação em talude quando a distância às construções vizinhas o permitir, escavação faseada na zona de edifícios vizinhos com caves ou então, construção de muros tipo Munique, com respetivas escoras e ancoragens, em zona de escavação adjacente ao arruamento ou quando a distância às construções vizinhas não permitir a escavação em talude.

Na fase de fundações e estruturas as cofragens são metálicas ou de madeira aplainada de um modo geral executadas em solho, as armaduras são cortadas, dobradas e pré-montadas nas oficinas de obra e montadas no local e o betão, por necessidade da obra, vem pronto fornecido por empresas devidamente credenciadas. A compactação do betão é obtida por vibração com agulha e as superfícies são mantidas húmidas após a betonagem durante um período mínimo de 8 dias. Estas operações iniciam-se com aviso prévio da fiscalização para que sejam verificados previamente à betonagem a implantação de moldes e as armaduras. O pavimento térreo é executado após as redes de águas pluviais e residuais estarem concluídas, bem como, após a execução das caixas de visita e da rede de terras.

Após a estrutura estar pronta, passa-se para as alvenarias com tijolos cerâmicos simples ou térmico/acústico. Os tetos e paredes com forras de gesso cartonado são executados apenas após o "fecho" do edifício porque não é desejável que o gesso esteja exposto a locais húmidos ou com presença

de águas. Nesta fase, executam-se também as coberturas e os isolamentos. As camadas de forma (para a formação das pendentes) dos pavimentos das coberturas em betão leve devem respeitar a espessura mínima e serem regularizadas com betonilha para receber uma camada de impermeabilização com telas.

As instalações de equipamentos de águas/esgoto, instalação elétrica e telecomunicações, têm início após a marcação dos roços nas paredes e pavimentos, e são realizadas por empresas da especialidade contratadas em regime de subempreitada.

As Instalações de gás são executadas por empresas da especialidade contratadas em regime de subempreitada assim como os equipamentos de AVAC, sendo que os últimos são mais sensíveis aos tempos de desenvolvimento do projeto de modo que as tubagens não sejam danificadas pelo trânsito de obra.

Os trabalhos de redes de combates a incêndios e instalações de segurança serão executados por equipas especializadas e experimentadas em trabalhos semelhantes que garantem assim um cumprimento atempado do prazo e dos padrões de qualidade pretendidos.

Os revestimentos e acabamentos ficam para o final (reboco manual ou projetado nas paredes e betonilhas em pavimentos, usando argamassas de cimento e areia ao traço 1:5) para que os pavimentos possam receber os revestimentos finais, cantarias, carpintarias e serralharias provenientes da oficina de carpintaria e serralharia da própria empresa. Equipamentos e peças/acessórios sanitários chegam em fases adiantadas da obra para minimizar a ocorrência de estragos assim como os vidros e espelhos. Por último, fazem-se as pinturas.

Quando termina a construção do edifício, restam os trabalhos de arranjos exteriores que envolvem a modelação de terreno, pavimentação, sinalização, redes de abastecimento e drenagem públicos, entre outros, e que nesta obra têm um peso e importância acrescidos, já que se trata de uma obra que envolve a requalificação urbana profunda da zona que antes se encontrava no estado de “quinta”, há séculos.

4

MODELO BIM 4D DA OBRA EXEMPLO

4.1. INTRODUÇÃO

Tal como atrás definido, o objetivo principal desta dissertação é o desenvolvimento na empresa acolhedora do planeamento de obra de forma visual, usando BIM 4D, de forma a retirar mais informação em menos tempo, ao nível do planeamento e controlo da obra em termos de duração de tarefas e global.

Quase sempre as imagens comunicam de forma mais completa e intuitiva que as palavras. Idealmente, este trabalho foi pensado de forma a poder ser implementado de imediato na empresa, apoiando a equipa de BIM e de planeamento e controlo de obra que correntemente acompanha a produção e que tem atualmente o BIM 4D apenas a ser aplicado numa fase inicial.

Também como atrás referido, a dissertação incide essencialmente sobre o bloco D atrás definido, atualmente em construção, dado que os restantes 4 não vão ter grande evolução física durante o período de estágio e se julga não parecer necessário envolver "toda a obra" para demonstrar o interesse e aplicabilidade do BIM 4D no controlo de prazos de realização das obras.

O propósito deste capítulo é a explicação e apresentação da linha de pensamento que foi utilizada para o desenvolvimento do modelo BIM 4D da obra, assim como a demonstração da sua aplicabilidade real na obra exemplo, que se apresenta no capítulo 5. O modelo 4D surge da aplicação concreta a uma obra de documentos que já são da prática comum na empresa e que foram sujeitos apenas a pequenas adaptações e ajustes.

Em termos simplistas, elaborar um modelo BIM 4D resulta de adicionar a um modelo 3D uma escala temporal. Nesse contexto, na construção do modelo para a obra exemplo, foram utilizados os modelos dos edifícios antes realizados em Revit (arquitetura, estrutura e instalações) e o planeamento interno realizado pelo Diretor de Obra e atualizado em escritório ou obra mensalmente, como se explicou no capítulo 3.

O resultado esperado será um conjunto de imagens claras para duas finalidades diferentes: Demonstração do estado da obra duas semanas seguintes à data do balizamento visual em BIM 4D, com utilidade para a Direção de obra e os diversos subempreiteiros envolvidos, e a preparação de imagens de síntese para a Administração e clientes e que também poderá servir para ser usada na análise interna

feita pelo departamento de planeamento, que atua na Gabriel Couto, numa lógica de suporte à gestão e controlo das obras. Foi utilizado o Navisworks para a construção do modelo 4D, por ser o mais adequado dentro do pacote de programas atualmente já existente na empresa.

Este capítulo é fortemente apoiado por um guia prático colocado em anexo para a demonstração do funcionamento dos programas, já que se entendeu que essa seria a forma de tornar o "produto desenvolvido" mais útil no contexto da empresa acolhedora, ver Anexo II.

4.2. PREPARAÇÃO DOS DOCUMENTOS E MODELO 4D

4.2.1. FERRAMENTAS UTILIZADAS

4.2.1.1. Microsoft Project

É uma ferramenta de planeamento e controlo da Microsoft que permite criar de forma intuitiva planos de trabalhos com uma lista de tarefas ordenada. Facilmente se atribuem relações entre tarefas que se visualizam cronologicamente num gráfico de Gantt, entre outras possibilidades que o software disponibiliza. Esta ferramenta ainda oferece a possibilidade de criar projetos colaborativos para que várias pessoas possam trabalhar em simultâneo no mesmo projeto.

É possível associar às tarefas pessoas, recursos e custos associados. A ferramenta cria ainda relatórios para controlar o progresso do projeto, pelo que acaba por ser valorizada para fazer o controlo de custos. Permite ainda fazer a comparação entre o Plano de Trabalhos previsto e a evolução real dos trabalhos, através de ações designadas nesta dissertação por "controlo do plano de trabalhos".

Na empresa é realizado um balizamento dos trabalhos assegurando sempre a comparação com o plano de trabalhos do mês anterior e os desvios mensais e aos prazos contratuais em vigor que são imediatamente comunicados para que se possam tomar medidas corretivas, [33].

A figura abaixo, 15, representa o logotipo da ferramenta.



Figura 15 - Logotipo Microsoft Project

4.2.1.2. Revit

O Revit é a plataforma da Autodesk que mais se adequa à criação precisa e completa de projetos 3D pormenorizados e baseados em modelos adequados para BIM. Permite a união do modelo estrutural com o arquitetónico e de instalações. O Cruzamento dos 3 permite a antevisão de problemas que provavelmente surgirão em obra.

O Revit tem outros benefícios como a redução de custos associados à fase de projeto, previsões de custos próximos da realidade e ainda dinamização de uma experiência de visualização 3D para o utilizador. A sua implementação resulta num aumento da eficiência de armazenamento da informação, com maior

detalhe e eficácia e de forma mais intuitiva, ou seja, permite chegar à informação mais rapidamente, [9], [34].

A figura abaixo, 16, representa o logotipo da ferramenta.



Figura 16 - Logotipo Revit

4.2.1.3. Navisworks

O Navisworks tem ferramentas importantes na busca pela eficiência e otimização dos edifícios como a ferramenta de "clash detection" (detetor de colisões) que permite identificar quando diferentes componentes do modelo se sobrepõem ou ocupam espaço de forma sobreposta entre si e logo representando algo impossível de materializar. Este software também é útil para uma visualização do progresso do tempo de obra através da ferramenta timeliner. Esta ferramenta permite a associação de elementos do modelo do REVIT a tarefas do MS Project, ou seja, consegue ter-se uma imagem visual do progresso da obra, à medida que esta vai sendo realizada.

Por esse motivo, o Navisworks será a ferramenta mais útil para a realização do BIM4D (acrescenta ao modelo geométrico de três dimensões a dimensão temporal). Isto acaba por tornar visual a evolução do processo construtivo e, dependendo do nível de detalhe, informar sobre se há algum conflito nas tarefas planeadas (ex: instalar uma conduta de água por baixo de um andaime enquanto este está montado, o que não é obviamente possível), [18].

A figura abaixo, 17, representa o logotipo da ferramenta.



Figura 17 - Logotipo Navisworks

4.2.2 Lógica inerente à criação do modelo automático

A criação do modelo 4D passa por tornar compatível o Modelo 3D com o planeamento da obra como demonstra a figura 18 abaixo.

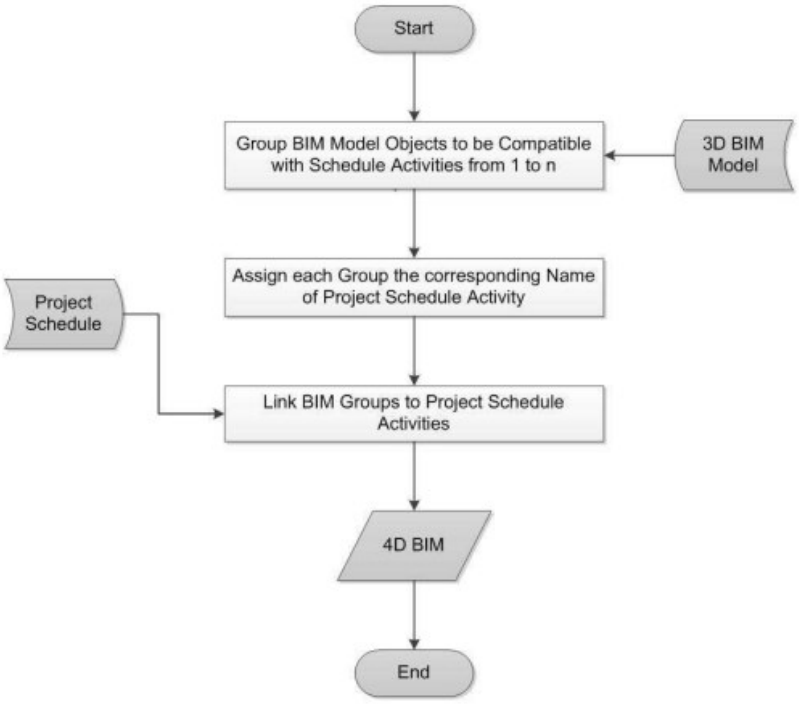


Figura 18 - Processo de criação de um modelo 4D[20]

4.2.3 PREPARAÇÃO DO MODELO 4D – TAREFAS A REALIZAR - DESENVOLVIMENTO

4.2.3.1. Preparação do planeamento

O planeamento é normalmente feito no software Microsoft Project. Este contém as principais tarefas de obra e uma comparação com as datas contratuais em vigor. O Microsoft Project é usado neste sistema para exibir num gráfico de barras toda a lógica de agendamento da obra, incluindo a definição das relações temporais entre as várias atividades de construção do início ao fim do projeto de construção, [21].

Todos os meses são feitos balizamentos de forma a controlar prazos e justificar desvios. A grande vantagem do uso do Project é que se a tarefas estiverem preenchidas com sucessoras e predecessoras, havendo alteração a uma das tarefas, as outras serão automaticamente atualizadas.

Um balizamento é simplesmente uma ação de controlo do planeamento previsto usando as datas reais de realização das tarefas para confrontar o plano com a realidade e fazer as adaptações necessárias num futuro plano, quando o plano em vigor fica obsoleto.

Cada balizamento permite-nos ver quais são os desvios das diversas tarefas e desvios às datas contratuais em vigor, assim como compreender e analisar os atrasos da obra, tornar claro o novo caminho crítico (isso se as alterações forem profundas e comprometerem o prazo da obra).

Sempre que é feito um balizamento, deve ser criada uma baseline no Project que permite uma comparação direta e visual das alterações que foram feitas.

Para a construção do modelo serão por vezes também necessárias mais tarefas, sendo que, esta adição de tarefas deve ser sensata: suficiente para que se vejam as diferentes fases de obra, mas não exaustiva ao ponto de “entupir” o planeamento com tarefas não relevantes que vão dificultar a visualização deste

documento aos elementos da empresa que têm de o consultar, sempre que o Plano de trabalhos fica muito grande e com "tarefas a mais". Este equilíbrio é por vezes difícil de encontrar.

De forma a tornar este planeamento compatível com o modelo 3D, é necessária a criação de colunas que transmitam informação diretamente ao software Navisworks, ou seja, é necessário que haja comunicação entre o modelo, o planeamento e o Navisworks. As duas colunas mais relevantes são: a coluna que permite a associação expedita das tarefas aos elementos: "*NavisworksID*" e uma coluna que informa sobre que tipo de tarefa vem por *default* no Navisworks: "*Task Type*".

A coluna "*Task Type*" deve ser preenchida consoante a tarefa está associada a um elemento de construção "novo", temporário ou relativo a uma demolição. É possível adicionar outros tipos criados pelo modelador, essa hipótese é explicada mais à frente neste texto.

A coluna "*NavisworksID*" é preenchida com um código, diferente para cada tarefa, que vai ser posteriormente associado a um parâmetro do Revit com o mesmo nome.

4.2.3.2 Preparação do modelo 3D

Foi tomada uma decisão de utilizar modelos estáticos. Esta decisão provém do facto dos modelos já estarem finalizados e sofrerem apenas pequenas atualizações que não se enquadram no âmbito do trabalho desta dissertação. Não é desenvolvido o nível de detalhe do modelo por causa do tempo limitado para o desenvolvimento desta dissertação. O Navisworks tem capacidade de atualizar automaticamente todas as alterações feitas no modelo Revit.

Na verdade, ao longo do período de realização da dissertação, são feitas alterações a nível dos parâmetros dos elementos do modelo que são reconhecidas pelo Navisworks, tendo essa situação sido resolvida de imediato de modo que os modelos 3D e 4D fossem totalmente compatíveis.

O único passo necessário para a preparação do modelo 3D, com vista ao seu uso no Navisworks, é a criação do parâmetro comum a todos os elementos, a "*NavisworksID*", e a atribuição do mesmo à totalidade de elementos construtivos do modelo consoante a tarefa a que estão associados.

É fundamental que o código atribuído no MS Project seja exatamente igual ao colocado no novo parâmetro criado no Revit.

4.2.3.3. Preparação do Modelo 4D e as suas características

A nível de trabalhos no Navisworks, basta abrir os dois tipos de documentos preparados e criar uma regra de associação para que a coluna "*NavisworksID*" seja associada aos elementos com o parâmetro com o mesmo nome. O programa permite alterações, qualquer que seja a fonte. É aconselhado fazer as alterações na fonte original e não no ambiente Navisworks, para que o Navisworks seja apenas usado como uma ferramenta de visualização/monitorização visual.

É possível adicionar mais do que um modelo 3D e mais do que um planeamento. A junção de modelos 3D torna evidentes os erros de modelação ou mesmo de projeto que possam ter acontecido, visualmente ou com a ferramenta *clash detection*. A maior vantagem em colocar o modelo 3D no Navisworks, é o uso da ferramenta *clash detection* que vai rapidamente detetar se há incompatibilidades geométricas (dois elementos a ocupar o mesmo espaço físico). Este não só deteta erros na junção de dois modelos diferentes como também incompatibilidades de um modelo único, ver figura 19.

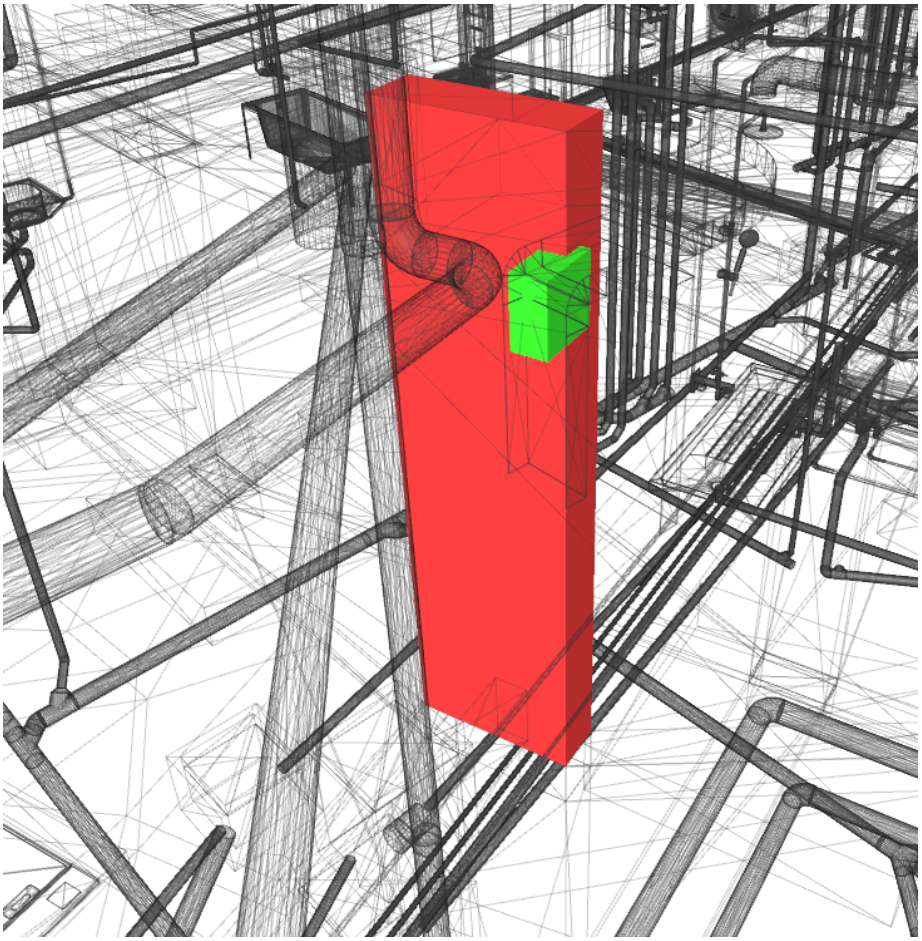


Figura 19 - Exemplo de uma Hard Clash: Pilar a colidir com um quadro elétrico

Existe no anexo da dissertação um guia prático com os passos a seguir para a construção do modelo (anexo II.1.) e que para permitir uma melhor e mais homogénea arrumação de conteúdos nesta dissertação, se apresenta no capítulo 5 seguinte. O Navisworks contém uma ferramenta chamada *Timeliner* que permite visualizar as imagens do processo construtivo. É possível a visualização em vídeo ou das várias imagens dos dias.

Uma das grandes utilidades do vídeo que resulta do uso do *Timeliner* é a perceção de pequenos erros de associações entre tarefas no plano em MS Project que poderiam vir a ter um grande impacto temporal, quando fossem descobertos. A perceção destes erros depende também da dimensão dos elementos a que as tarefas estão associadas. Se o elemento for muito pequeno, é possível que não seja tão evidente (erro em datas de rodapés, por exemplo). Estes erros são normais devido à extensão do programa.

A título de exemplo apresenta-se em seguida uma situação detetada na obra acompanhada. Como pode ser visto na figura 20, que se segue, é fácil de entender que há um erro no Project à custa das paredes "voadoras". Isto deve-se ao facto da laje do terceiro piso ter uma data posterior à das paredes interiores, que no modelo contratual não estão divididas por pisos.

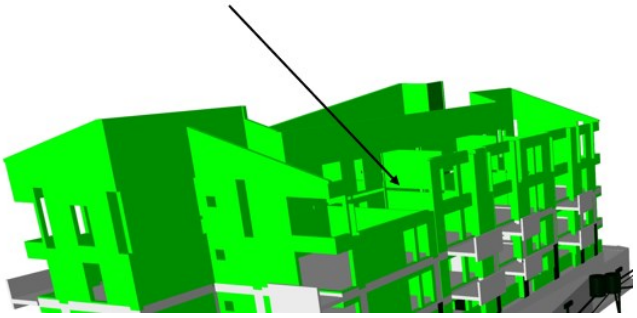


Figura 20 - Exemplo de um erro do Project: Paredes a serem construídas antes da laje

As opções de visualização são apresentadas com mais detalhe no anexo II.4.

As imagens e visualização do vídeo também permitem ver se o planeamento é ou não realista, confrontando a realidade da obra com a previsão futura.

No fundo, a utilização de Navisworks vai ter grande impacto devido a:

-Ferramenta *clash detection* que permite a compatibilização dos modelos sem erros;

-Ferramenta *Timeliner* para deteção rápida de erros do planeamento;

-Ferramenta *Timeliner* para uma perceção de se o plano de trabalhos é ou não realista, ou se será ou não necessário fazer adaptações.

4.3. IMAGENS RESULTANTES DO BIM 4D PARA EFEITOS DE DIREÇÃO DE OBRA

4.3.1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios deste tipo de trabalho é retirar as imagens. O ângulo, as cores, as transparências, a perspetiva, os cortes… Estas imagens no software são evidentes até por facilmente poder mudar-se a perspetiva e esconder-se elementos para uma visualização interior. No entanto, a partir do momento em que são retiradas, "congelam", de forma a se tornarem imprimíveis, pelo que se corre o risco de não se ver alguns elementos desenhados importantes. Podem assim estar escondidos elementos relevantes sobrepostos por outros elementos.

A alteração do espaço causa alguma confusão visual. O aspeto interior é extremamente variável sobretudo quando, por exemplo, é acrescentada uma parede, que constitui uma barreira visual. Os vídeos e o modelo se este for movível, comunicam ainda mais do que as imagens. Com o evoluir dos tempos, a tendência é um suporte superior da tecnologia nas diversas áreas. A construção civil, embora seja uma indústria atípica, não é exceção.

Este trabalho será mais útil assim num futuro próximo, quando a informação dos modelos for transmitida e difundida de forma generalizada pelos diversos intervenientes na obra, com a ajuda de tablets e realidade aumentada. Essa área está a ser explorada por algumas empresas, que desenvolvem softwares específicos para este tipo de visualização, como por exemplo a Procore, [35]. Essas ferramentas associadas a um modelo 4D representarão em breve a forma mais eficaz de comunicar e visualizar o trabalho em curso. Também é possível criar uma aplicação em Unity,[36].

Optou-se pela extração das imagens aumentando apenas a qualidade da imagem como descrito no Anexo II.8. Os *Renders* do Navisworks são para outras finalidades (como a de Realidade Virtual) e não

permitem, por exemplo, retirar imagens de cortes. Para além de que ficam ficheiros pesados e demoram muito tempo a *renderizar*. Julga-se que as imagens retiradas são claras e têm qualidade suficiente para servir o propósito, ver capítulo 5 e anexo II.

4.3.2. IMAGENS DE ESTRUTURAS

Para melhor visualização de estruturas podem ser criados *viewpoints* para que todas as imagens tenham a mesma perspetiva. Embora o foco das imagens seja a estrutura, não serão retiradas outras especialidades, quando estas forem relevantes. O Navisworks permite esconder parte dos elementos do modelo, mas não faz sentido fazê-lo, já que os diversos elementos representados existem e estão a ser construídos ao mesmo tempo.

As imagens específicas de estruturas são insuficientes para a demonstração das instalações, por exemplo, salientando a necessidade de integração no planeamento da obra de todas as especialidades em simultâneo. A figura 21 apresenta uma perspetiva 3D de uma estrutura de um edifício (Bloco D da obra como exemplo).

.

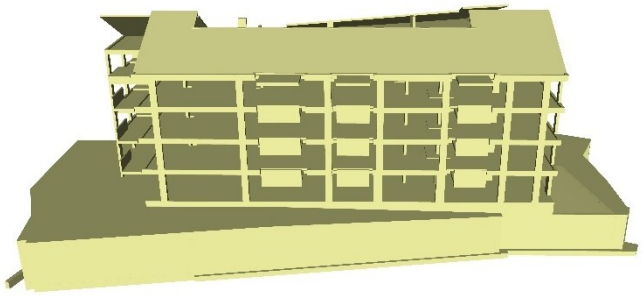


Figura 21 - Modelo de estruturas Bloco D

Para uma perspetiva de obra, todas as tarefas que já terminaram não são relevantes. O que é relevante saber é quais são as próximas tarefas e as datas previstas para a realização das mesmas. Podem ser geradas imagens de onde se retira rapidamente a informação do que está construído e do que está em processo de construção num determinado dia, ver figura 22, (sendo que se pode fazê-lo para qualquer momento da obra, com a ferramenta *Timeliner*). Foi ainda explorada a opção de visualizar um outro conjunto de elementos usando outra cor. Essa possibilidade é detalhada no capítulo seguinte (apoiando-se também no anexo II.4.b), optando-se por realçar as tarefas construtivas da semana em questão.

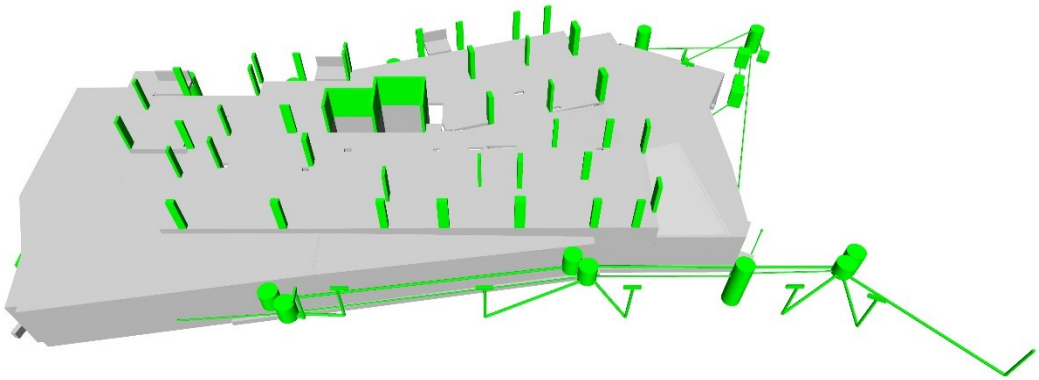


Figura 22 - Sinalização dos elementos em construção num determinado dia

4.3.3. IMAGENS DE INSTALAÇÕES

Os modelos de instalações são extremamente difíceis de compreender sem a ajuda de um enquadramento físico de maior volume, como por exemplo da estrutura. A junção destes dois modelos é comum para detetar incompatibilidades entre os modelos e para permitir a melhor visualização das diversas infraestruturas (é comum juntar estrutura + todas redes).

Na perspetiva BIM 4D, é também difícil tentar comunicar quais são os trabalhos a fazer, usando um baixo número de imagens, ver figura 23.

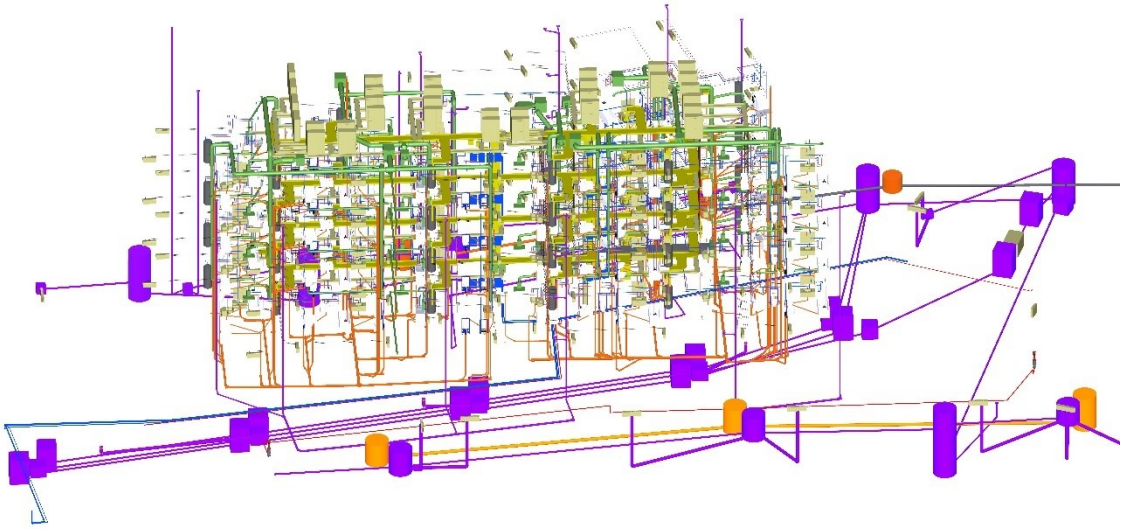


Figura 23 - Modelo de instalações do Bloco D isolado

O Navisworks não exporta os filtros aplicados em Revit para uma visualização colorida das instalações, assumindo a cor real dos objetos e dos materiais, conforme a sua modelação no Revit.

Para que o modelo em Navisworks tenha uma visibilidade facilitada com o código de cores, o modelador pode:

- Criar sets no Navisworks com as diferentes cores pretendidas (ver anexo II.4.a.2).

- Alterar o material das instalações no Modelo de Revit de forma à sua aparência ter a cor "de código" correspondente (ver anexo II.5).

A segunda alternativa é a mais interessante por poder ser feita em fase de modelação. Infelizmente, não pode ser aplicada para todos os elementos porque há elementos no Revit como as esteiras, que não permitem a alteração do material, ver referência [37]. Para esses elementos foram criados sets no Navisworks com auxílio do parâmetro criado: "Navisworks ID".

A figura 24 apresenta um modelo de instalações em BIM 3D, com e sem cores. As cores são fundamentais para entender as instalações, mas dificultam a codificação em BIM 4D de executado/por executar.

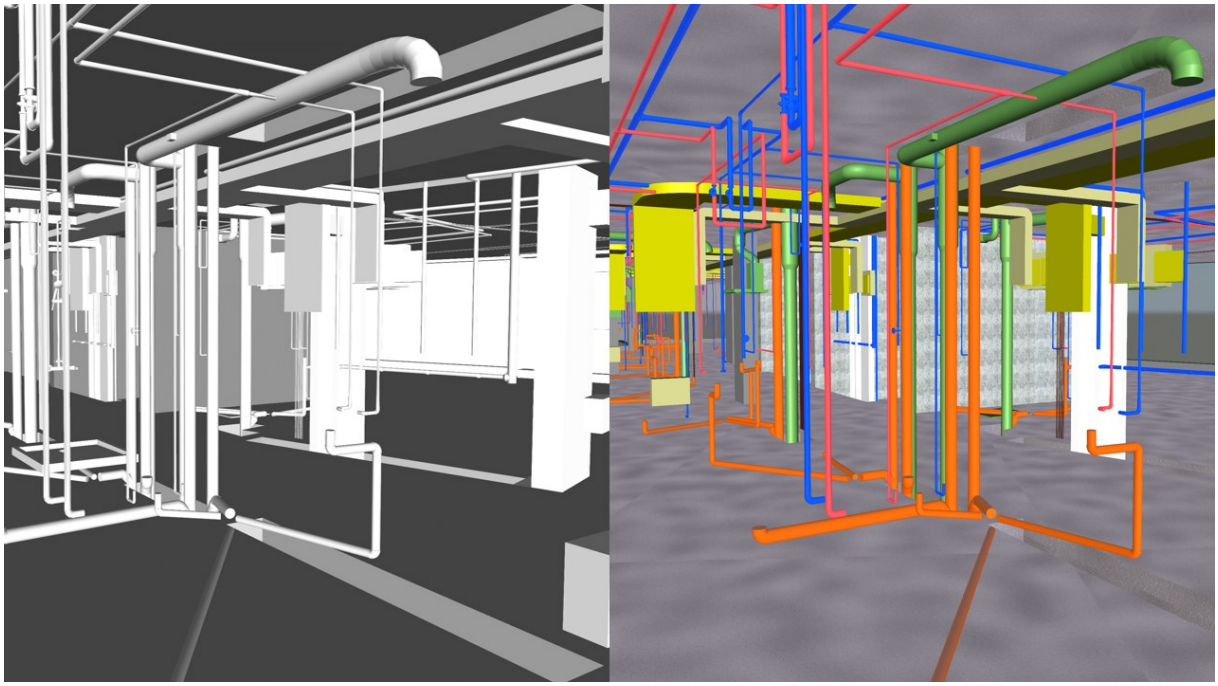


Figura 24 - Diferença de visualização das instalações com e sem cores

Para a visualização de Instalações, convém que o edifício seja visível, mas que não prejudique a vista das instalações, que são, em comparação com outros elementos construtivos, muito pequenas e com grande nível de detalhe. Se for uma imagem das instalações subterrâneas, uma opção pode ser a colocação da aparência do modelo de estruturas a cinzento-claro com um elevado grau de transparência, dando relevo às instalações, ver figura 25. Infelizmente o modo de visualização "*transparent dimming*" disponível para as *clash detections,* (ver figura 19), não está disponível para a visualização de instalações.

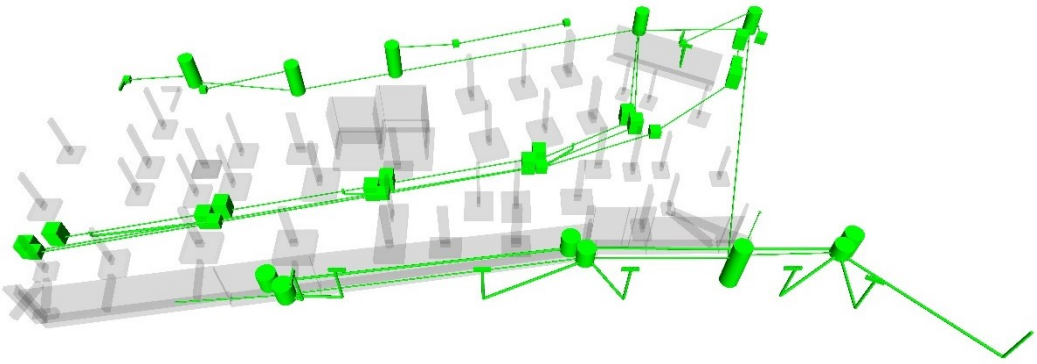


Figura 25 - Visualização das infraestruturas subterrâneas

Para as instalações por pisos, a utilização de um corte horizontal e a ocultação da arquitetura parece ser a melhor forma de comunicar. Além disso, é feita uma divisão por especialidades (ou subempreitadas) para que haja uma melhor perceção do trabalho a realizar. Opta-se por associar uma imagem representativa da tarefa a realizar à data de conclusão correspondente:

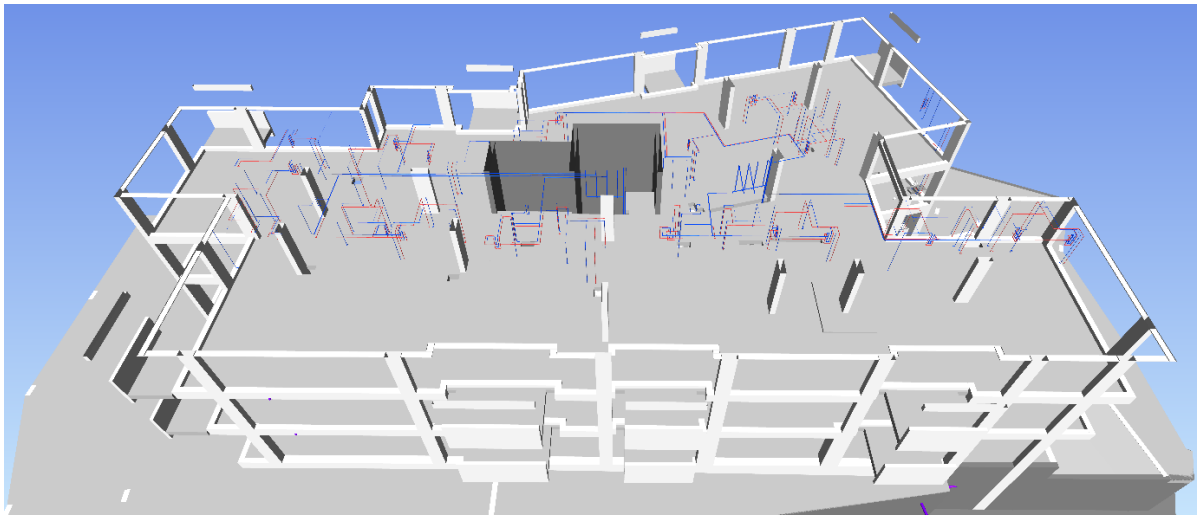


Figura 26 - Rede de abastecimento de água

Como se torna evidente pela figura 26, é difícil a perceção de detalhes nesta imagem. Ou seja, é possível comunicar uma ideia geral: "até ao dia 08/02/2023, o sistema de abastecimento representado na imagem tem de estar concluído", mas a ideia detalhada do local, medidas e detalhes só seriam acessíveis através da ajuda de um software de visualização com apoio na realidade aumentada. Por outro lado, nesta opção, não se define o início e fim previsto das tarefas, o que também constitui uma limitação importante.

4.3.4. IMAGENS DE ARQUITETURA

As imagens geradas de arquitetura vão ser as mais complicadas e também serão as que têm menos impacto no âmbito da dissertação. O aparecimento de uma parede cria uma barreira visual e não permite imagens tão abrangentes. O modelo de arquitetura é relevante para a exploração num âmbito de

investigação para que se possa evoluir para novas utilidades dos modelos 4D como a aferição do espaço crítico de uma tarefa.

Os modelos de arquitetura, ver figura 27, apresentam uma importante dificuldade aos criadores dos modelos 4D: como representar um elemento que devia ser um conjunto de elementos como, por exemplo, uma parede (imaginando que a parede em questão é composta por várias camadas: ETICS, alvenaria, pladur e pintura interior).



Figura 27 - Modelo de arquitetura do Bloco D

A todas estas camadas estão associadas várias fases de obra diferentes e que são relevantes para a ordem construtiva. O problema é que o Revit vai assumir que as paredes são um elemento único pelo que, se fossem colocadas as paredes num modelo 3D como um único elemento, no BIM 4D, quando fossem dadas como executadas (primeira fase apenas) elas apareceriam de uma vez e já com os acabamentos (ou seja tudo concluído!).

É necessário assim separar as paredes por camadas para que possam aparecer faseadas e o BIM 4D possa fazer refletir as diversas sub-tarefas executadas na parede até à sua completa conclusão (ver anexo II.2). Mais uma vez, para efeitos visuais, o material estar bem definido é relevante para compreender de forma imediata a fase de obra. Esta definição é importante para as grandes superfícies, interiores e exteriores como paredes, tetos, pavimentos, coberturas etc… A título de exemplo, os pavimentos devem ter as diferentes camadas bem definidas para que possamos facilmente distinguir se estamos numa fase de enchimento ou de colocação de pavimento flutuante.

O modelo de arquitetura é o modelo no qual mais se reflete a necessidade que o Navisworks tivesse mais opções de visualização. Os elementos aparecerem como nos outros modelos, a verde, mas seria mais interessante que mantivessem a sua aparência final porque esta é indicadora da tarefa.

As opções de aparência possíveis são:

-Atribuição da aparência real;

-Atribuição de uma cor (com um certo nível de transparência se necessário).

É possível animar um objeto durante a sua construção, mas isso, mais uma vez apenas será visível num vídeo.

As diferentes opções de aparência poderiam ser aplicadas aos elementos concluídos ou em construção, para permitir uma mais fácil identificação da situação na data em questão. Se as duas estiverem associadas à mesma aparência não as podemos distinguir. Por esse motivo, optou-se, como nos outros modelos, por usar cores para ajudar a melhor interpretar a situação. No nosso caso, optou-se por colocar os elementos em construção com aparência a verde.

Nos outros modelos (estruturas, redes hidráulicas) é mais fácil distinguir os elementos apenas pela sua forma. No caso da arquitetura, as partes das paredes, por exemplo, terão a mesma forma e só será possível distinguir as diferenças após acabar a tarefa por completo (criando a necessidade de um vídeo), ou se for percetível pelo desfasamento temporal entre pisos.

Os modelos de arquitetura também sofrem no geral o mesmo problema que os de instalações: criar um modelo de arquitetura extremamente detalhado pode não compensar o tempo perdido na modelação. O Revit tem a capacidade de modelar os mais pequenos pormenores, no entanto esse trabalho é quase infinito e um menor nível de detalhe é muitas vezes suficiente. Há ainda algumas tarefas que estão parcialmente modeladas e que estão apenas associadas aos elementos que foram modelados, como por exemplo as carpintarias. Assim como no modelo de instalações, haverá tarefas que não vão estar representadas no modelo 4D. Retomando o exemplo anterior, a camada de pintura é completamente irrelevante a nível de construção do modelo 3D, já que não ocupa espaço físico.

O modelo de arquitetura também é o que mais exige criação de novas tarefas. O problema das tarefas novas é que tornam o plano em Project muito extenso e de difícil compreensão e utilização. Algumas delas são verdadeiramente insignificantes: a criação de uma tarefa que englobe os elementos do modelo como as caixas de ar, por exemplo, nada acrescenta ao Project. Isto implica que haverá também elementos que não estão associados a tarefa nenhuma.

Como as imagens de arquitetura acabam por envolver elementos do interior e exterior, os cortes e as perspetivas voltam a ter utilidade, ver figura 28. É também interessante ver-se o piso e diferentes tipos de divisória como em salas e em cozinhas, usando plantas com códigos de cores apropriados para evidenciar o executado/por executar.

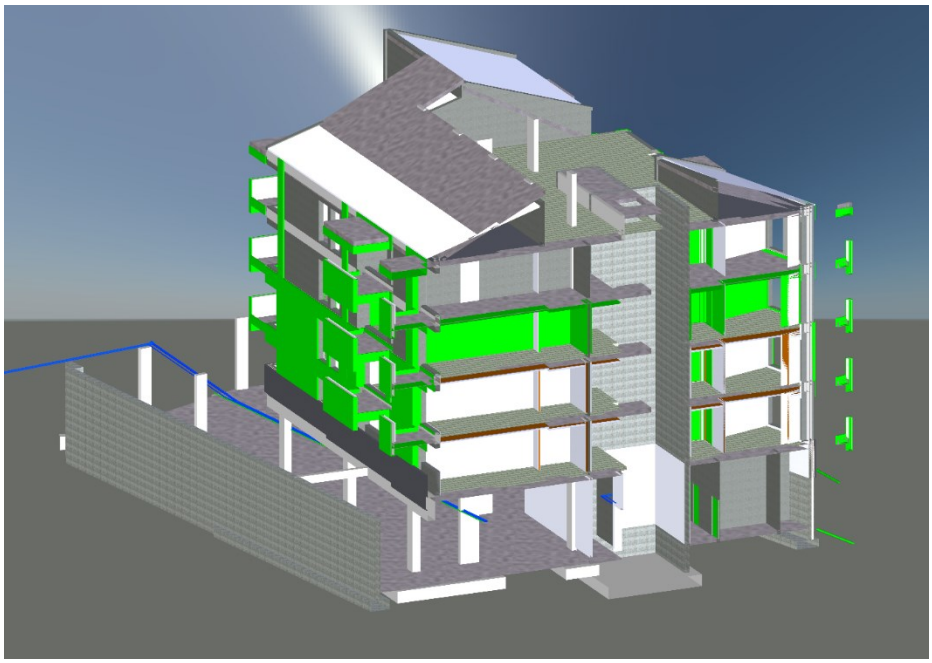


Figura 28 - Exemplo de uma imagem de arquitetura

4.3.5- QUADRO RESUMO

A Tabela 5 seguinte pretende resumir os diferentes modos de visualização que foram escolhidos para retirar imagens e pretende sintetizar os principais comentários e conclusões apresentados nesta seção 4.3.

Tabela 9 - Quadro resumo

	Modelo de estrutura	Modelo de instalações	Modelo de arquitetura
Necessidade de cor no modelo	Não	Sim, código de cores	Sim, aparência real
Melhor forma de transmitir informação	Evidenciar os elementos em construção durante um determinado período de tempo	Para cada subempreitada, uma imagem geral do trabalho a fazer por pisos, associada a uma data limite	Corte que evidencie os diferentes tipo de divisórias
Cortes?	Não	Sim, horizontais	Sim, verticais
Necessidade de vídeo ou realidade aumentada	Seria uma melhoria, não é absolutamente necessário	Sim, elementos do modelo são demasiado pequenos comparativamente aos elementos construtivos de estruturais ou arquitetónicos, as imagens serão pouco detalhadas	Sim, o modelo menos percetível de todos devido às barreiras visuais criadas pelos novos elementos construtivos
Aparência do modelo	Elementos concluídos: Cinzento sem transparência Elementos em construção: verde, sem transparência	Elementos concluídos: Aparência das cores do modelo (código de cores) Elementos em construção: verde, sem transparência, não aplicável	Elementos concluídos: Aparência das cores reais do modelo Elementos em construção: verde, sem transparência

4.4 UTILIDADE PARA ADMINISTRAÇÃO E CLIENTES

As imagens podem também ser utilizadas para reuniões de acompanhamento interno e com clientes. Estas vão permitir uma perceção imediata do estado de situação da obra em comparação com as datas contratuais. As imagens têm maior utilidade para datas já passadas e pretendem tornar evidente as diferenças das datas contratuais com as reais.

O Navisworks permite fazer uma comparação das datas planeadas com as datas reais. O Project guarda até 10 *baselines*, sendo possível manter uma das iniciais para comparação do que eram os prazos iniciais

comparados com a realidade atual dos prazos da Obra, ou ainda os prazos definidos da última atualização das datas contratuais. Existem, no entanto, dois problemas de naturezas diferentes que tornam esse modelo inutilizável:

- Os atrasos de obra são demasiado significativos, foram necessárias muitas alterações ao plano inicial, incluindo a ordem de construção dos edifícios. Iria resultar num modelo que têm os elementos todos atrasados ou adiantados, sendo assim pouco relevante para o caso de estudo em questão.

-O Navisworks não distingue os diferentes tipos de atraso e não têm a aparência desejada, tornando o modelo muito confuso:

Existem várias formas de alterar a aparência das tarefas, ver figura 29.

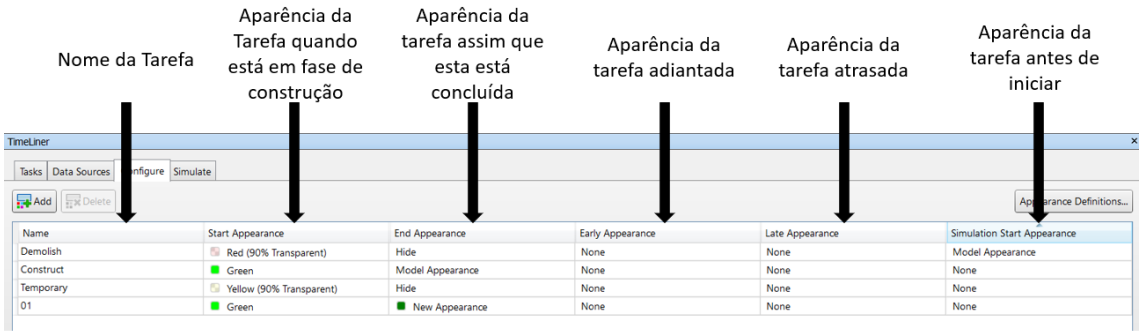


Figura 29 - Menu configure da *Timeliner* do Navisworks explicado, onde se altera as aparências

Existem várias formas de visualização do estado de realização das diferentes tarefas aquando da simulação, ver figura 30 e referência [38]:

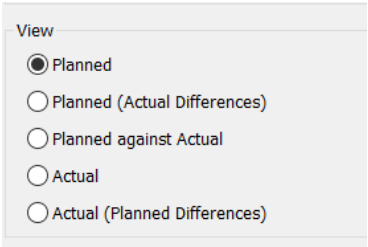
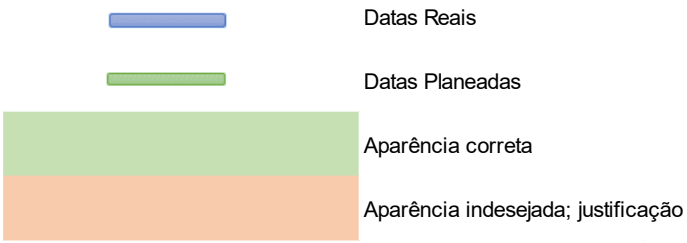


Figura 30 - Formas de visualização do estado das tarefas do Navisworks

Para analisar o problema foi feita uma tabela prevendo os diferentes tipos de relação entre as datas reais e previstas, sendo que apenas foram testados os modos de visualização que comparam as datas previstas com as reais.

Tabela 10- Descrição da aparência do modelo nas diferentes situações possíveis

Ttipo de tarefa	Planned against Actual	Actual (Planned Differences)	Planned (Actual Differences)
 Começa mais cedo	Cor atribuida a adiantamento	Cor atribuida a adiantamento	Sem aparencia; Devia aparecer adiantamento
 Começa mais tarde	Cor atribuida a atraso	Sem aparencia; Devia aparecer atraso	Cor atribuida a atraso
 Acaba mais cedo	Cor atribuida a adiantamento;Devia ter aparência final	Aparência Final	Cor atribuida a adiantamento;Devia ter aparência final
 Acaba mais tarde	Cor atribuida a atraso	Cor atribuida a atraso	Sem aparência; Devia aparecer atraso



Como se pode ver na tabela 6, todas as formas de visualização têm algum tipo de problema se o fim de utilização das imagens for este, não fazem sentido. Para além disso, o Navisworks não distingue os diferentes tipos de atraso: se uma tarefa não arrancar por algum motivo, terá a mesma aparência que uma tarefa que está a decorrer a data prevista de conclusão sendo impossível de as distinguir. Só com a imagem do modelo é impossível compreender se a tarefa está ou não em construção. Além disso, quanto mais cores tiverem as imagens mais complexas se tornam.

Por estes motivos, a solução encontrada é a comparação de Imagens. Utilizando as datas de uma *baseline* antiga da altura do último contrato compara-se as fotografias de Obra, com o modelo que vai sendo atualizado, com o modelo com datas contratuais. É importante manter-se a aparência e *Viewpoints* para que as diferenças sejam evidentes e claras.

Facilmente se utilizam os mesmos ficheiros para que não seja necessária a criação de um novo modelo: edita-se na *Timeliner* do Navisworks a fonte do Project para que as datas planeadas sejam as datas contratuais. Não é habitual acrescentar-se informação às antigas *baselines* pelo que poderá ser necessária a criação de colunas do tipo "date" com as mesmas datas da *baseline* antiga, acrescentando apenas informação às novas tarefas que foram adicionadas. De seguida, basta alterar as definições da simulação para se ver as planeadas ou as reais, está presente no capítulo seguinte um exemplo.

5
APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

Começa-se neste capítulo por fazer um resumo do Guia Prático presente no anexo II da dissertação e que foi colocado em Anexo por ter uma dimensão considerável. Este, contém indicações práticas da utilização dos três programas para a criação de Modelos 4D e foi preparado sobretudo para que a empresa acolhedora possa dar continuação ao trabalho feito ao longo da dissertação e porventura aplicar o processo em outras obras, no futuro.

Em seguida, este capítulo apresenta exemplos de imagens dos documentos que foram utilizados pela empresa na obra acompanhada, resultantes dos conteúdos desenvolvidos pela autora. Isto significa que apenas se apresentam as imagens das fases de obra que foram acompanhadas durante o período da dissertação, conforme antes definido no capítulo 3.

Por muita investigação e especulação que possa ser feita em relação ao futuro da obra, só após a confrontação com os problemas reais é possível saber como resolver os mesmos. As imagens presentes são mais fiáveis quando estão mais próximas das datas do balizamento anterior, e quando é feita a revisão do que foi ou não feito e se adapta o planeamento a um mais próximo da realidade.

As imagens retiradas de datas contratuais, são totalmente independentes do balizamento por se apoiarem em datas estabelecidas em contrato e em datas já passadas.

5.2 GUIA PRÁTICO EXPLICATIVO DA CONSTRUÇÃO DE UM MODELO BIM 4D

5.2.1 INTRODUÇÃO

O anexo II é sendo mencionado várias vezes ao longo do capítulo quatro, de modo a tornar mais fácil ilustrar o trabalho desenvolvido na construção do modelo 4D. Entendeu-se, no entanto, ser útil incluir aqui um resumo do referido anexo.

O anexo contém um guia prático de como as diversas tarefas específicas de construção do modelo podem ser realizadas para a produção de um modelo 4D semelhante, no futuro. Serve também este subcapítulo para apresentação e descrição da lógica utilizada na modelação.

5.2.2. LÓGICA UTILIZADA NA MODELAÇÃO

O guia prático começa pela instrução geral sobre a criação do modelo 4D, o motivo da parametrização do modelo 3D e a criação da coluna correspondente no Project. Este representa uma associação direta e

automática das tarefas aos elementos construtivos, utilizando a criação de Regras de associação definidas no Navisworks.

Haveria muitas possibilidades de fazer esta associação, como por exemplo os sets de pesquisa do Navisworks. No entanto, é mais fácil fazê-lo no Revit por oferecer possibilidade de fazer *schedules*: tabelas que agrupam elementos do modelo de forma instantânea e com o parâmetro desejado. Há a certeza de todos os elementos requeridos estarem associados a tarefas e nenhum ficar esquecido. Oferece também a possibilidade de *Plug-ins* como o *DiRoots* que isolam em vista elementos de acordo com parâmetros.

É ainda resolvido um problema comum da arquitetura. Mais uma vez, o Revit e as suas ferramentas de modelação e seleção tornam o problema mais simples. As paredes, que são consideradas com um único elemento com várias camadas têm fases de construção diferentes. Embora fosse possível sinalizar a parede várias vezes ao longo do vídeo no Navisworks, esta não iria apresentar as camadas com a aparência desejada. Este problema é resolvido separando o elemento único em vários elementos que passam de ser "parede" para "parte de parede". Os ficheiros de arquitetura têm de ser gravados em formato NWC para que essas partes sejam reconhecidas no Navisworks

O *plug-in* e as tabelas também são úteis para atribuição de novos materiais com as aparências pretendidas e por esse motivo, foram também esses adaptados no Revit, como mostra o anexo II.5, exemplificando a alteração do material das instalações, que é o mais complexo. É possível fazer-se a adaptação dos materiais de outro tipo de elementos como paredes ou coberturas. Os passos a seguir apresentam algumas diferenças, mas são muito semelhantes. A alteração da cor real dos materiais no Revit é informação que é transmitida para o Navisworks.

Infelizmente alguns elementos não permitem alterações aos materiais. A esses foi-lhes alterada a aparência diretamente no Navisworks, como apresentado na primeira parte do anexo II.4, mesmo que esse apresente outro exemplo: uma solução possível para infraestruturas subterrâneas. Inclui ainda instruções para a criação rápida de sets.

É ainda possível destacar algumas tarefas utilizando uma semana de trabalho como exemplo, no entanto, poderia aplicar-se a qualquer outra lógica de destaque como por exemplo o caminho crítico. É apenas crucial manter presente que muitas vezes o modelo pode ficar demasiado complexo.

O modelador olha constantemente para o modelo e está habituado à aparência do mesmo. Por esse motivo, necessita muitas vezes de receber críticas de utilizadores externos para saber se o seu objetivo, de criar imagens intuitivas e que transmitem informação de forma imediata, está ou não a ser cumprido.

Existe ainda a informação necessária para criação de cortes no Navisworks (II.6), criação de imagens comparativas para fins administrativos (II.7) e a exportação de imagens, ver II.8. Existem várias possibilidades e as opções, nomeadamente de *rendering,* constituem uma boa ferramenta para explorar, contendo muitas opções.

A ferramenta tem também outras finalidades mais viradas para a realidade virtual. Qualquer imagem renderizada demora pelo menos alguns minutos a aparecer e torna-se pesada e excessivamente detalhada para o efeito. Considera-se que o tipo de imagem mais simples obtida tal como descrito no anexo é suficiente.

Para terminar, existe ainda uma breve explicação para introdução à criação das animações. Explica como é possível obter um vídeo de forma a visualizar vários pontos da obra. Há ainda referência às animações de objetos, no entanto estas não passam para a animação 3D no caso de ser feita uma animação da construção do edifício.

Embora sejam descritos os passos para animar objetos, nomeadamente a abertura de portas, não foi possível incluir a animação no vídeo. Estas animações permitem uma visão mais detalhada das fases de instalações e de arquitetura.

5.2.3 DESCRIÇÃO SINTÉTICA DO ANEXO II

O Anexo II inclui 49 páginas e 9 partes. Devido à sua extensão, o anexo começa por apresentar o seu próprio índice.

O Anexo II.1 detalha o modo de criação do modelo 4D no Navisworks, incluindo também os trabalhos necessários para parametrização a realizar no Project e no Revit. As alíneas C), E) e L) são optativas e apenas apresentam atalhos ou ferramentas úteis para a construção do Modelo.

O Anexo II.2 demonstra os passos necessários para que os elementos compostos por partes apareçam de forma faseada durante a simulação do Navisworks através do exemplo de uma parede composta.

O Anexo II.3 apresenta algumas instruções sobre a utilização do MS Project com vista à sua integração num modelo BIM 4D. Este sub-capítulo é inteiramente dedicado a indicações sobre como aplicar um filtro de datas. O programa é desenvolvido pela Microsoft e logo mais parecido com o Excel e acaba por se tornar mais intuitivo e fácil de usar de forma generalizada do que os outros dois utilizados nesta dissertação.

O Anexo II.4 é dedicado às alterações possíveis da aparência do modelo diretamente no Navisworks. Começa por demonstrar a alteração da aparência de um objeto e termina com a manipulação das aparências na simulação de construção, exemplificando com o exemplo do destaque de objetos construídos ao longo de uma semana.

O Anexo II.5, em alternativa, demonstra como foram alteradas as cores do modelo 3D.

O Anexo II.6 contém instruções sobre como alterar e manipular os cortes de modo a facilitar a visualização, como é feito por exemplo para a arquitetura. Não está detalhado porque esta ferramenta é bastante intuitiva e também porque não foi muito utilizada na dissertação.

O Anexo II.7 incide na criação das imagens administrativas.

O Anexo II.8 soluciona a retirada de imagens com boa qualidade, sem necessidade de renderização.

O Anexo II.9 sintetiza a construção de animações.

5.3. SÍNTESE DO MAIS IMPORTANTE QUE OCORREU NA OBRA DURANTE O ESTÁGIO

5.3.1 INTRODUÇÃO

Este subcapítulo apresenta uma síntese dos acontecimentos mais relevantes que foram ocorrendo ao longo da dissertação, bem como dos aspetos essenciais da direção de obra com relevância para esta dissertação.

O Anexo I contém o registo fotográfico do acompanhamento semanal da obra. Foi essencialmente acompanhada a execução da fase inicial da obra de Betão Armado, tal como atrás referido no capítulo 3.

É feito semanalmente um pequeno balizamento apenas para o bloco D, assim como uma atualização às datas do Project.

5.3.2. VISITAS À OBRA

As visitas à obra por parte do Diretor de obra e das suas chefias são sempre de grande importância. É na obra que se compreende a dimensão e enquadramento da mesma e também onde se sentem as falhas e erros, tanto de projeto como de planeamento.

O projeto da obra foi feito por 7 empresas diferentes dividido em Arquitetura, paisagismo, segurança contra incêndios, isolamento térmico e certificação energética, AVAC, eletricidade e estruturas.

A Gabriel Couto foi contratada para a fase de construção. Quando ocorrem pequenas alterações no projeto de arquitetura surgem muitas vezes incompatibilidades com as outras especialidades, sendo assim urgente que de imediato se resolvam as incompatibilidades com a parte estrutural, para que a obra não pare. Isto resulta num planeamento de obra com alterações constantes e grandes impactos na obra que ocorrem em contínuo, pelo menos durante o período do estágio realizado no âmbito desta dissertação.

Para efeitos da dissertação é interessante porque torna o caso de estudo mais complexo. Para além disso, as condições climatéricas do ano presente não foram muito favoráveis ao decorrer da obra durante o período de estágio, já que a chuva constante não permitiu muitas vezes o avanço dos trabalhos, de forma regular e conforme planeado.

5.4 EXEMPLO DE IMAGENS UTILIZADAS EM OBRA

5.4.1. ESTRUTURAS

No caso das imagens da estrutura foi pedido que fossem evidenciados os elementos que foram construídos no espaço de uma semana em alternativa ao que é oferecido pelo Navisworks que apenas demonstra o que está a ser construído num determinado momento da obra, ver figura 31 (exemplo). Estas imagens têm utilidade pela sua componente visual imediata. Permitem uma melhor comunicação entre o dono de obra e o empreiteiro, assim como uma perceção de se o planeamento realizado previamente é ainda realista.

Alternativamente, podem criar-se imagens que destacam o trabalho feito num determinado período (ver anexo II.4.b). Para esta obra, é preferível que as imagens sejam semanais de forma a acompanharem os mapas LPS que vão sendo atualizados mensalmente, com auxílio do balizamento mensal feito.

Este tipo de visualização pode ser aplicado para outros objetivos como a sinalização do caminho crítico (imagine-se que as tarefas do caminho crítico apareciam a vermelho em vez de verde-claro na fase de construção), no fundo, a alteração do *task type* pode aplicar-se a qualquer conjunto de tarefas pretendido pelo modelador, sendo este mais fácil se corresponder a um filtro do Project, existente ou criado. A cada tarefa só há possibilidade de atribuir um *task type* pelo que a criação destes apenas pode coexistir se não houver tarefas às quais se atribuem vários, ou se não houver uma prioridade estabelecida. Corre-se o risco de tentar transmitir demasiada informação e as imagens deixarem de transmitir informação de fácil e instantânea perceção.

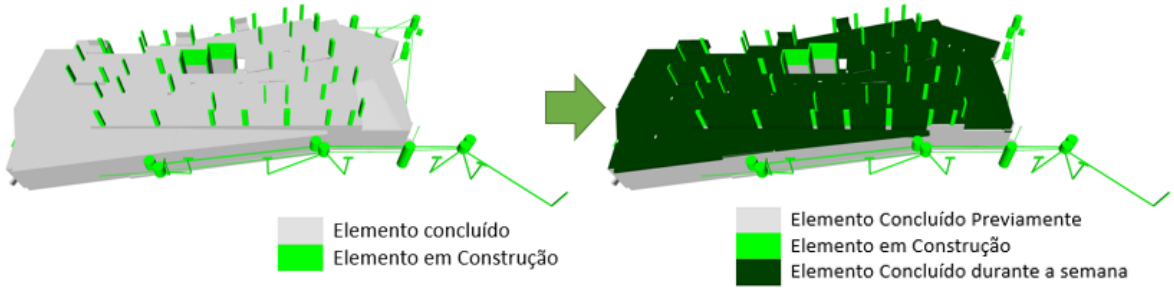


Figura 31 - Exemplo da transformação da imagem para que esta mostre um desenvolvimento semanal

A Figura 32 abaixo demonstra lado a lado, duas imagens referentes ao mesmo momento de obra, à esquerda a imagem apenas distingue elementos concluídos de elementos em construção, à direita, à direita, é mostrado em detalhe que elementos foram realizados e terminados durante a semana em questão, oferecendo a possibilidade de demonstrar também de modo visual, no início de cada semana, qual a evolução pretendida.



Figura 32 - Aplicação e utilidade em obra do planeamento semanal usando BIM 4D (junto com o Last Planner System, em quadros, usado na Gabriel Couto)

5.4.2 Imagens para fins Administrativos e Reunião com Clientes

As imagens produzidas para efeitos de Administração e Clientes foram feitas sempre por comparação das datas contratuais com o que foi feito até ao momento, ver figura 33. É ainda possível prever qual seria um estado da obra num futuro próximo de acordo com o plano. Estas imagens têm alguma utilidade para se compreender quais as implicações que têm os imprevistos que já aconteceram. Para estas reuniões já se pode assumir um maior suporte tecnológico, mas nunca a familiaridade com o programa por parte do público-alvo.

Sendo assim, a criação de vídeos pode ser uma ferramenta mais favorável. Foi realizado um *timelaps* da simulação criada em BIM 4D.

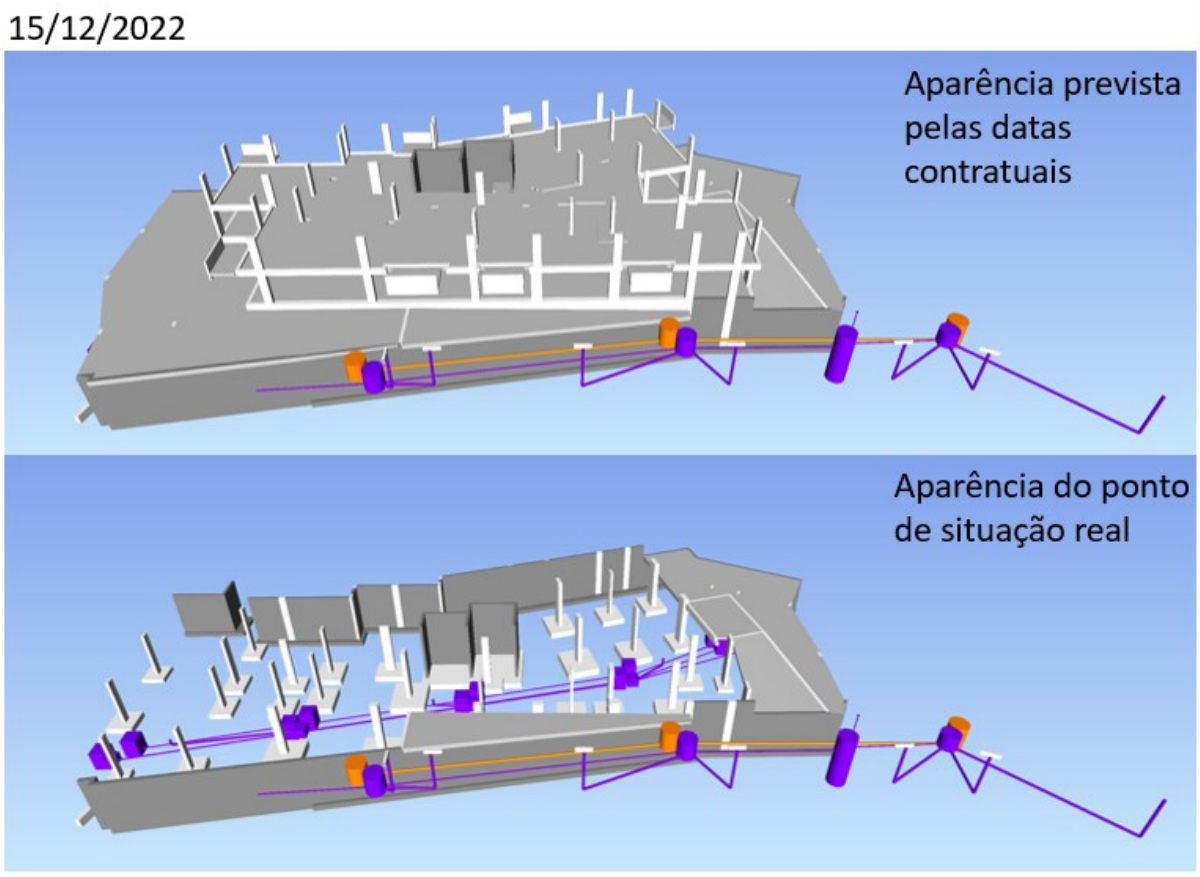


Figura 33 - Imagem para fins administrativos

Também é possível comparar os dois modelos, o que poderá ser útil para evidenciar melhor a realidade. A figura 34 abaixo ilustra a comparação entre a foto de um local e os objetivos a cumprir na semana, usando a representação do BIM 4D. Esta imagem poderia ser melhorada se fosse o drone da Gabriel Couto a tirar a Fotografia de um ponto de vista semelhante ao *viewpoint* adotado. No entanto, as condições climatéricas não permitiram o voo do mesmo, nesse dia.



Figura 34 - Comparação do planeamento com a realidade– execução de elementos verticais em Betão Armado do Bloco D

Estas imagens foram inseridas nos relatórios de balizamento de obra como demonstrado na figura 35.



Figura 35 - Relatório de Balizamento de Obra com Imagens do BIM 4D

5.5 CONCLUSÃO

O BIM 4D é relativamente fácil de aplicar. Este trabalho deve ser realizado por alguém com conhecimentos básicos do software MS Project e alguma experiência em planeamento. São ainda necessários conhecimentos básicos de Revit e de Navisworks.

O guia prático desenvolvido no âmbito desta dissertação e que é apresentado no anexo II pretende facilitar e apresentar as ferramentas mais críticas para a criação e manipulações de modelos 4D.

Dependendo da fase de obra, a informação retirada das imagens é mais ou menos relevante. Na fase de estrutura a informação que as imagens transmitem é relevante e de fácil entendimento, podendo ser utilizada quer para a comunicação do diretor de obra com o os subempreiteiros, quer para demonstração do avanço de obra para a administração e clientes. Produzir esta informação não requer um enorme acréscimo de trabalho para as equipas de BIM e Planeamento, se estiverem familiarizados com os programas.

Os diferentes tipos de modelos também envolvem mais ou menos tempo de criação, os de estrutura são os mais rápidos e os mais fáceis.

Os modelos de Instalações obrigam a uma revisão do modo de apresentação das imagens, que não estando com a aparência desejada, pode originar um dispêndio de tempo significativo a preparar.

Os modelos de arquitetura envolvem muito mais tempo e não são facilmente mecanizáveis, sendo os que mais necessitam de conhecimentos de planeamento e também mais paciência na atribuição de Navisworks ID ao Revit.

Embora as outras fases de obra não tenham decorrido em tempo útil da dissertação, e apenas quando confrontados com problemas reais podemos tentar resolver problemas concretos, o mesmo não parece aplicar-se sem um acréscimo de apoio tecnológico em obra. O modelo de instalações pela diferença de dimensão em relação aos restantes modelos e a grande dificuldade de compreensão do modelo de instalações isolado e o modelo de arquitetura pelas barreiras visuais criadas por espaços situados em planos “mais próximos”.

6
CONCLUSÃO

6.1 INTRODUÇÃO

Neste último capítulo, faz-se um balanço final sobre o trabalho desenvolvido em relação sobretudo com o tema e objetivos da dissertação.

O ramo da engenharia civil está atrasado a nível tecnológico. Tal deve-se sobretudo a ser uma área de negócio de difícil automação e maior dificuldade de inovação devido à sua complexidade e constante alteração do espaço físico de trabalho. O investimento na tecnologia é complexo devido a uma visão muito conservadora dos processos de construção e à baixa formação das partes envolvidas, com destaque para as estruturas produtivas e sobretudo dos subempreiteiros.

O BIM e nomeadamente o BIM 4D representam uma das áreas fundamentais em processo de implementação em muitas empresas, tal como é o caso da Gabriel Couto.

O BIM 4D representa um grande investimento para as empresas, já que a definição dos modelos é uma atividade longa e que consome muitos recursos das empresas e esse é também o caso da Gabriel Couto.

O desenvolvimento do modelo 4D tem algumas vantagens inegáveis de que se destacam duas:

-A visualização do planeamento é mais rápida e perspicaz do que o estudo dos diagramas de Gantt e permite-nos corrigir possíveis erros que possam existir no planeamento ou modelo devido ao grau de precisão e detalhe dos dois;

-Para além disso, se o utilizador tiver adequada sensibilidade e experiência, conseguirá mais facilmente compreender se o plano de trabalhos e prazos são adequados e realistas.

Ainda assim, suspeita-se que este tipo de modelos podem ter mais ou menos utilidade, dependendo da fase da obra em curso.

6.2 CUMPRIMENTO DE OBJETIVOS E PRINCIPAIS ILAÇÕES

Considera-se que o objetivo inicial do modelo BIM 4D de uma obra real e de manipulação da ferramenta Navisworks foi conseguido e que as imagens retidas nas fases de construção de estrutura são úteis quer para obra quer para efeitos administrativos.

O BIM 4D, se já existir previamente um bom planeamento e os modelos em BIM 3D, é simples e não ocupa assim tanto tempo, principalmente se forem efetuados na sua construção as adaptações necessárias para a sua criação. A familiarização com os softwares é também relevante e decisiva para eficácia da criação dos modelos.

O facto do objetivo ser principalmente produzir imagens imprimíveis tornou-se uma grande dificuldade. Para grande parte da duração da obra, a visualização com auxílio à realidade virtual ou realidade aumentada seria mais eficaz que as imagens produzidas.

A principal dificuldade é sem dúvida escolher e objetivar a melhor forma de comunicar, produzindo o mínimo de imagens possível. A navegação pelo modelo comunica de forma mais clara e objetiva do que qualquer conjunto de imagens, no entanto, deixa de ser imprimível ou colocável num relatório mensal.

Este problema é possivelmente agravado em futuras fases pelas quais passará a obra. Durante o período da dissertação, apenas foram acompanhados o final da fase de escavação e o início da estrutura. A fase de estrutura é onde é vista maior utilidade o modelo 4D sem recorrer a outras tecnologias. Nas fases de arquitetura e infraestruturas a escolha e produção de imagens é mais difícil.

Nesse contexto, não se exploraram nesta dissertação essas dificuldades.

Relativamente às imagens criadas para clientes e fins administrativos, estas criaram algumas dificuldades principalmente porque a comparação entre datas reais e planeadas não é correspondente à expectativa em relação ao fim para o qual iriam ser utilizadas. Para além disso criam muito ruído visual e tornam-se confusas.

Apesar das dificuldades, todos os objetivos projetados foram cumpridos: foram concluídos os diferentes modelos 4D e explorados diferentes tipos de visualização consoante as suas finalidades. As imagens têm utilidade para a fase de construção da estrutura, que foi fase acompanhada ao longo da dissertação, suspeita-se que não terão a mesma utilidade, como atrás se refere, nas fases de instalações e acabamentos.

A utilidade dos modelos não é apenas dependente da fase construtiva, mas também, da tecnologia disponível. Espera-se que a empresa explore para já unicamente os modelos 4D para as fases estruturais das diferentes obras e que esta se torne uma prática comum. Este modelo é o mais fácil de criar e o que tem maior facilidade de transformação em imagens, com relativamente pouco trabalho.

Possivelmente, com o avanço tecnológico e investimento em recursos humanos que está a ocorrer atualmente, a empresa poderá vir a retirar num futuro mais remoto utilidade dos modelos 4D para outras fases da obra.

O relatório do balizamento mensal foi também alterado para obras que contenham acompanhamento em BIM 4D para incluírem a comparação das datas reais e contratuais e esta situação ilustra o cumprimento de outro dos objetivos do estágio que foi o de apoiar a Gabriel Couto no processo de desenvolvimento do BIM 4D em curso na empresa, sem descurar a satisfação o mais completa possível do objetivo de manter os atuais modelos de documentos emitidos, como por exemplo os relatórios periódicos.

6.3 Outras Deduções Resultantes do Estudo Efetuado

Uma das grandes conclusões possíveis é que estes modelos são mais próximos da realidade quanto mais próximos estivermos da data do último balizamento, evidenciando assim a grande utilidade do trabalho realizado pelo departamento de acompanhamento de obras.

A principal utilidade dos modelos 4D e vantagens do acompanhamento do planeamento é que se tornam mais evidentes:

- Incompatibilidades entre os modelos;
- Prazos irrealistas para a realização de uma tarefa;

- Erros de ligação de predecessoras/sucessoras no planeamento.

Estas situações têm várias origens e causas e vão criar contratempos no decorrer dos trabalhos. Estes tipos de problemas só são percetíveis no caso de a incompatibilidade ser entre elementos do modelo de grande volume. Seria interessante, por exemplo, que o software Navisworks tivesse a capacidade de apanhar erros na compatibilização dos modelos, como a sinalização de evidentes erros no gráfico de Gantt da obra.

O BIM 4D não resolve a necessidade de realizar bons planeamentos, embora sirva para mais facilmente detetar eventuais problemas existentes nos modelos de planeamento.

6.4 Reflexão Sobre Possíveis Futuros Trabalhos

O BIM é uma ferramenta bastante recente com muito para explorar. Existe muito desenvolvimento e pesquisa por fazer nesta área. Existirão certamente, num futuro próximo, várias ferramentas e funcionalidades para resolver os problemas recentes. Estes programas vão-se tornando cada vez mais "*user friendly*" e mais adaptados aos problemas reais que tem a construção civil.

Ao longo da dissertação são mencionadas ferramentas que poderiam ter sido mais exploradas. A primeira possibilidade seria a exploração da ferramenta de BIM 5D, oferecendo ao modelo mais uma dimensão: o custo.

Outra possibilidade será por exemplo detalhar o modelo, adicionando mais elementos temporários para detetar *Soft Clashes* e *Workflow Clashes*.

Podia ainda ser explorado outro software de Modelos 4D como o Bexel para avaliar o seu desempenho comparativamente ao Navisworks ou explorar a viabilidade da criação do Modelo em Unity com a realidade aumentada.

Num horizonte um pouco mais distante será também porventura interessante explorar a ferramenta de geração de espaços críticos para execução de tarefas ou descobrir formas de aplicar o BIM 4D à segurança em obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Richard Hannis Ansah, Shahryar Sorooshian, and S.B. Mustafa, "(PDF) Lean construction: An effective approach for project management," Feb. 03, 2016. https://www.researchgate.net/publication/298710999_Lean_construction_An_effective_approach_for_project_management (accessed Nov. 04, 2022).

[2] Jorge Moreira da Costa, "Qualidade na Construção." 2022.

[3] B. A. Hyatt and L. Ap, "CONSTRUCTION EDUCATION PAPERS PRESENTED ON UNDERGRADUATE EDUCATION A Case Study in Integrating Lean, Green, BIM into an Undergraduate Construction Management Scheduling Course," 2011.

[4] "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ONU Portugal." https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/ (accessed Nov. 04, 2022).

[5] "Consultoria em Excelência Operacional | Kaizen Institute PT." https://pt.kaizen.com/ (accessed Nov. 09, 2022).

[6] A. L. Vivan, F. A. H. Ortiz, and J. C. Paliari, "Model for Kaizen project development for the construction industry," 2016. https://www.researchgate.net/publication/303915350_Model_for_Kaizen_project_development_for_the_construction_industry (accessed Nov. 04, 2022).

[7] J. M. M. A. de A. Faria, "Sebenta GOSE," 2013. https://pt.scribd.com/document/365834351/SebentaGOSE20132014pdfunico-pdf (accessed Nov. 08, 2022).

[8] João Pedro Poças Martins, "BIM na Engenharia Civil." 2022.

[9] "Software Civil 3D | Obtenha Preços e Compre o Civil 3D 2023 Oficial | Autodesk." https://www.autodesk.pt/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT (accessed Nov. 04, 2022).

[10] Y.-W. Kim and H. G. Ballard, "Management Thinking in the Earned Value Method System and the Last Planner System," *Journal of Management in Engineering*, vol. 26, no. 4, pp. 223–228, May 2010, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000026.

[11] J. M. S. S. da C. F. Figueiredo, "OPTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO Last Planner System aplicado a um Estudo de Caso," 2009. Accessed: Nov. 04, 2022. [Online]. Available: http://www.fe.up.pt

[12] H. G. Ballard, "THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL," 2000.

[13] H. G. Ballard, "'The Last Planner.'" Apr. 1994.

[14] E. Pellicer, F. Cerveró, A. Lozano, and J. Luis Ponz-Tienda, "THE LAST PLANNER SYSTEM OF CONSTRUCTION PLANNING AND CONTROL AS A TEACHING AND LEARNING TOOL," 2015.

[15] H. G. Ballard, I. TOMMELEIN, G. BALLARD, and I. TOMMELEIN, "Title 2020 Current Process Benchmark for the Last Planner(R) System of Project Planning and Control Permalink Publication Date," Mar. 2021, doi: 10.34942/P2F593.

[16] C. A. C. Gonçalves and P. A. Ribeiro, "Análise da aplicação do método EVM em projetos de TI," 2016.

[17] K. Koster, D. Wallace, J. Kinder, and C. Bell, *Earned Value Management for Dummies*. 2011. Accessed: Nov. 08, 2022. [Online]. Available: www.deltek.com.

[18] B. G. Shyamkant, A. Patil, and S. Pataskar, "Cost and Time Optimization for Construction of Residential Building by Clash detection in Building Information Model(BIM)," *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2017, Accessed: Nov. 04, 2022. [Online]. Available: www.irjet.net

[19] J. H. Kang, S. D. Anderson, and M. J. Clayton, "Empirical Study on the Merit of Web-Based 4D Visualization in Collaborative Construction Planning and Scheduling," *J Constr Eng Manag*, vol. 133, no. 6, pp. 447–461, Jun. 2007, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:6(447).

[20] O. Moselhi, A. Montaser, and O. Moselhi, "Methodology for automated generation of 4D BIM," Jun. 2015.

[21] K. W. Chau, M. Anson, and J. P. Zhang, "Four-Dimensional Visualization of Construction Scheduling and Site Utilization," *J Constr Eng Manag*, vol. 130, no. 4, pp. 598–606, Aug. 2004, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(598).

[22] J. Park, H. Cai, P. S. Dunston, and H. Ghasemkhani, "Database-Supported and Web-Based Visualization for Daily 4D BIM," *J Constr Eng Manag*, vol. 143, no. 10, p. 04017078, Aug. 2017, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001392.

[23] M. A. Alzarrad, G. P. Moynihan, A. Parajuli, and M. Mehra, “4D BIM Simulation Guideline for Construction Visualization and Analysis of Renovation Projects: A Case Study,” *Front Built Environ*, vol. 7, p. 31, Mar. 2021, doi: 10.3389/FBUIL.2021.617031/BIBTEX.

[24] V. Bolshakova, A. Guerriero, and G. Halin, “Identification of relevant project documents to 4D BIM uses for a synchronous collaborative decision support,” *Creative Construction Conference 2018 - Proceedings*, pp. 1036–1043, 2018, doi: 10.3311/CCC2018-134.

[25] P. F. Ahmadi and M. Arashpour, “An Analysis of 4D-BIM Construction Planning: Advantages, Risks and Challenges,” *Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020: From Demonstration to Practical Use - To New Stage of Construction Robot*, pp. 163–170, 2020, doi: 10.22260/ISARC2020/0025.

[26] G. M. Winch and S. North, “Critical Space Analysis,” *J Constr Eng Manag*, vol. 132, no. 5, pp. 473–481, May 2006, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:5(473).

[27] B. Akinci, M. Fischer, and J. Kunz, “Automated Generation of Work Spaces Required by Construction Activities,” *J Constr Eng Manag*, vol. 128, no. 4, pp. 306–315, Aug. 2002, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(306).

[28] M. Swallow and S. Zulu, “Benefits and barriers to the adoption of 4d modeling for site health and safety management,” *Front Built Environ*, vol. 4, p. 86, Jan. 2019, doi: 10.3389/FBUIL.2018.00086/TEXT.

[29] Swallow M and Zulu S, “Perception of the Benefits and Barrier of 4D Modelling for Site Health and Savety Management.”

[30] M. Guévremont, P. Eng, A. Hammad, and M. Asce, “Review and Survey of 4D Simulation Applications in Forensic Investigation of Delay Claims in Construction Projects,” *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, vol. 12, no. 3, p. 04520017, Mar. 2020, doi: 10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000391.

[31] A. Dziadosz and M. Rejment, “Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods,” *Procedia Eng*, vol. 122, pp. 258–265, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.PROENG.2015.10.034.

[32] “GABRIEL COUTO - we build change.” https://www.gabrielcouto.pt/contactos.php (accessed Nov. 04, 2022).

[33] “Comparar as Soluções e os Custos de Gestão de Projetos | Microsoft Project.” https://www.microsoft.com/pt-pt/microsoft-365/project/compare-microsoft-project-management-software?&market=pt&ef_id=Cj0KCQjwyt-ZBhCNARIsAKH1177GAzMOGVYaSzq3QCY6f7TLE7ZVNPIIlb3FjusqhPTVftZHWiMKL48aAkJEEALw_wcB%3aG%3as&OCID=AIDcmmwf9kwzdj_SEM_Cj0KCQjwyt-ZBhCNARIsAKH1177GAzMOGVYaSzq3QCY6f7TLE7ZVNPIIlb3FjusqhPTVftZHWiMKL48aAkJEEALw_wcB%3aG%3as&lnkd=Google_O365SMB_Brand&gclid=Cj0KCQjwyt-ZBhCNARIsAKH1177GAzMOGVYaSzq3QCY6f7TLE7ZVNPIIlb3FjusqhPTVftZHWiMKL48aAkJEEALw_wcB&activetab=tabs:primaryr1 (accessed Nov. 04, 2022).

[34] S. Tang, D. R. Shelden, C. M. Eastman, P. Pishdad-Bozorgi, and X. Gao, “A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends,” *Autom Constr*, vol. 101, pp. 127–139, May 2019, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.01.020.

[35] “BIM Software | Procore.” https://www.procore.com/en-gb/bim (accessed Dec. 07, 2022).

[36] “Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine.” https://unity.com/ (accessed Dec. 07, 2022).

[37] “Solved: Cable Tray Material - Autodesk Community - Revit Products.” https://forums.autodesk.com/t5/revit-mep-forum/cable-tray-material/td-p/7749758 (accessed Dec. 05, 2022).

[38] M. Rasmussen, “Secrets Revealed for Construction Simulation in Navisworks Manage”.

ANEXOS

ANEXO I

FOTOGRAFIAS DA OBRA

FOTOGRAFIAS DA 1ª SEMANA EM OBRA (13/10/2022)



Figura 36 - Edifício D



Figura 37 - Cofragem de um pilar



Figura 38 - Pilar já pronto

FOTOGRAFIAS DA 2ª SEMANA EM OBRA (20/10/2022)



Figura 39 - Edifício D



Figura 40 - Edifício D



Figura 41 - Montagem da Grua



Figura 42 - Muros em construção: cofragem das sapatas e cofragens do muro com a armadura já pronta



Figura 43 - Muros em construção: cofragem das sapatas e cofragens do muro com a armadura já pronta (mais próximo)

FOTOGRAFIAS DA 3ª SEMANA EM OBRA (27/10/2022)



Figura 44 - Edifício D



Figura 45 - Fundações indiretas

FOTOGRAFIAS DA 4ª SEMANA EM OBRA (03/11/2022)



Figura 46 - Edifício D



Figura 47 - Edifício D



Figura 48 - Caixas de visita

FOTOGRAFIAS DA 5ª SEMANA EM OBRA (10/11/2022)



Figura 49 - Edifício D



Figura 50 - Edifício D

FOTOGRAFIAS DA 6ª SEMANA EM OBRA (17/11/2022)



Figura 51 - Edifício D



Figura 52 - Edifício D

FOTOGRAFIAS DA 7ª SEMANA EM OBRA (24/11/2022)



Figura 53 - Edifício D



Figura 54 - Edifício D

FOTOGRAFIAS DA 8ª SEMANA EM OBRA (30/11/2022)



Figura 55 - Edifício D



Figura 56 - Edifício D

FOTOGRAFIAS DA 9ª SEMANA EM OBRA (06/12/2022)



Figura 57 - Testes ao betão



Figura 58 - Betonagem 1: Limpeza das armaduras



Figura 59 - Betonagem 2: Colocação do betão



Figura 60 - Betonagem 3: Vibração



Figura 61 - Edifício D

FOTOGRAFIAS DA 10ª SEMANA EM OBRA (19/12/2022)



Figura 62 - Edifício D



Figura 63 - Edifício D

ANEXO II

GUIA EXPLICATIVO DA CONSTRUÇÃO DO MODELO BIM 4D DA OBRA EXEMPLO

ÍNDICE DO GUIA PRÁTICO

II.1 GUIA PRÁTICO PARA AUTOMATIZAR LIGAÇÃO DE ELEMENTOS COM TAREFAS 848

A) CRIAR COLUNAS EM MS PROJECT 88

B) CRIAR UM NOVO PARÂMETRO NO REVIT 89

C) ASSEGURAR QUE O MEU MODELO REVIT PERMANECE IMÓVEL 90

D) DEFINIR O PARÂMETRO "*NAVISWORKS ID*" PARA TODOS OS ELEMENTOS DO MEU MODELO 91

E) ATALHO PARA SELEÇÃO RÁPIDA DOS ELEMENTOS 92

F) ABRIR O MODELO DO REVIT NO NAVISWORKS 94

G) ABRIR A *TIMELINER* E ADICIONAR O MS PROJECT 94

H) FAZER *REFRESH* AO MODELO 96

I) FAZER *REFRESH* À *TIMELINER* 96

J) ADICIONAR UMA COLUNA DE *NAVISWORKS ID* 97

K) CRIAR REGRA AUTOMATICAMENTE 99

L) CONFIRMAR QUE NÃO FICARAM ELEMENTOS POR ASSOCIAR A TAREFAS 101

II.2 GUIA PRÁTICO PARA SELECIONAR RAPIDAMENTE PARTES DE PAREDES 103

A) ISOLAR NA VISTA A CATEGORIA DAS PAREDES 103

B) DIVIDIR POR PARTES 103

C) CRIAR UM *SCHEDULE* 104

D) PARA GUARDAR O DOCUMENTO E AS PARTES SE TORNAREM VISÍVEIS 106

II.3) GUIA PRÁTICO PARA CRIAR UM FILTRO NO MS PROJECT ..108

A) APLICAR UM FILTRO 108

II.4) GUIA PRÁTICO PARA ALTERAR A APARÊNCIA DO MODELO .109

A) ALTERAÇÕES DE APARÊNCIA EXEMPLO DE INSTALAÇÕES 109

A.1) SELECIONAR OS ELEMENTOS QUE QUEREMOS QUE TENHAM UMA APARÊNCIA DIFERENTE COM CRIAÇÃO DE *SETS*: 109

A.2) ABRIR "*APPEARANCE PROFILE*" E FAZER AS ALTERAÇÕES DESEJADAS 111

A.3) VOLTAR À APARÊNCIA INICIAL: 112

A.4) HÁ AINDA A POSSIBILIDADE DE ALTERAR AS OPÇÕES DE VISUALIZAÇÃO DURANTE A CONSTRUÇÃO DA OBRA: 112

B) DESTAQUE DA EVOLUÇÃO DE UMA SEMANA DE TRABALHO 113

B.1) CRIAR UMA NOVA *TASK TYPE* NO NAVISWORKS 113
B.2) ATRIBUIR UM NOVO *TASK TYPE* NO PROJECT 113
B.3) NO NAVISWORKS FAZER *REFRESH* AO PROJETO 113

II.5) GUIA PRÁTICO PARA ALTERAÇÃO DO MATERIAL DOS TUBOS NO REVIT 114

A) EDITAR AS PROPRIEDADES DE UM TUBO 114
A.1) CRIAR UM NOVO MATERIAL 115
B) ATRIBUIR ESTE NOVO MATERIAL AOS TUBOS PRETENDIDOS 118
B.1) ISOLAR OS ELEMENTOS PRETENDIDOS EM *DIROOTS* 119
B.2) ALTERAR O MATERIAL NAS PROPRIEDADES 119
C) ALTERAR O MATERIAL DAS OUTRAS PEÇAS DAS INSTALAÇÕES 120

II.6) GUIA PRÁTICO PARA CRIAÇÃO DE CORTES NO NAVISWORKS 121

A) ABRIR A "*SECTIONING TOOLS*" 121
B) ALINHAR VISTA E CRIAR CORTE 122
C) RETIRAR AS LINHAS VERMELHAS DO CORTE 122

II.7) GUIA PRÁTICO PARA ADAPTAÇÃO DO MODELO PARA ADMINISTRAÇÃO 123

II.8) GUIA PRÁTICO PARA EXPORTAR UMA IMAGEM DE UM CORTE COM BOA QUALIDADE NO NAVISWORKS 125

II.9) GUIA PRÁTICO PARA FAZER UMA ANIMAÇÃO 126

A) ABRIR O *ANIMATOR*, ADICIONAR CENA E UMA CÂMARA 126
B) ANDAR PELOS PONTOS DO MODELO NOS QUAIS QUEREMOS QUE PASSE A ANIMAÇÃO E GRAVAR NOS SEGUNDOS PRETENDIDOS: 127
C) ANIMAR OBJETOS 128
D) EXPORTAR A ANIMAÇÃO 130

ÌNDICE DE FIGURAS DO GUIA PRÁTICO

Figura 64 - Criação de colunas Project 1 88
Figura 65 - Criação de colunas Project 2 88
Figura 66 - Criação de parâmetro 1 89
Figura 67 - Criação de parâmetro 2 89
Figura 68 - Criação de parâmetro 3 90
Figura 69 - Imobilizar modelo 91
Figura 70 - Propriedades Revit 91
Figura 71 - Isolar elementos/categorias 1 92
Figura 72 - Isolar elementos/categorias 1 93
Figura 73 - Repor visualização 93
Figura 74 - Abrir modelo no Navisworks 1 94
Figura 75 - Abrir modelo no Navisworks 2 94
Figura 76 - Abrir *timeliner* 1 95
Figura 77 - Abrir *timeliner* 2 95
Figura 78 - Abrir *timeliner* 3 96
Figura 79 - *Refresh* ao modelo 96
Figura 80 - *Refresh* ao planeamento 1 96
Figura 81 - *Refresh* ao planeamento 2 97
Figura 82 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 1 97
Figura 83 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 2 98
Figura 84 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 3 98
Figura 85 - Associação dos parâmetros em comum 1 99
Figura 86 - Associação dos parâmetros em comum 2 99
Figura 87 - Criar regra 1 100
Figura 88 - Criar regra 2 100
Figura 89 - Criar regra 3 101
Figura 90 - Confirmar que não há elementos não atribuídos 102
Figura 91 - Exemplo de modelo básico em planta 103
Figura 92 - Divisão por partes 1 103
Figura 93 - Criar *Schedule* 1 104
Figura 94 - Criar *Schedule* 2 104
Figura 95 - Criar *Schedule* 3 105
Figura 96 - Agrupar elementos *Schedule* 105
Figura 97 - Aspeto final do *Schedule* 106
Figura 98 - Guardar documento para conversão em partes 1 106
Figura 99 - Guardar documento para conversão em partes 2 107
Figura 100 - Filtrar o Project 1 108
Figura 101 - Filtrar o Project 2 108
Figura 102 - Filtrar o Project 3 108
Figura 106 - Criação de Sets 1 109
Figura 107 - Criação de Sets 2 109
Figura 108 - Esconder elementos 110
Figura 109 - *Selection tool* 110
Figura 110 - Criação de *sets* por pesquisa 110
Figura 111 - *Appearance profiler* 111
Figura 112 - Alterar a aparência 111
Figura 113 - Exemplo de alteração de aparência 111
Figura 114 - Modos de Renderização 112
Figura 115 - Repor aparências 112
Figura 116 - Criação de *Task Type* 1 112
Figura 117 - Exemplo de aplicação 113
Figura 118 - Criação de *Task Type* 2 113
Figura 119 - Imagem exemplo de um destaque semanal 114
Figura 120 - Editar propriedades de um tubo no Revit 1 114
Figura 121 - Editar propriedades de um tubo no Revit 2 115

Figura 122 - Editar propriedades de um tubo no Revit 3 115
Figura 123 - Criar material no Revit 1 116
Figura 124 - Criar material no Revit 2 116
Figura 125 - Criar material no Revit 3 117
Figura 126 - Criar material no Revit 4 117
Figura 127 - Criar material no Revit 5 118
Figura 128 - Editar propriedades de um tubo no Revit 4 118
Figura 129 - Filtrar com *DiRoots* 119
Figura 130 - Editar propriedades de um tubo no Revit 5 119
Figura 131 - Editar propriedades de peças no Revit 1 120
Figura 132 - Editar propriedades de peças no Revit 2 121
Figura 133 - Abrir *Sectioning Tools* 121
Figura 134 - Alinhar vista 122
Figura 135 - Editar definições de corte 1 122
Figura 136 - Editar definições de corte 2 (linha vermelha) 123
Figura 137 - Criar colunas do tipo início e fim 123
Figura 138 - Associação de parâmetros comuns no Navisworks 124
Figura 139 - Simulation settings 124
Figura 140 - Exportar imagem (exemplo) 125
Figura 141 - Exportar imagem 1 125
Figura 142 - Exportar imagem 2 126
Figura 143 - Opções de animação 126
Figura 144 - Animação com câmara 1 126
Figura 145 - Animação com câmara 2 127
Figura 146 - Animação com câmara 3 127
Figura 147 - Modos de navegação pelo modelo 128
Figura 148 - Animar objeto 1 128
Figura 149 - Animar objeto 2 129
Figura 150 - Animar objeto 3 129
Figura 151 - Animar objeto 4 130
Figura 152 - Animar objeto 5 130
Figura 153 - Exportar a animação 1 130
Figura 154 - Exportar a animação 2 131

II.1 GUIA PRÁTICO PARA AUTOMATIZAR LIGAÇÃO DE ELEMENTOS COM TAREFAS

A) CRIAR COLUNAS EM MS PROJECT

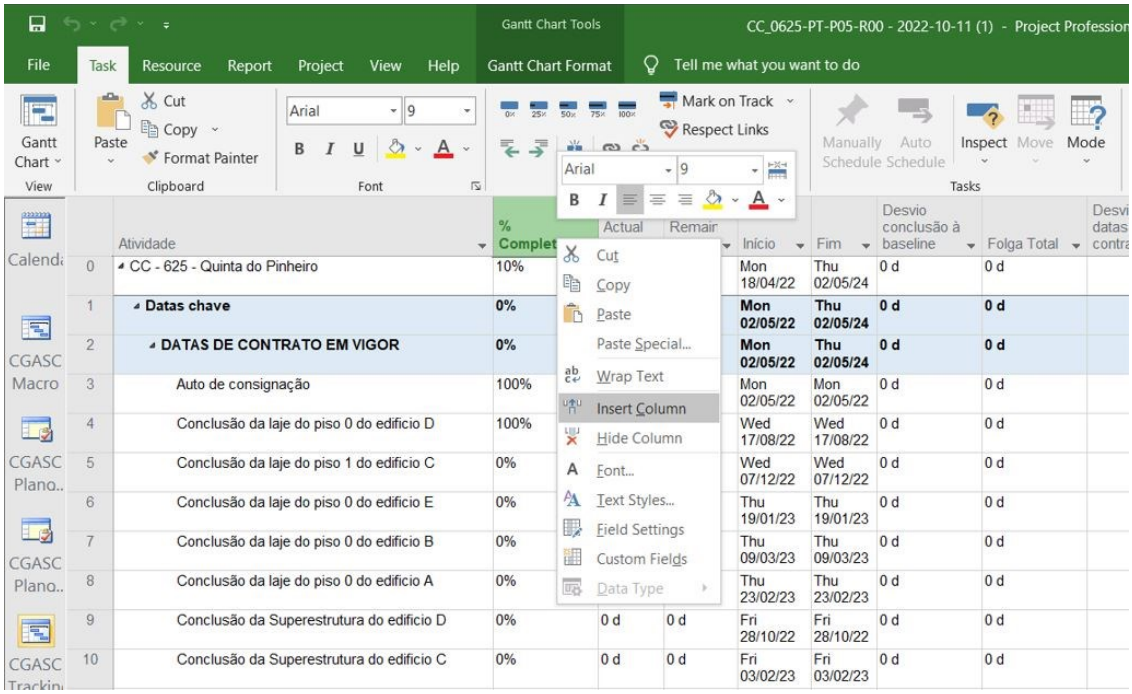


Figura 64 - Criação de colunas Project 1

Clicar no botão direito no cabeçalho das colunas. É necessário verificar que o tipo de dados está adequado à situação em causa, neste caso a coluna de "*Navisworks ID*" é uma coluna de texto.

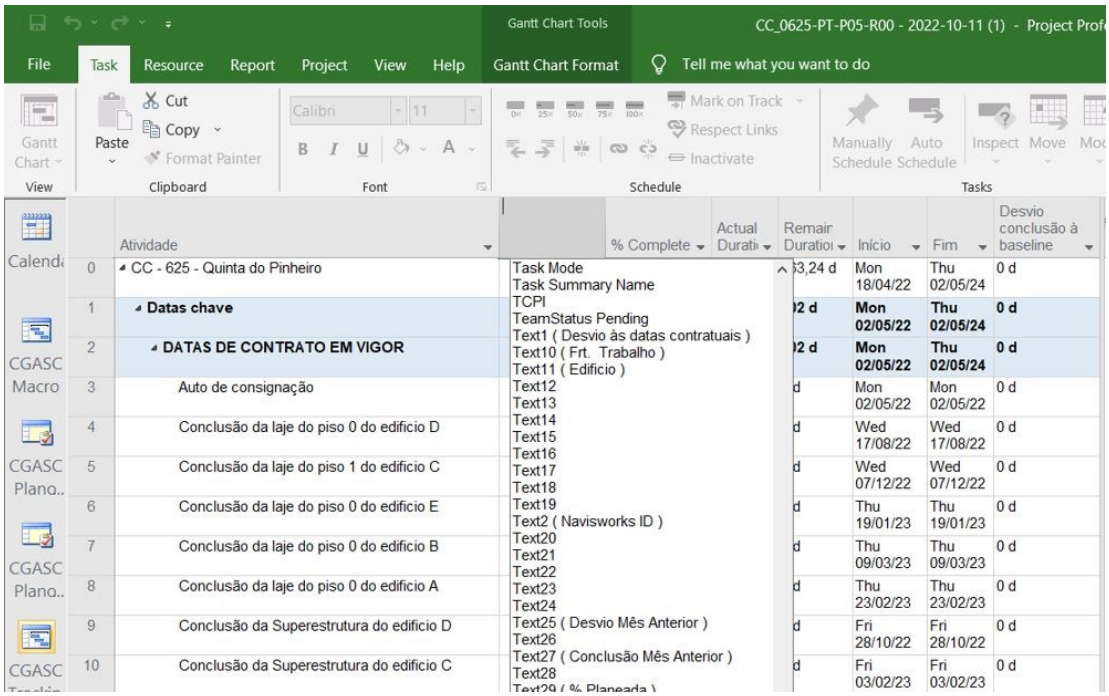


Figura 65 - Criação de colunas Project 2

Pode atribuir-se um nome à coluna. Será necessário saber qual das colunas ficou associado para fazer a ligação mais tarde no Navisworks, no exemplo o *Navisworks ID* ficou associado ao "*Text2*". Recomenda-se a criação de uma coluna no Project de "*Task Types*".

B) CRIAR UM NOVO PARÂMETRO NO REVIT

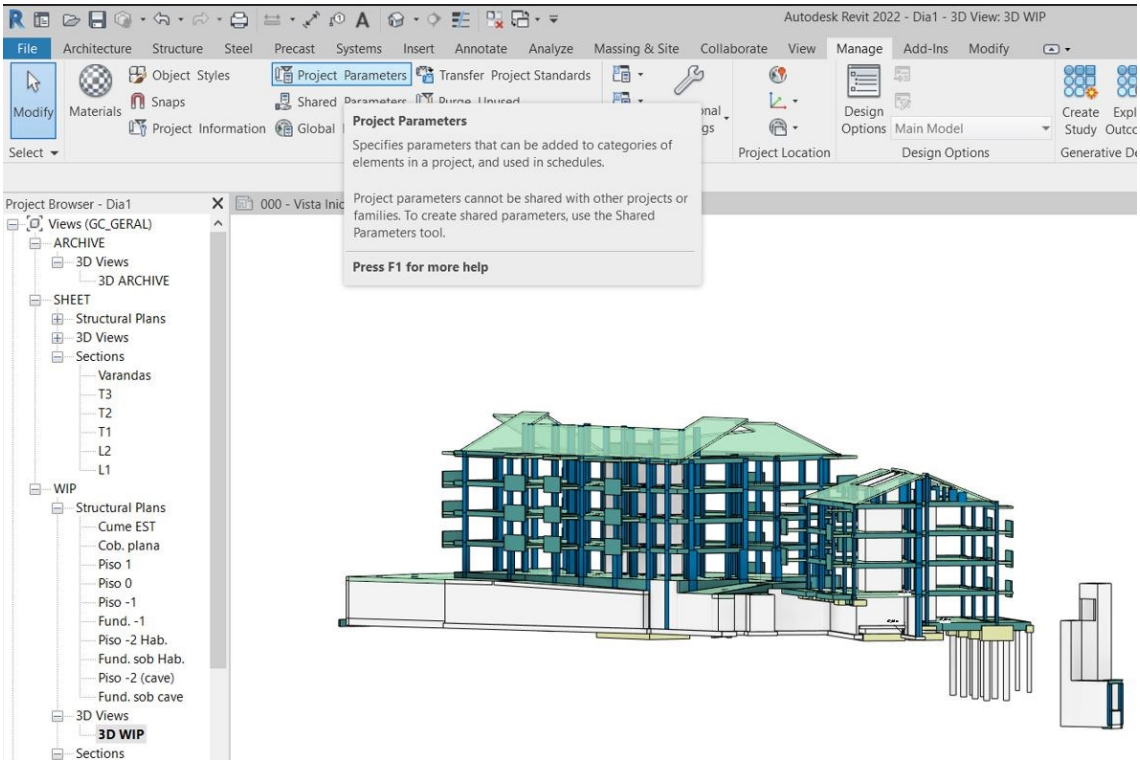


Figura 66 - Criação de parâmetro 1

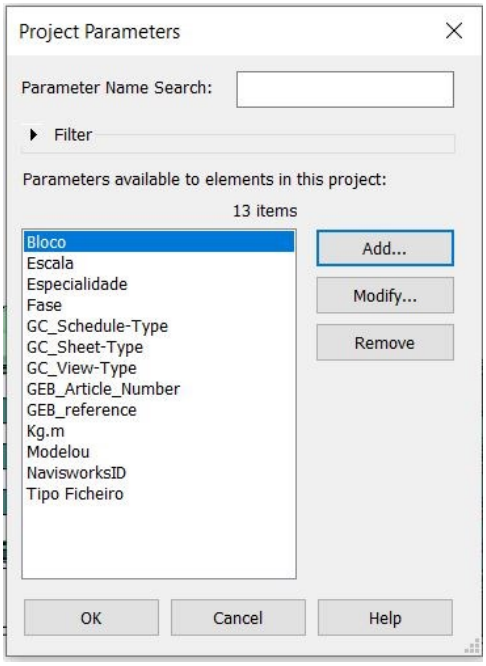


Figura 67 - Criação de parâmetro 2

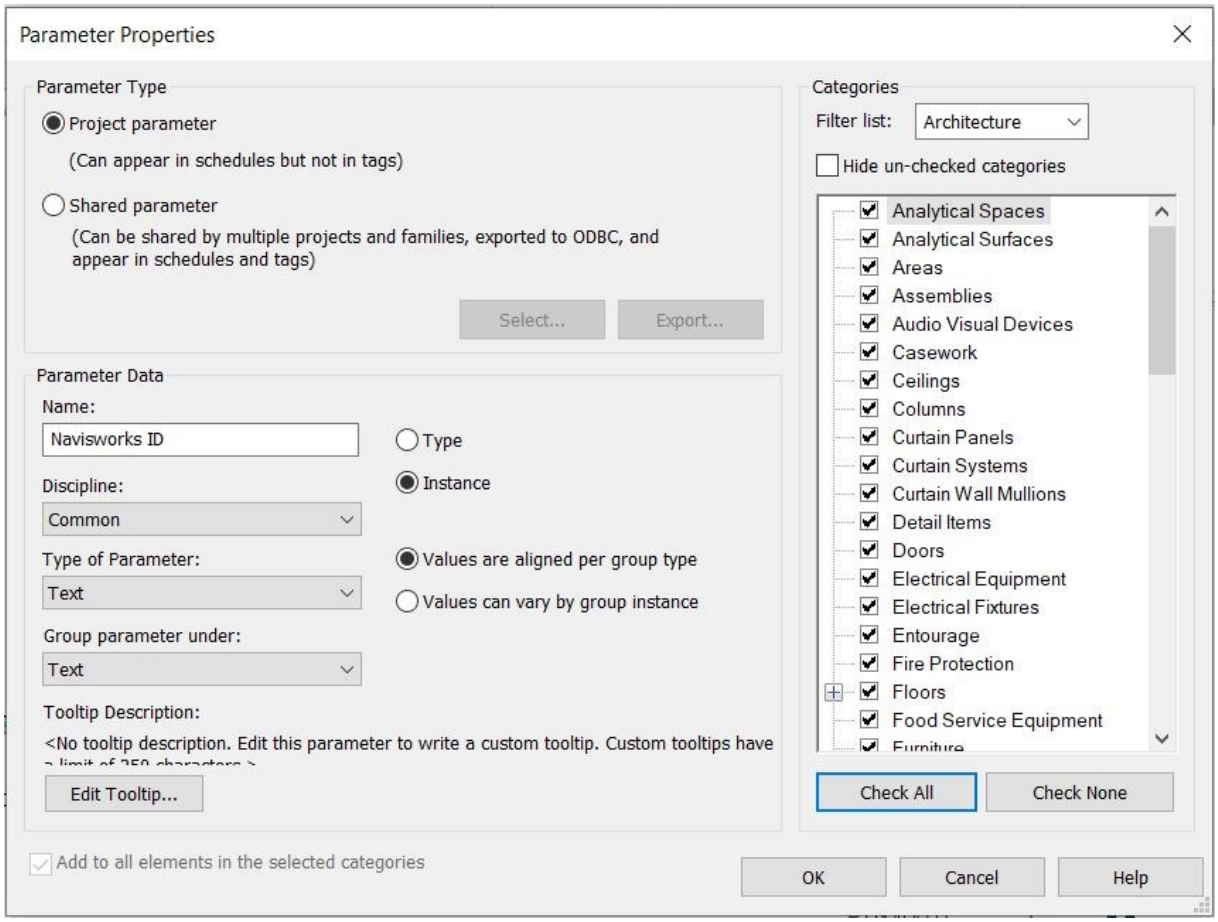


Figura 68 - Criação de parâmetro 3

Este parâmetro será do tipo "*Text*" e quero que seja comum a todos os elementos do meu modelo.

C) ASSEGURAR QUE O MEU MODELO REVIT PERMANECE IMÓVEL

Para tornar o meu modelo imóvel apenas tenho de o selecionar por completo e usar a função de "*PIN*"

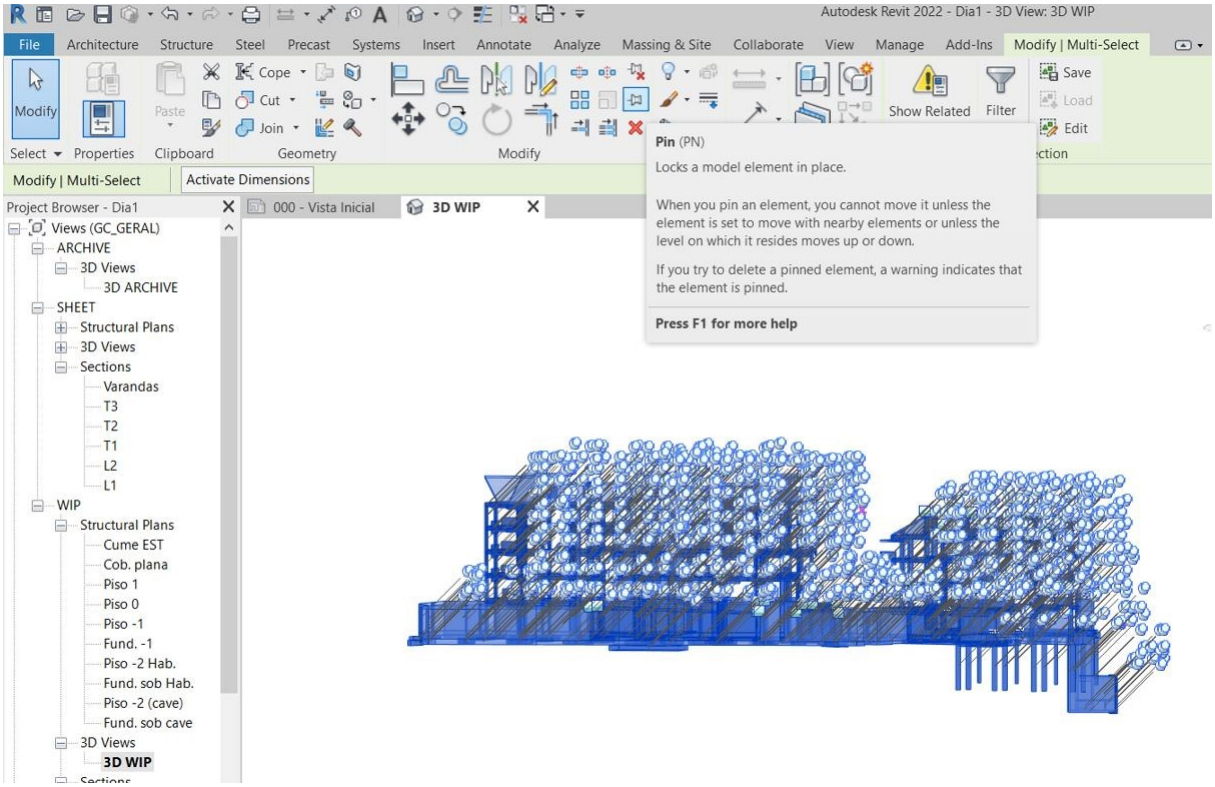


Figura 69 - Imobilizar modelo

D) DEFINIR O PARÂMETRO "*NAVISWORKS ID*" PARA TODOS OS ELEMENTOS DO MEU MODELO

Apenas tenho de abrir as propriedades (se não estiverem no ecrã basta usar o atalho de teclado: PP) e escrever o Navisworks ID para cada um dos elementos do modelo.

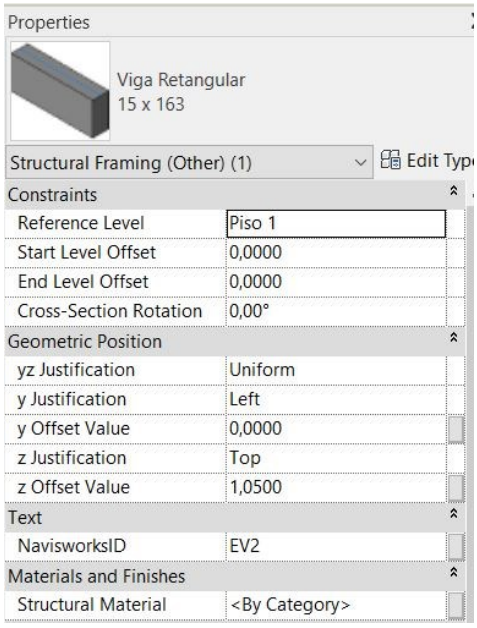


Figura 70 - Propriedades Revit

E) ATALHO PARA SELEÇÃO RÁPIDA DOS ELEMENTOS



Figura 71 - Isolar elementos/categorias 1

Basta selecionar um elemento da categoria à qual se pretende atribuir os parâmetros e isolar. Neste passo é favorável a utilização de plantas e cortes para que a seleção seja toda feita de uma vez. Vai aparecer no ecrã apenas a categoria selecionada:

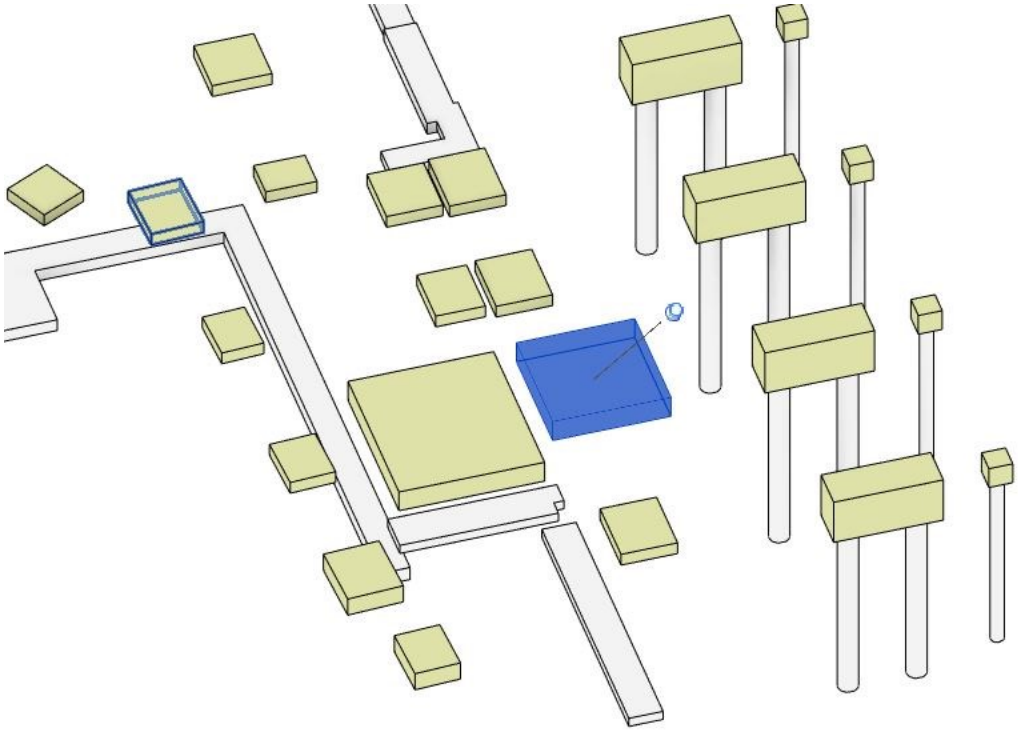


Figura 72 - Isolar elementos/categorias 1

Para voltar a ver o modelo completo apenas é necessário:

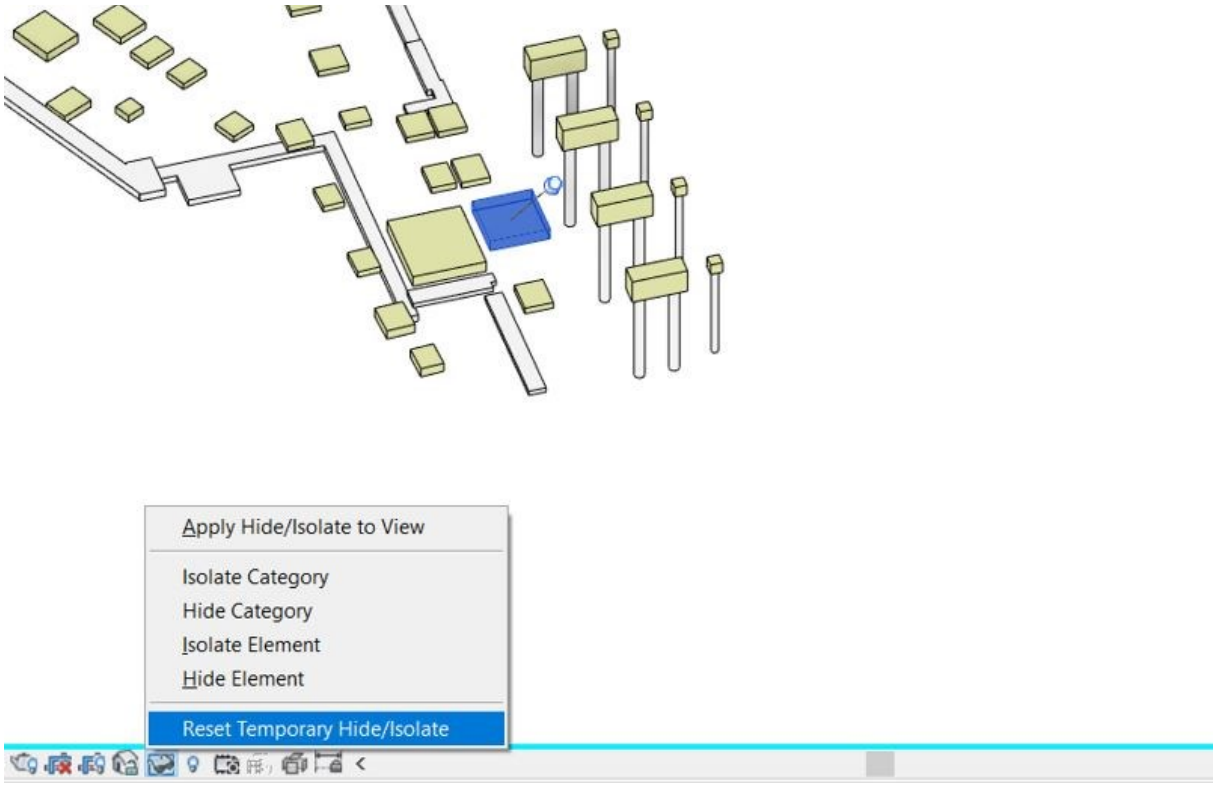


Figura 73 - Repor visualização

Nota: Há várias maneiras de selecionar vários elementos de forma rápida, este é apenas um exemplo. O método de seleção deve ser escolhido de acordo com as características do modelo e preferência do utilizador

F) ABRIR O MODELO DO REVIT NO NAVISWORKS

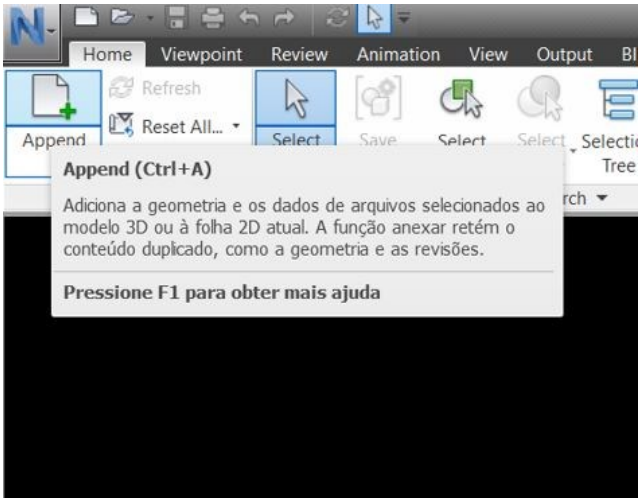


Figura 74 - Abrir modelo no Navisworks 1

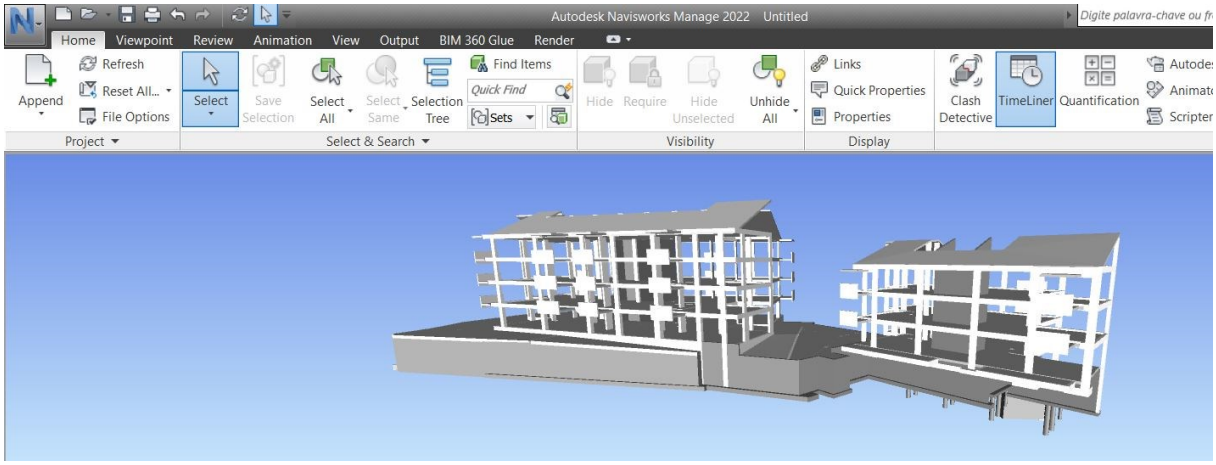


Figura 75 - Abrir modelo no Navisworks 2

Nota: Podem ser adicionados vários modelos em simultâneo

G) ABRIR A *TIMELINER* E ADICIONAR O MS PROJECT

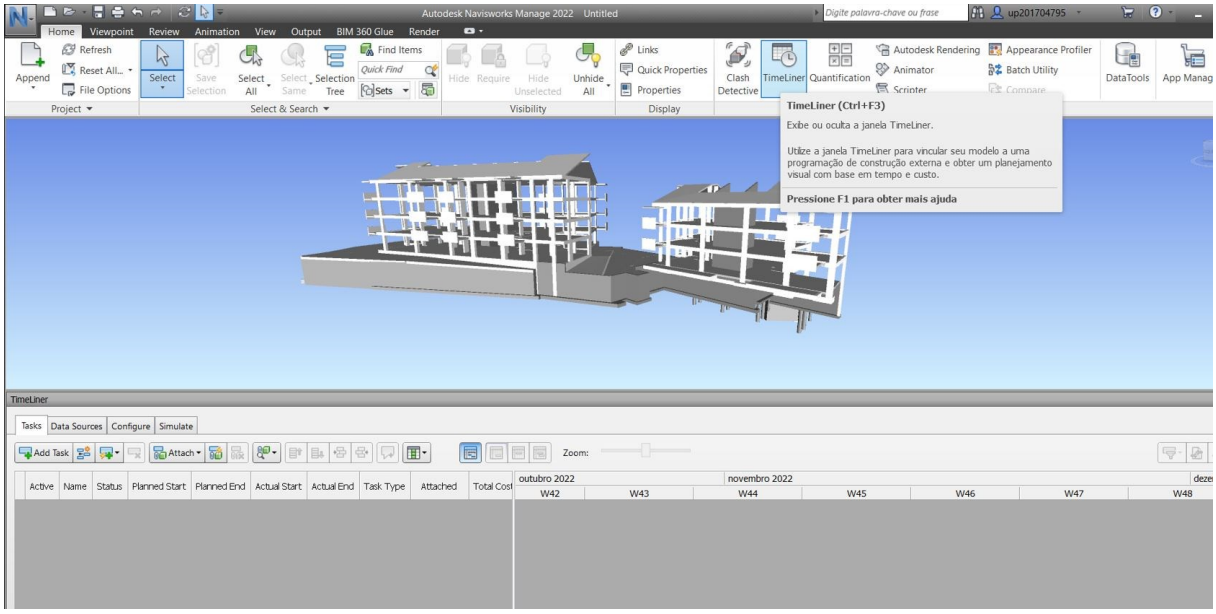


Figura 76 - Abrir *timeliner* 1

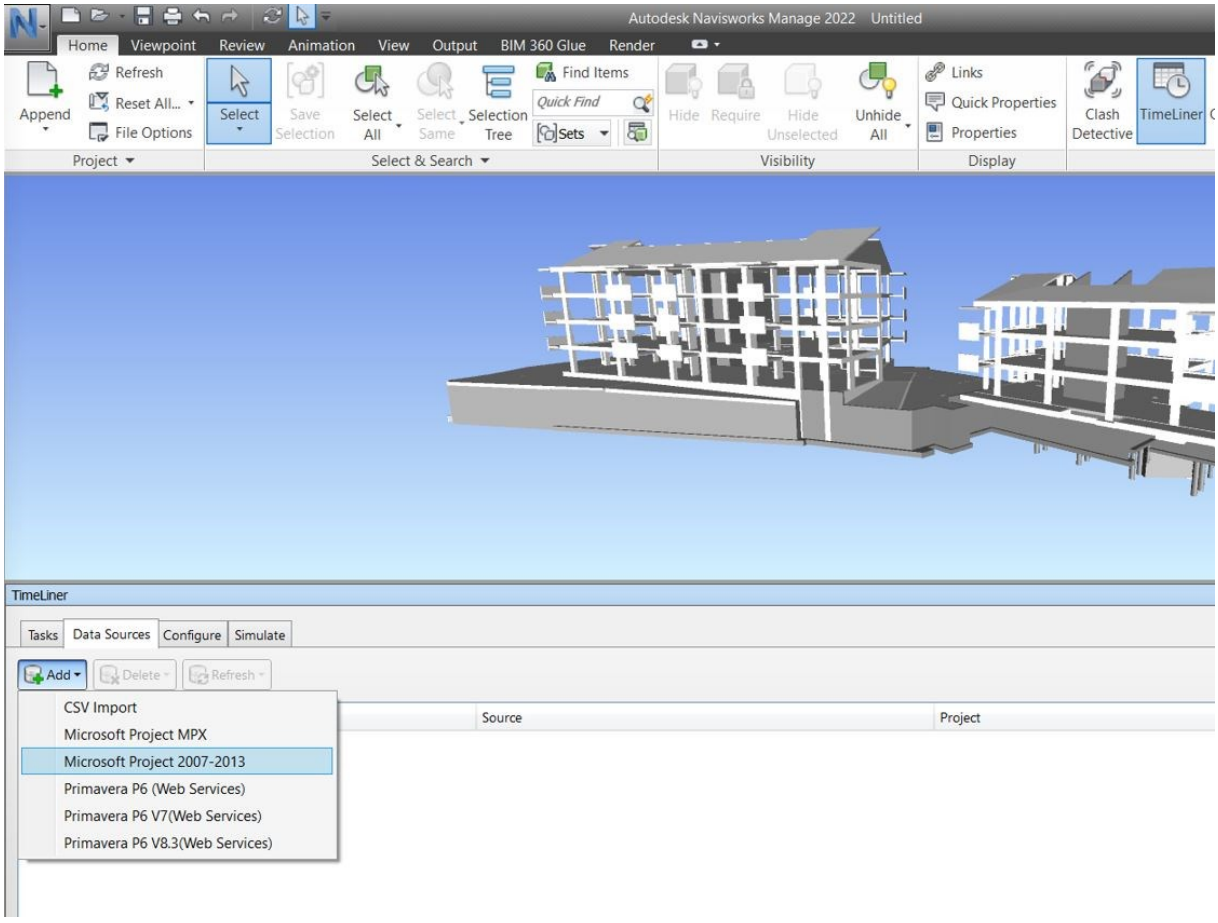


Figura 77 - Abrir *timeliner* 2

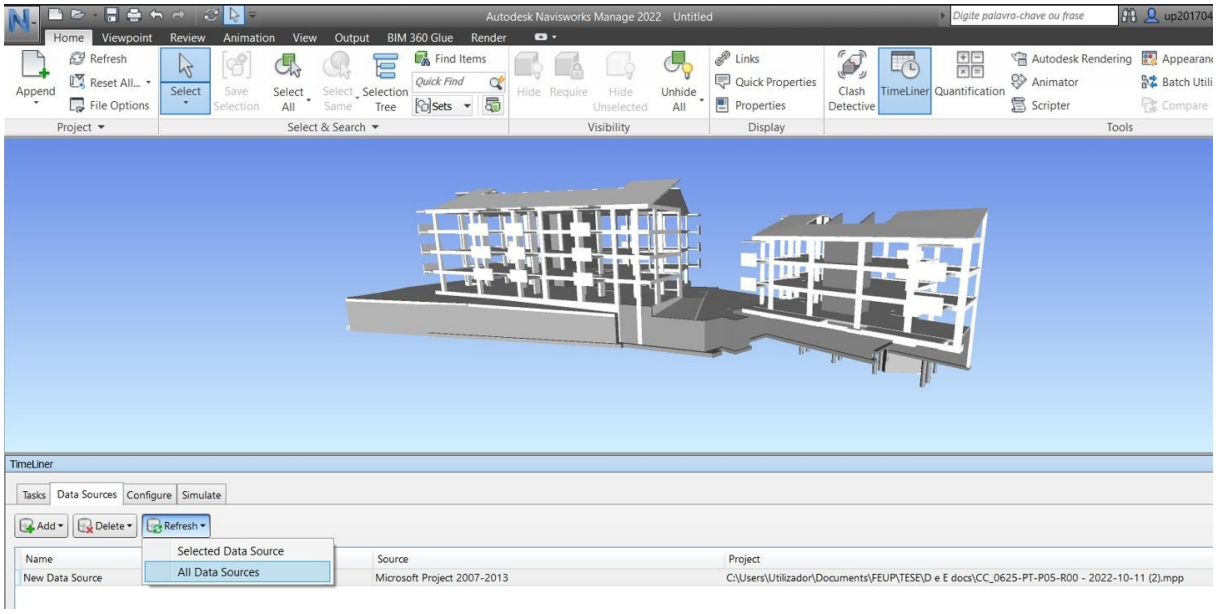


Figura 78 - Abrir *timeliner* 3

Este passo é necessário sempre que há alterações ao Project ou às configurações da *TimeLiner*

H) FAZER *REFRESH* AO MODELO

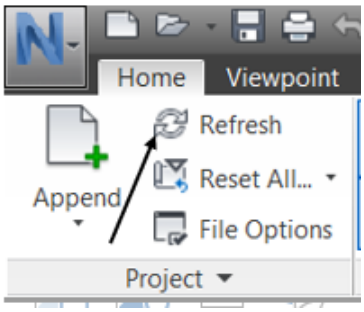


Figura 79 - *Refresh* ao modelo

I) FAZER *REFRESH* À *TIMELINER*

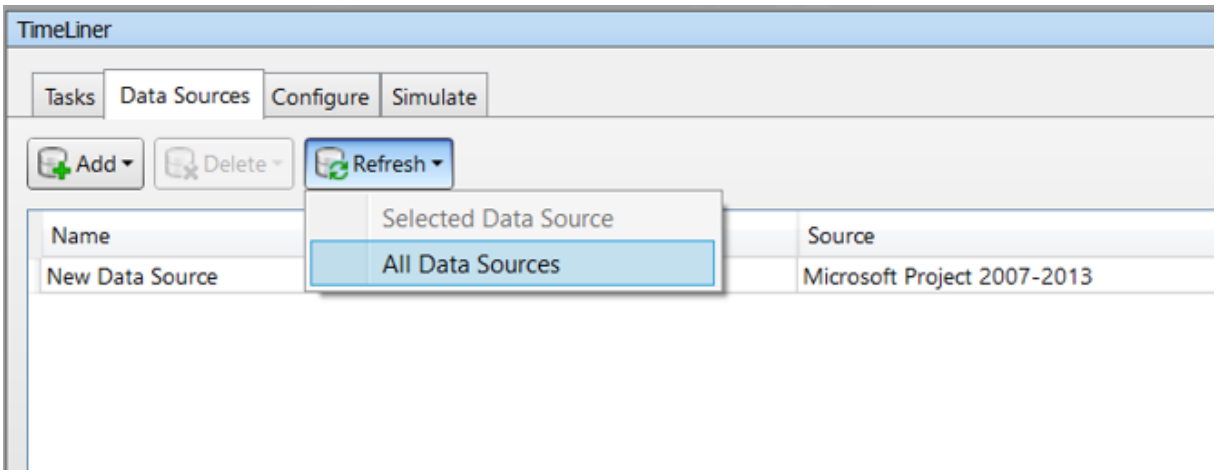


Figura 80 - *Refresh* ao planeamento 1

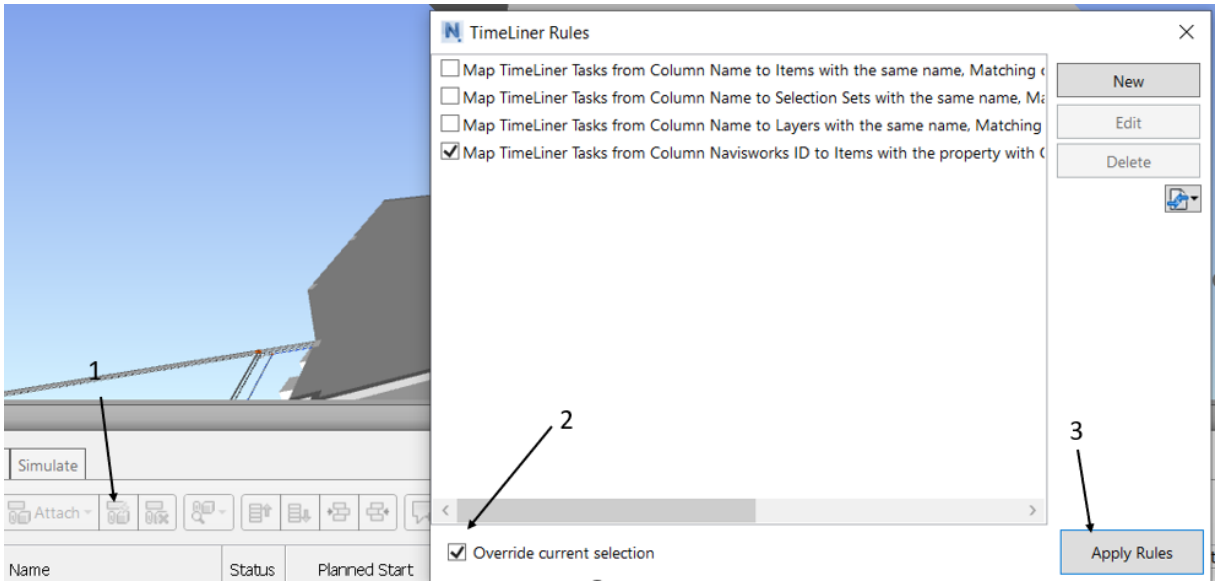


Figura 81 - *Refresh* ao planeamento 2

J) ADICIONAR UMA COLUNA DE *NAVISWORKS ID*

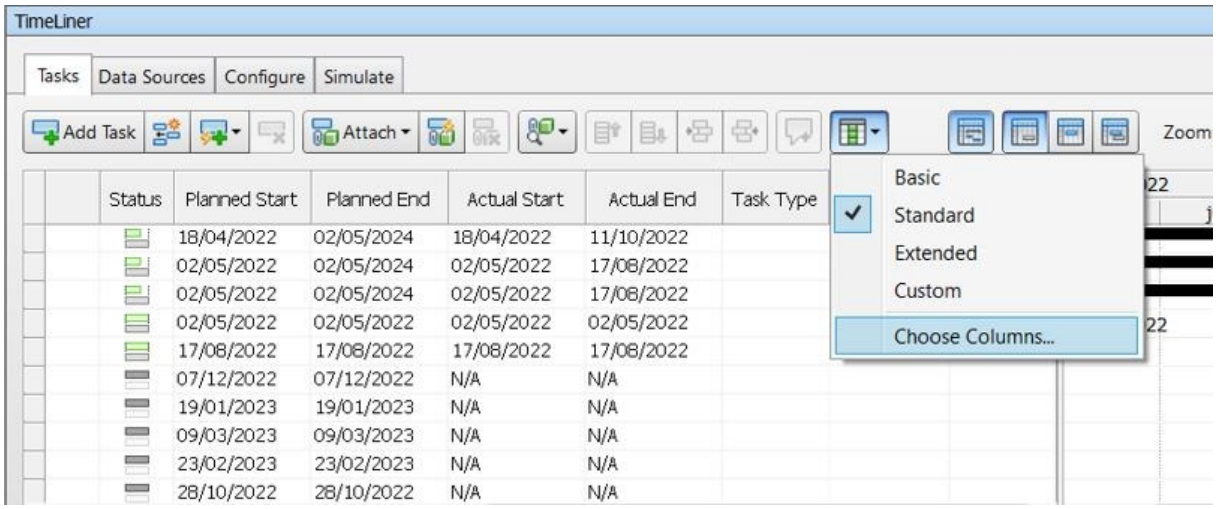


Figura 82 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 1

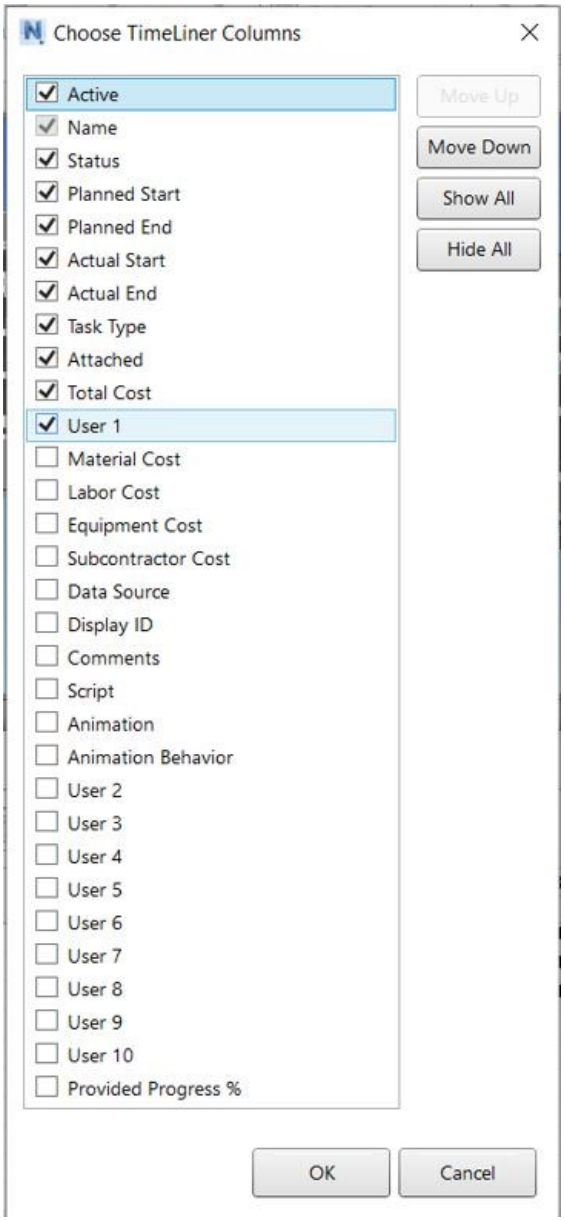


Figura 83 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 2

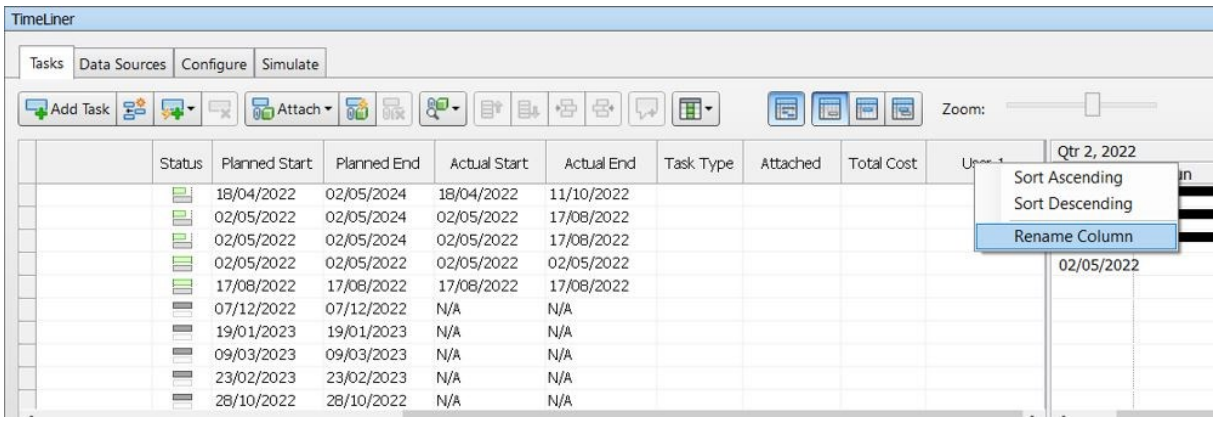


Figura 84 - Adicionar coluna *Navisworks Timeliner* 3

Nota: Não esquecer de fazer *refresh* à *TimeLiner* (ver II.1.i))

Será necessário criar uma associação das novas colunas com a fonte porque o Navisworks não vai reconhecer a coluna automaticamente:

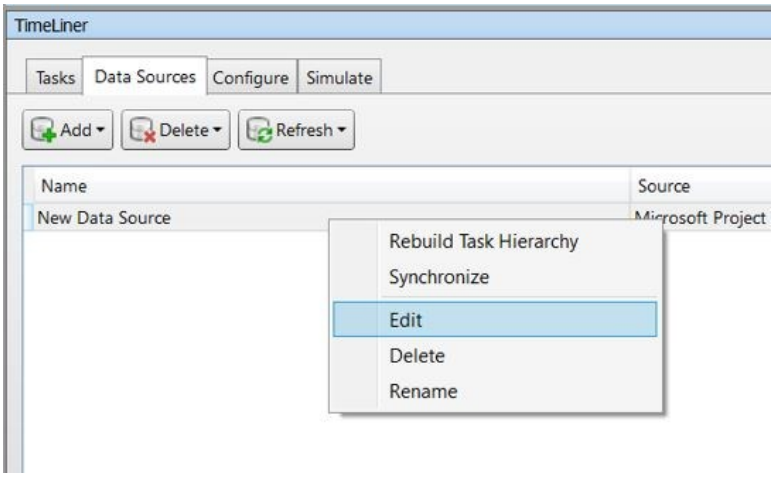


Figura 85 - Associação dos parâmetros em comum 1

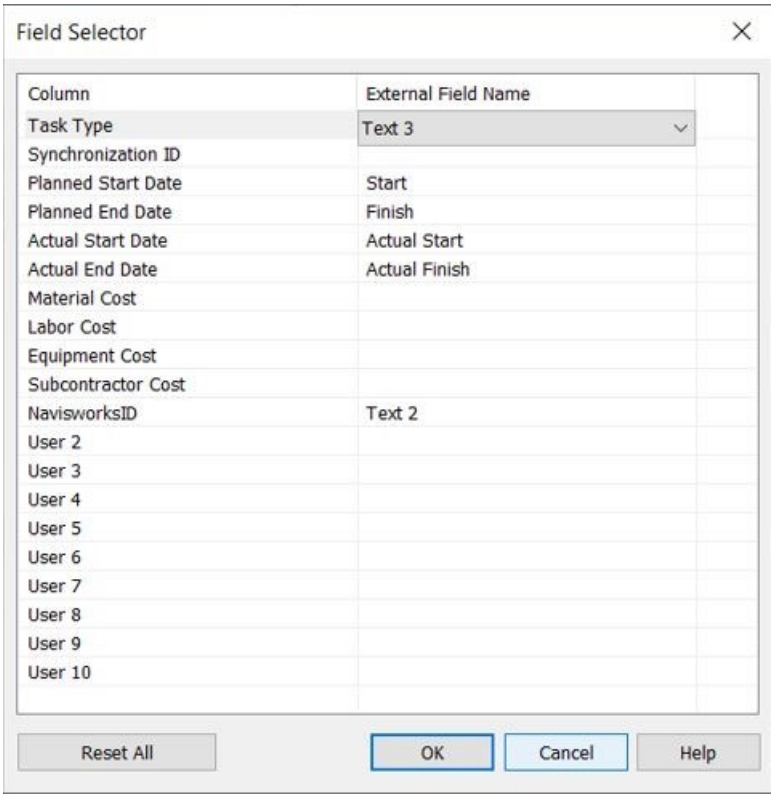


Figura 86 - Associação dos parâmetros em comum 2

K) CRIAR REGRA AUTOMATICAMENTE

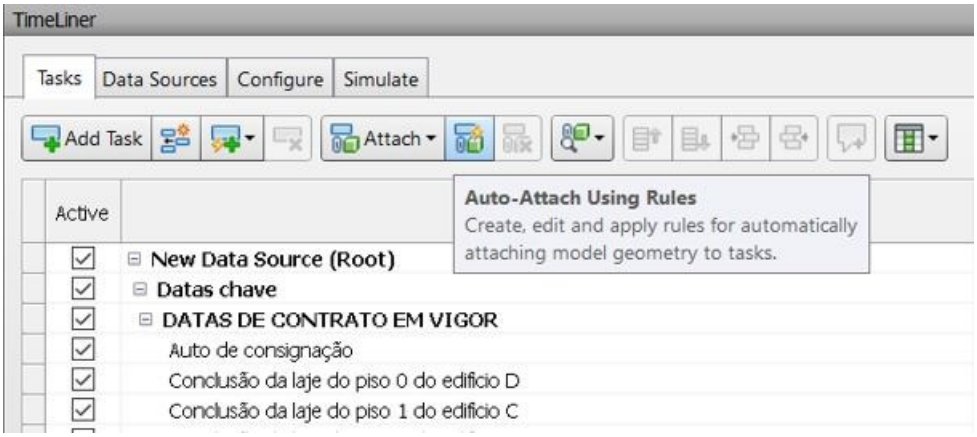


Figura 87 - Criar regra 1

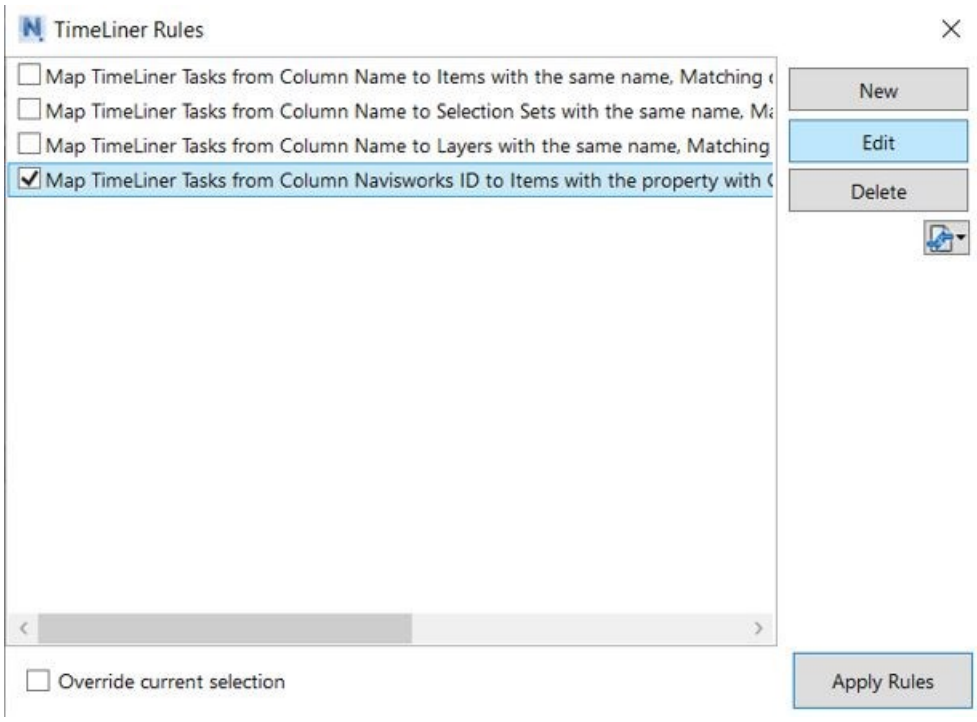


Figura 88 - Criar regra 2

Nota: Este passo deve ser repetido quando há alterações ao modelo ou ao Project selecionando a caixa no canto inferior esquerdo "*override current selection*"

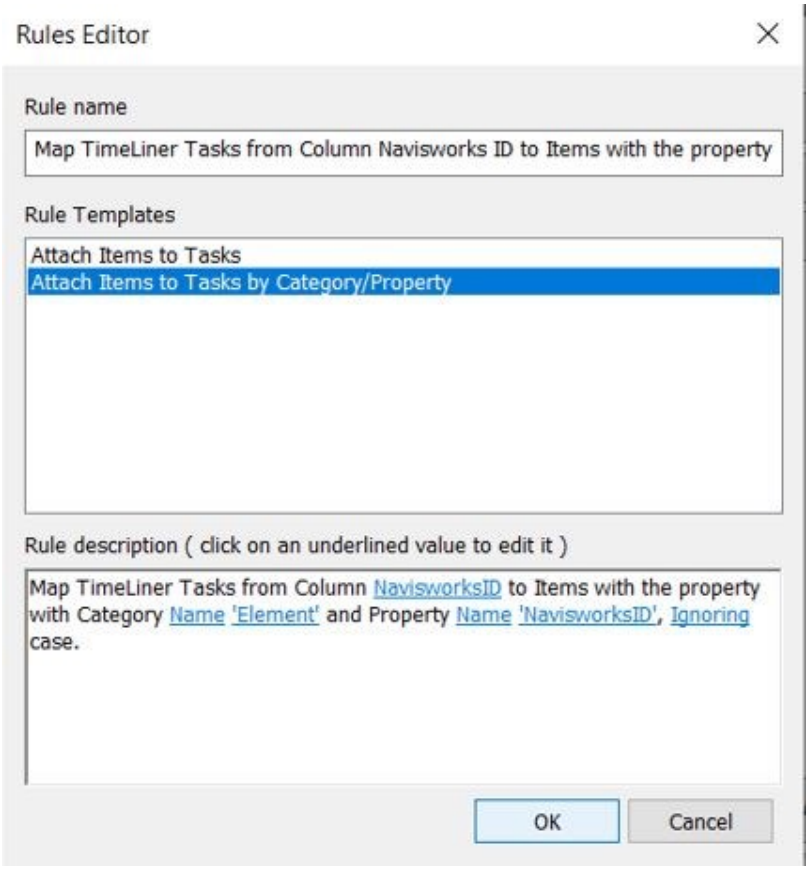


Figura 89 - Criar regra 3

Editar as "*Rules description"* de forma a estarem semelhantes às da imagem acima. Clicar em "*OK*" e de seguida em "*Apply rules*"

L) CONFIRMAR QUE NÃO FICARAM ELEMENTOS POR ASSOCIAR A TAREFAS

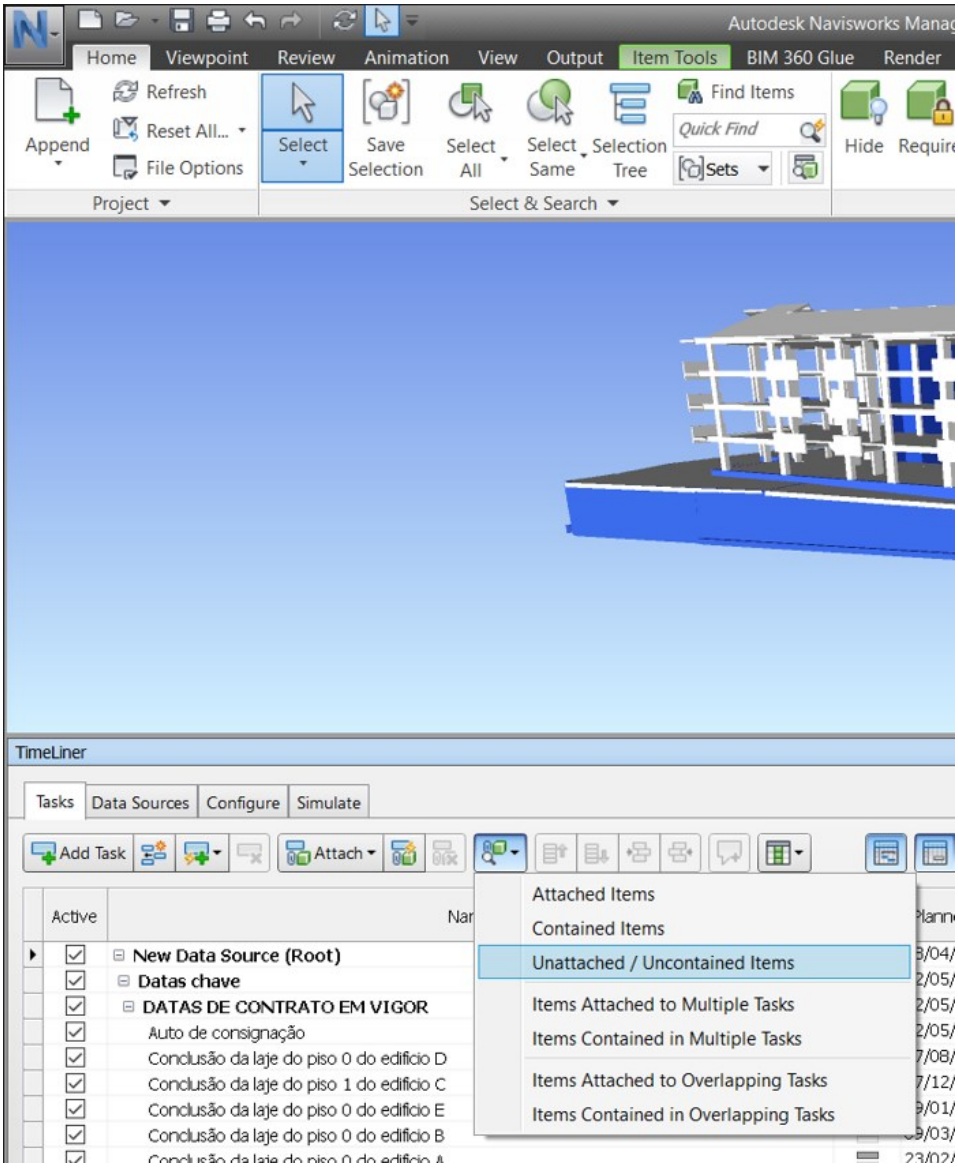


Figura 90 - Confirmar que não há elementos não atribuídos

Aparecem a azul os elementos do modelo que ainda não estão atribuídos a nenhuma tarefa.

II.2 GUIA PRÁTICO PARA SELECIONAR RAPIDAMENTE PARTES DE PAREDES

Exemplo de um modelo básico (corte de piso)

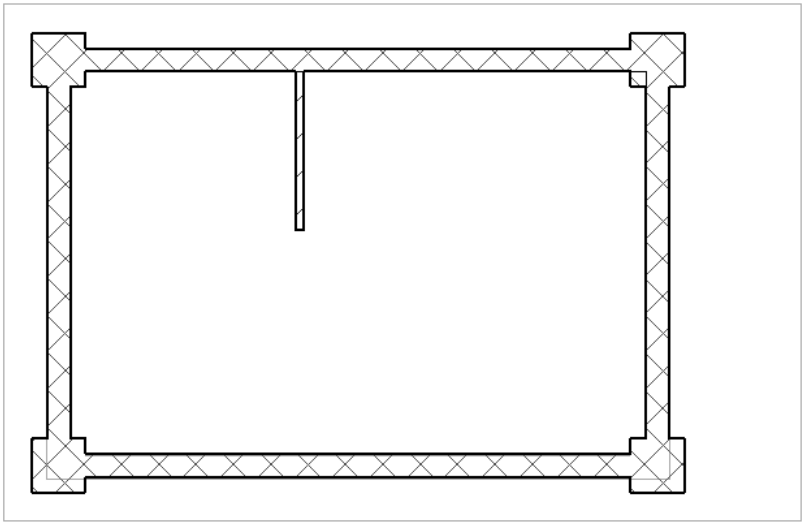


Figura 91 - Exemplo de modelo básico em planta

A) ISOLAR NA VISTA A CATEGORIA DAS PAREDES

Ver passo I.1.e)

B) DIVIDIR POR PARTES

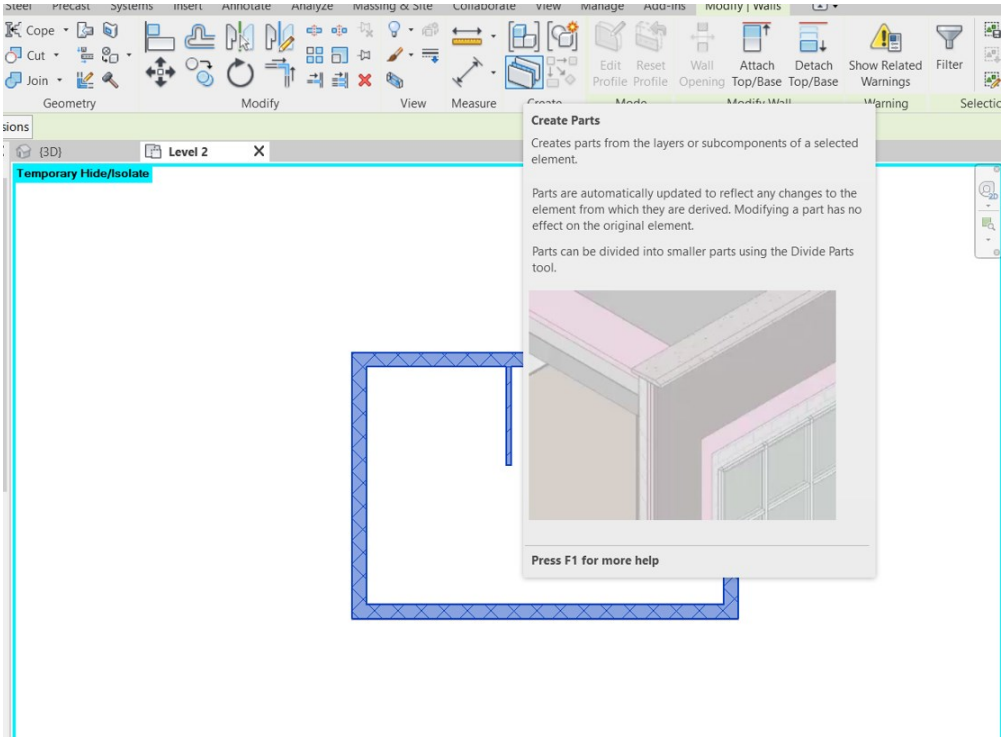


Figura 92 - Divisão por partes 1

As paredes desaparecem por completo porque deixam de ser paredes, passam a ser partes, se for feito *reset* na vista, voltam a aparecer, desta vez como partes.

C) CRIAR UM *SCHEDULE*

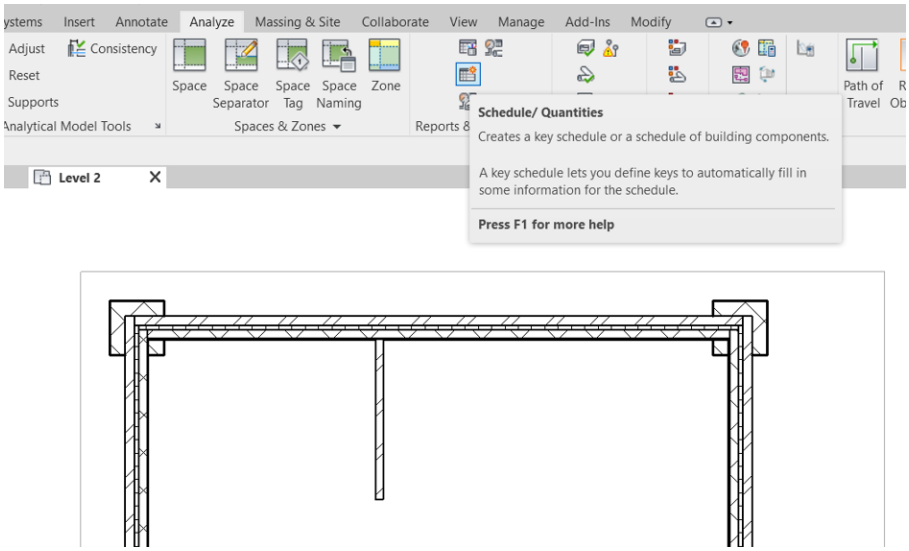


Figura 93 - Criar *Schedule* 1

Selecionar *parts*, clicar ok

Selecionar um campo que permitirá distinguir as várias partes das paredes (aplica-se a cada caso de cada parede), neste caso será o material porque o objetivo é selecionar toda a parte de gesso.

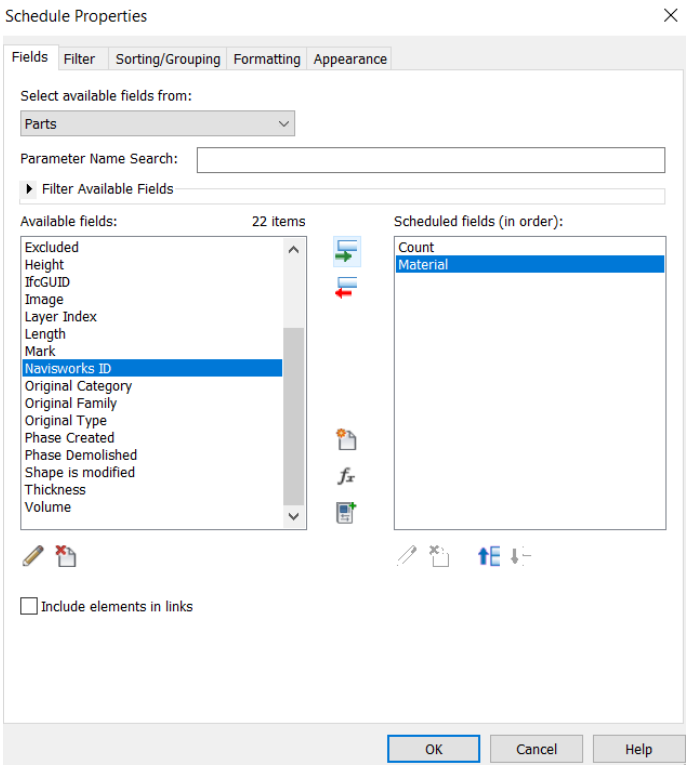


Figura 94 - Criar *Schedule* 2

O Schedule vai criar uma tabela que conta a quantidade de partes da parede discriminando o material de cada uma das partes e fica com este aspeto:

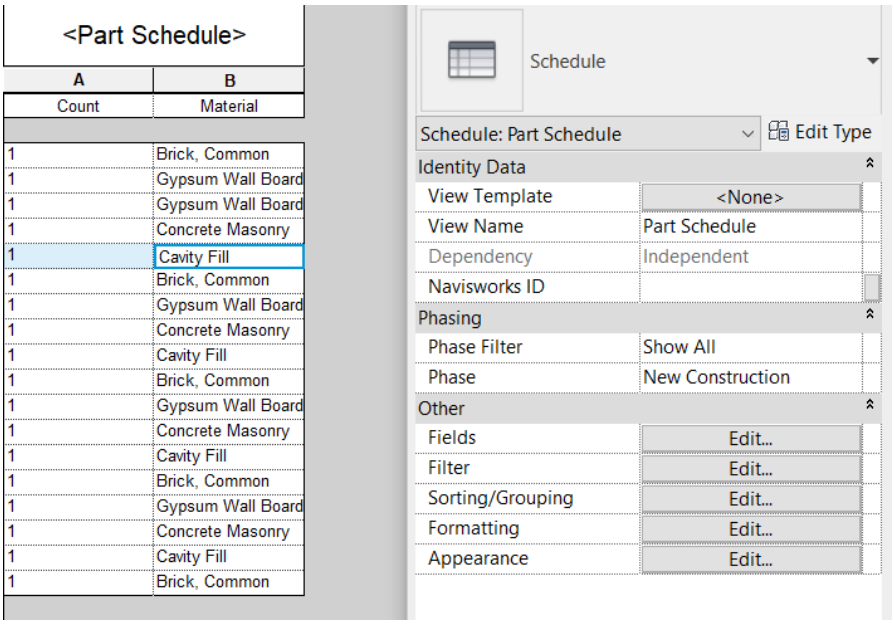


Figura 95 - Criar *Schedule* 3

Arrumar e agrupar a tabela, para o fazer abrir nas propriedades "*sorting/grouping*"

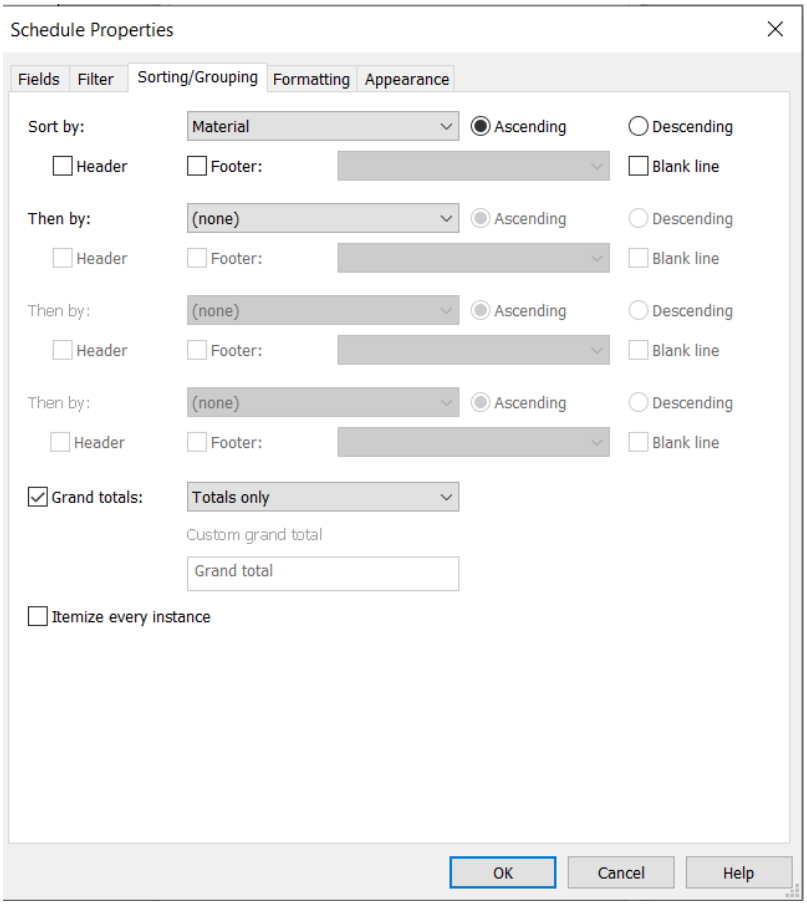


Figura 96 - Agrupar elementos *Schedule*

Neste caso foi arrumada por material e foi desativada a função de "*Itemize every instance*" (canto inferior esquerdo) para ficar com este aspeto:

<Part Schedule>

A	B
Count	Material
5	Brick, Common
4	Cavity Fill
4	Concrete Masonry
5	Gypsum Wall Board

Figura 97 - Aspeto final do *Schedule*

Selecionando um dos elementos da tabela também ficam selecionados todos os elementos do piso.

D) PARA GUARDAR O DOCUMENTO E AS PARTES SE TORNAREM VISÍVEIS

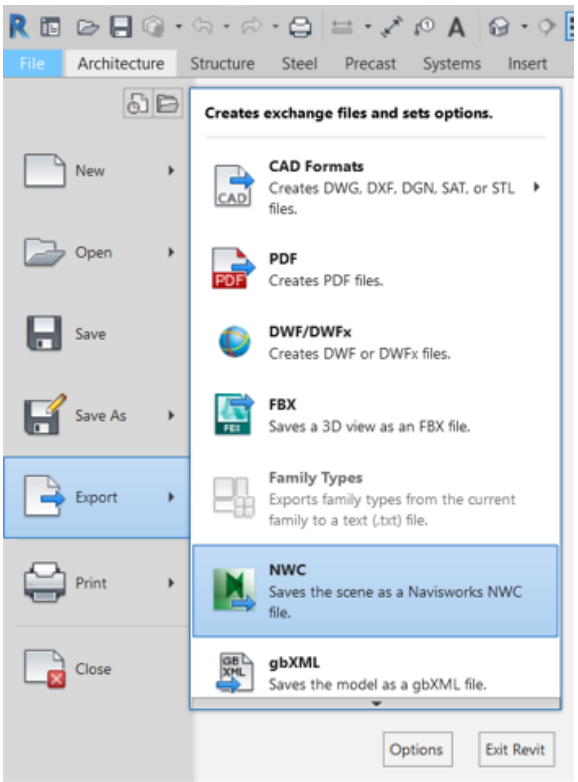


Figura 98 - Guardar documento para conversão em partes 1

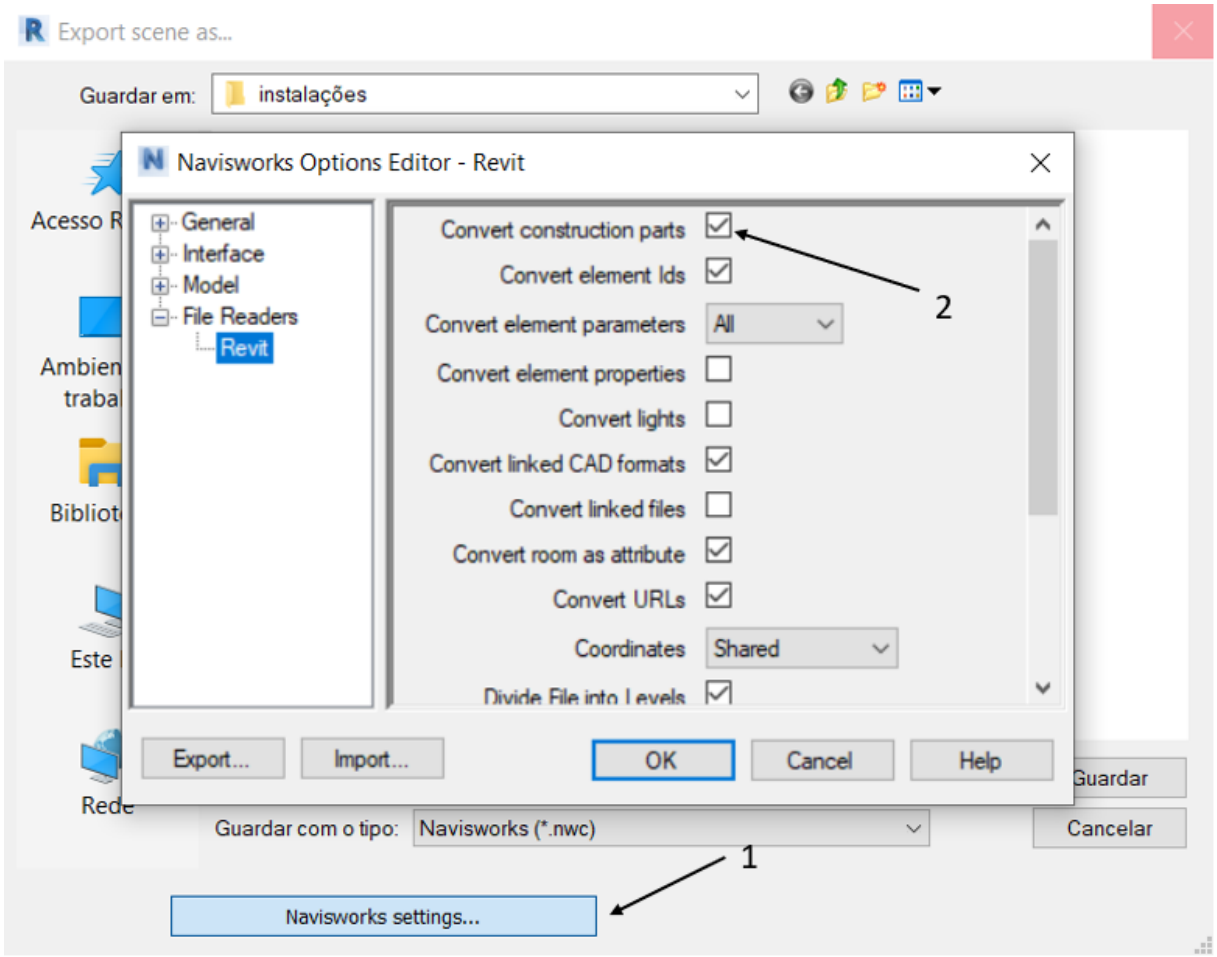


Figura 99 - Guardar documento para conversão em partes 2

II.3) GUIA PRÁTICO PARA CRIAR UM FILTRO NO MS PROJECT

A) APLICAR UM FILTRO

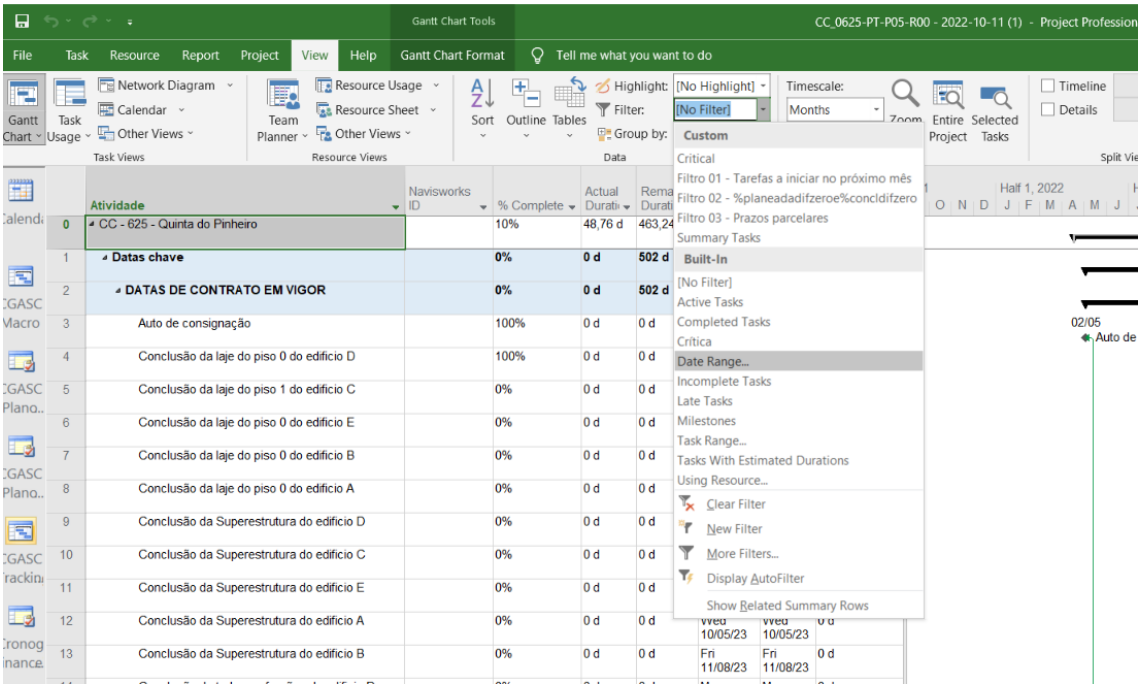


Figura 100 - Filtrar o Project 1

Colocar a data do último balizamento:

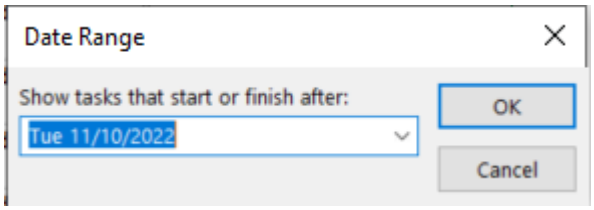


Figura 101 - Filtrar o Project 2

Colocar uma data futura próxima da data do dia em que se faz o balizamento:

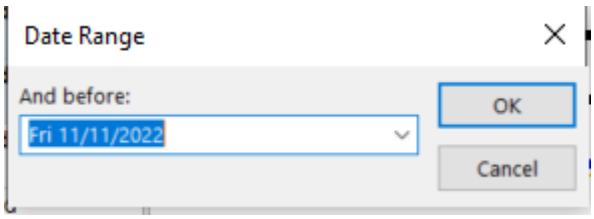


Figura 102 - Filtrar o Project 3

As tarefas reduzem significativamente

Para retirar o filtro basta clicar em *No Filter* em vez de *Data Range.*

II.4) GUIA PRÁTICO PARA ALTERAR A APARÊNCIA DO MODELO

A) ALTERAÇÕES DE APARÊNCIA EXEMPLO DE INSTALAÇÕES

Neste exemplo o objetivo é tornar mais visível as instalações do edifício:

a.1) Selecionar os elementos que queremos que tenham uma aparência diferente com criação de *sets*:

Neste caso foram selecionados vários modelos inteiros para a criação de um *set*:

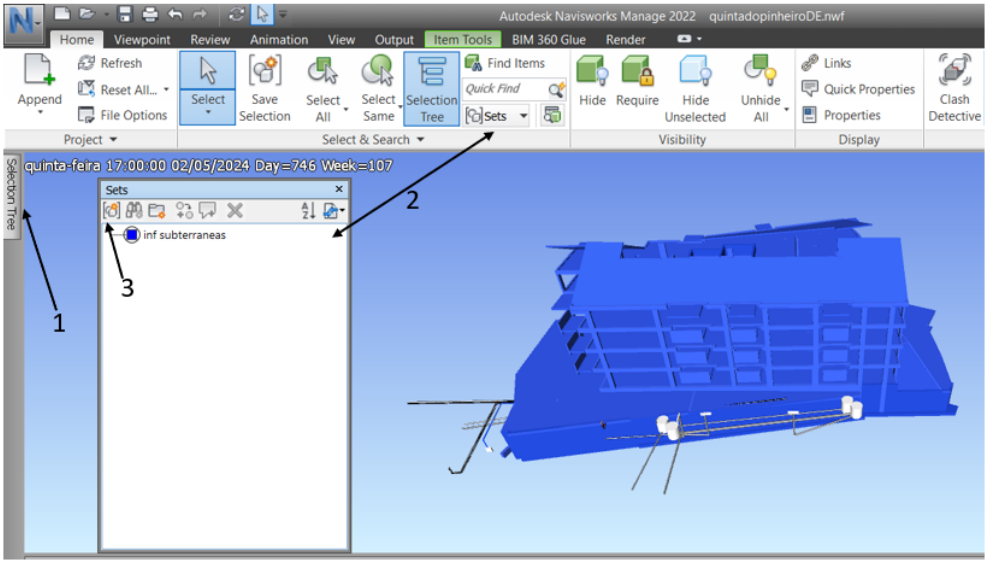


Figura 103 - Criação de Sets 1

No caso de se aplicar a uma tarefa em específico pode selecionar-se os elementos associados a uma tarefa com o *Navisworks ID*:

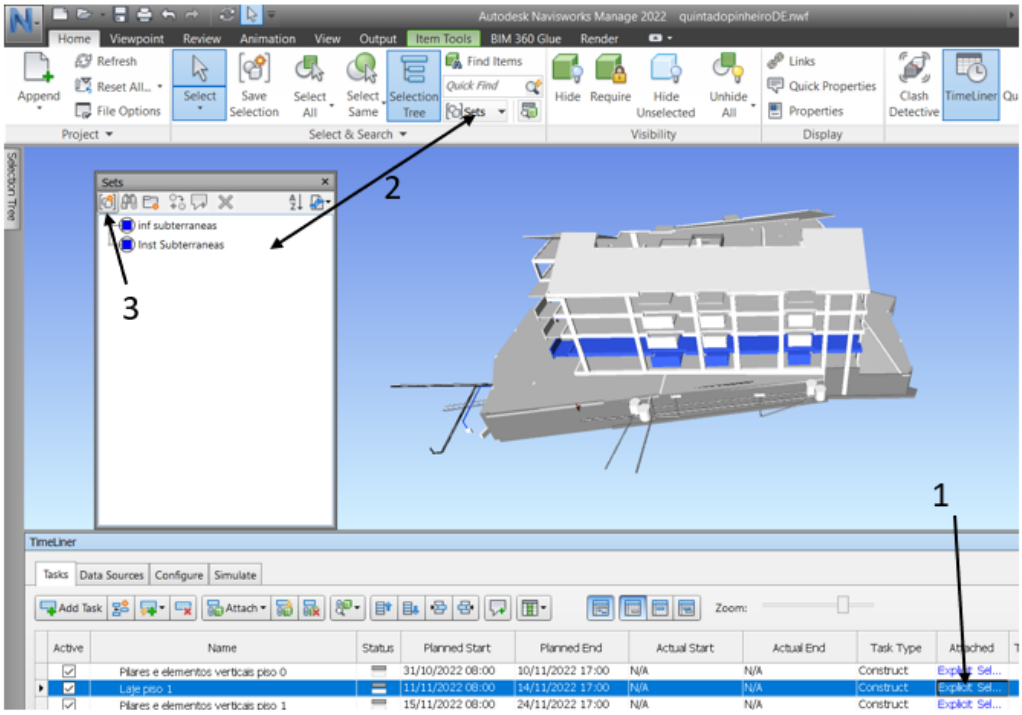


Figura 104 - Criação de Sets 2

Pode ainda selecionar-se um conjunto de elementos manualmente selecionando um a um, se estiver a premir a tecla *control*, pode selecionar vários elementos de uma vez.

Pode ainda esconder-se vários elementos e selecionar todos os elementos da vista (alterando *Select* para *Select Box*) os que não estão escondidos para a criação de um set.

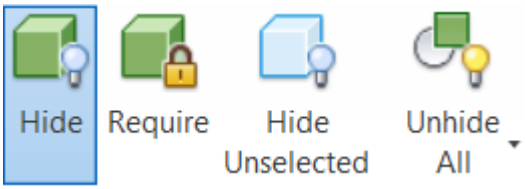


Figura 105 - Esconder elementos

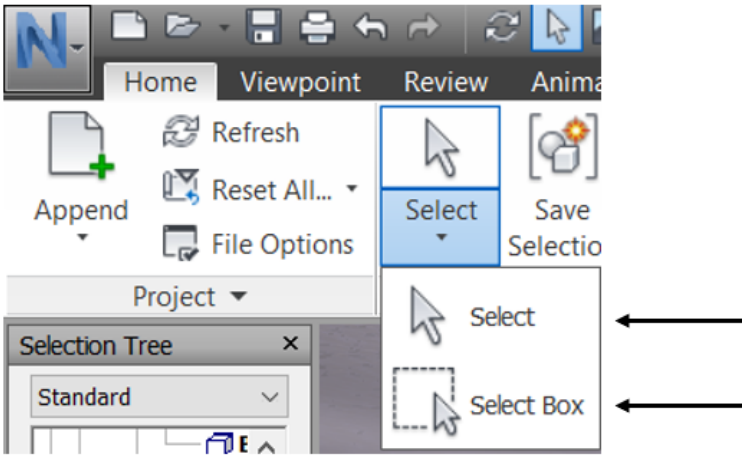


Figura 106 - *Selection tool*

Nota: caso do Modelo sofrer alterações (novos elementos) é preferível que a criação de *sets* seja feita a por pesquisa.

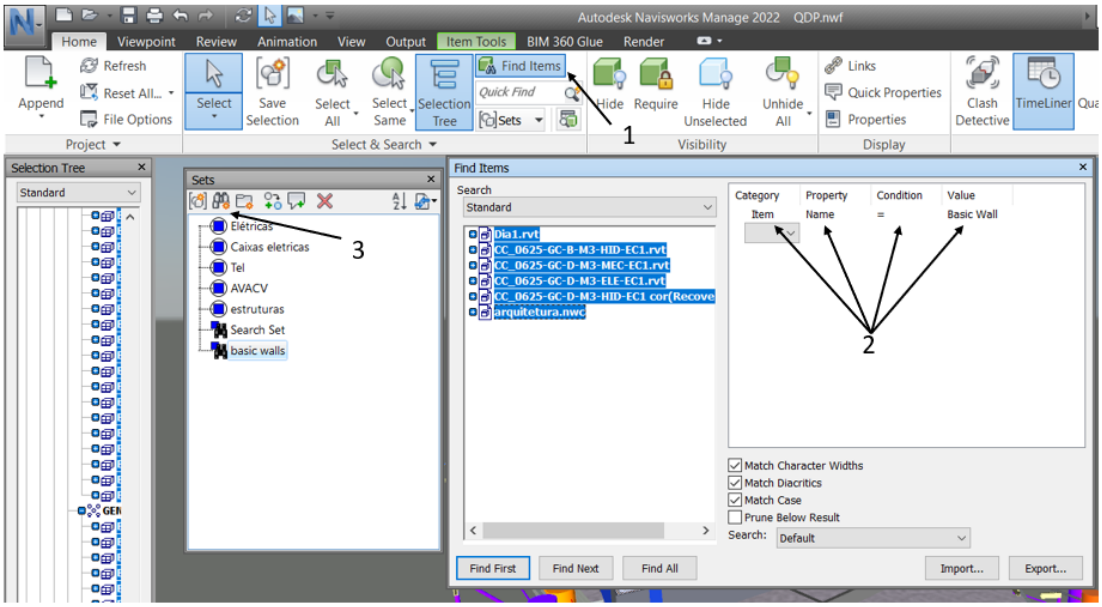


Figura 107 - Criação de *sets* por pesquisa

a.2) Abrir "*appearance profile*" e fazer as alterações desejadas

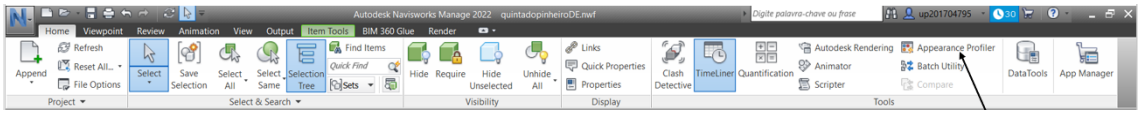


Figura 108 - *Appearance profiler*

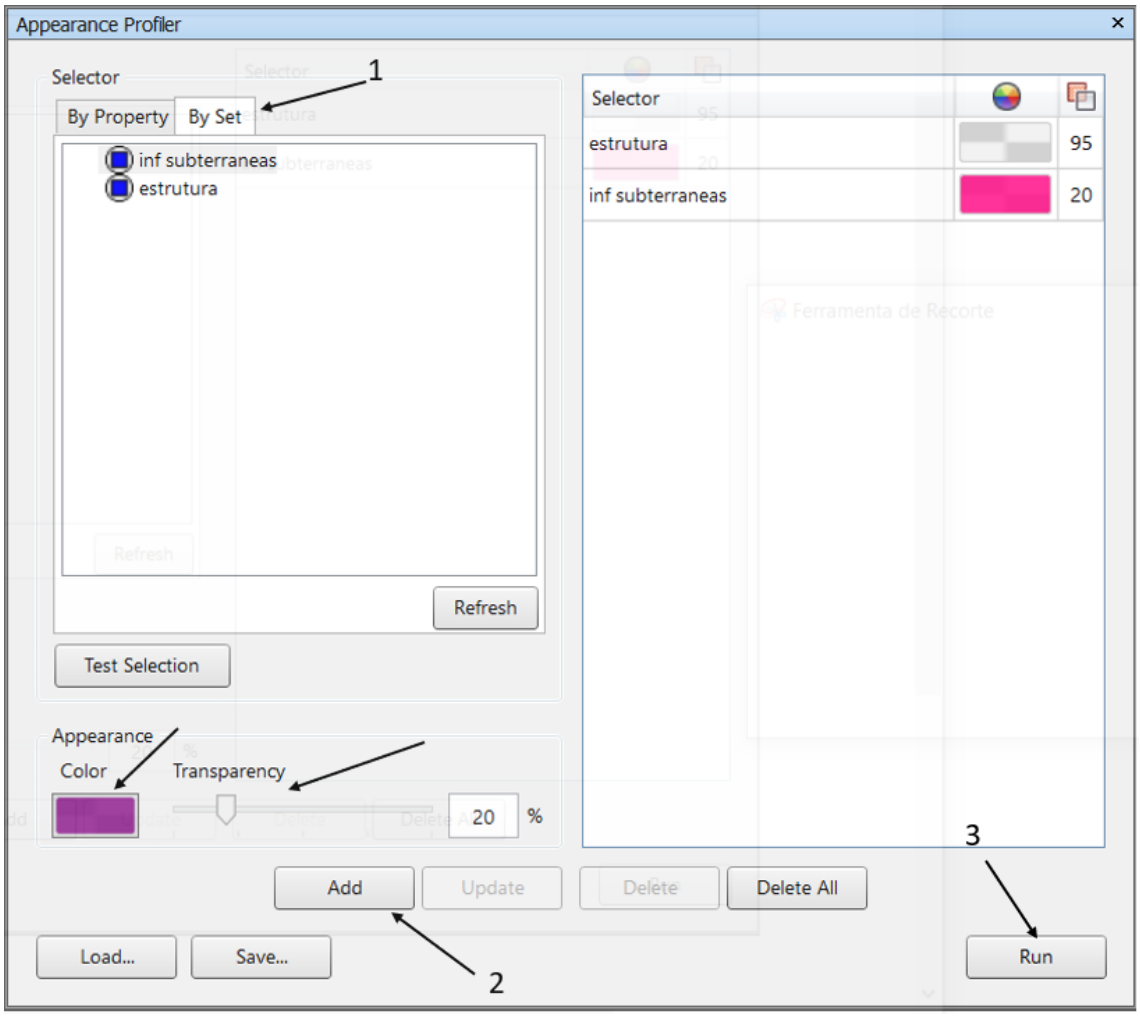


Figura 109 - Alterar a aparência

Com estas alterações já podemos obter uma diferença significativa:

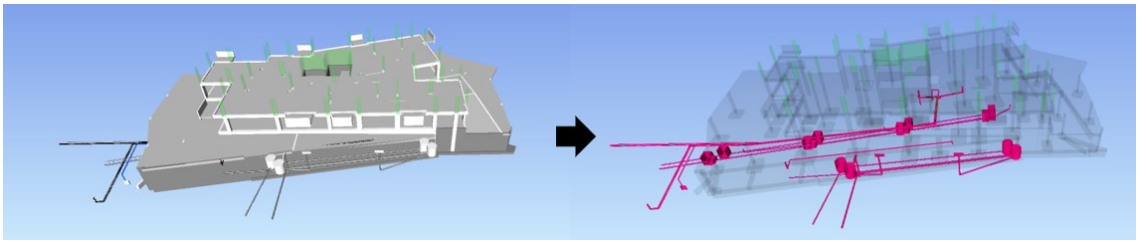


Figura 110 - Exemplo de alteração de aparência

Nota: não funciona se estiver em modo de renderização completa:

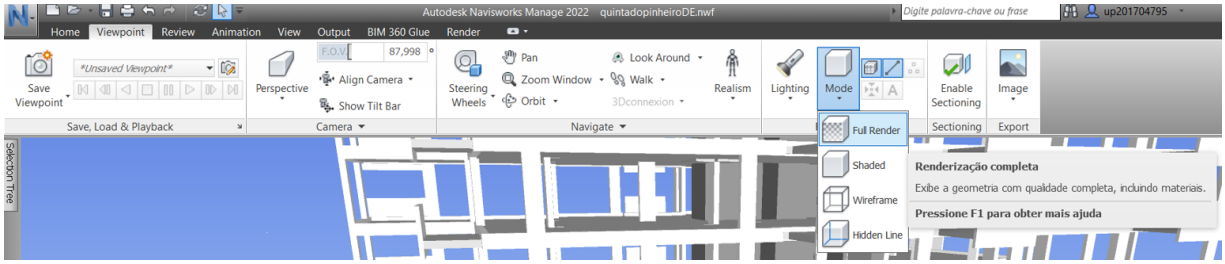


Figura 111 - Modos de Renderização

a.3) Voltar à aparência inicial:

Para voltar a obter a versão real do modelo basta:

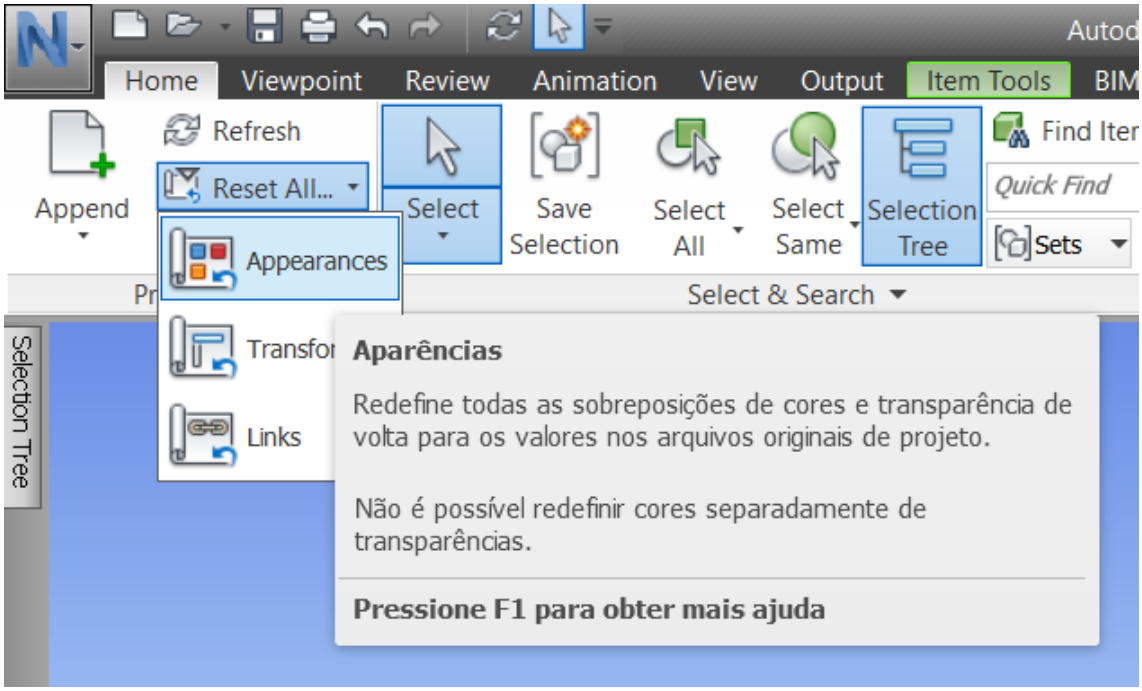


Figura 112 - Repor aparências

a.4) Há ainda a possibilidade de alterar as opções de visualização durante a construção da obra:

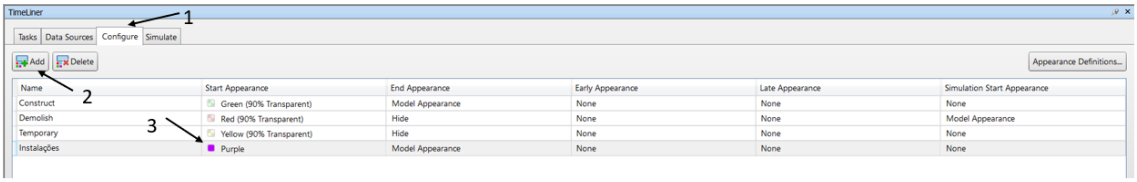


Figura 113 - Criação de *Task Type* 1

Criar um *task type*, com as mesmas configurações que *construct* (é o mesmo tipo de tarefa) apenas alterando o modo de visualização de verde transparente para outra cor.

Apenas alterar as tarefas correspondentes a instalações para o novo *task type.* (este passo deve ser feito diretamente no Project)

Fazer *refresh* às tarefas para obter este tipo de visualização (ver II.1.i))

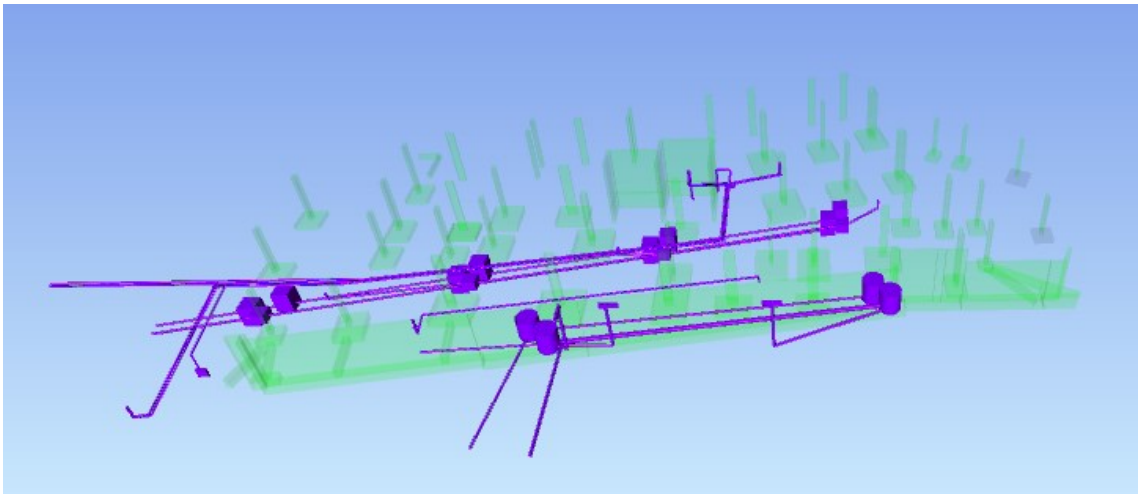


Figura 114 - Exemplo de aplicação

B) DESTAQUE DA EVOLUÇÃO DE UMA SEMANA DE TRABALHO

Supondo que quero alterar a aparência de um conjunto de elementos na *timeliner*, ex: ver a verde os elementos com construção na semana após a data do balizamento:

b.1) Criar uma nova *Task Type* no Navisworks

Ver II.4.a.4), chamar-lhe 01

Name	Start Appearance	End Appearance	Early Appearance	Late Appearance	Simulation Start Appearance
Construct	Green (90% Transparent)	Grey	None	None	None
Demolish	Red (90% Transparent)	Hide	None	None	Model Appearance
Temporary	Yellow (90% Transparent)	Hide	None	None	None
01	Green	Verde	None	None	None

Figura 115 - Criação de *Task Type* 2

Nota: esta *Task Type* têm as mesmas características de "*Construct"*. A *Task Type "Construct"* foi alterada para ter uma aparêcia final cinzenta. A nova terá uma cor diferente, neste caso, verde escuro e para efeitos de visualização, a transparência é 0.

b.2) Atribuir um novo *task type* no Project

No Project, criar um filtro (ver II.3.a)), com início no domingo (20/11/22) e fim no sábado da mesma semana (26/11/22). Este filtro vai selecionar todas as tarefas ativas na semana.

Alterar a coluna *Task Type*; todas as tarefas onde normalmente diria "*Construct*" passar para "01".

Guardar o documento

b.3) No Navisworks Fazer *Refresh* ao projeto

Ver II.1.i)

Isto vai resultar num conjunto de tarefas que vão ficar com uma cor verde-escura assim que terminarem e que, durante o período de construção, são representadas a verde claro:

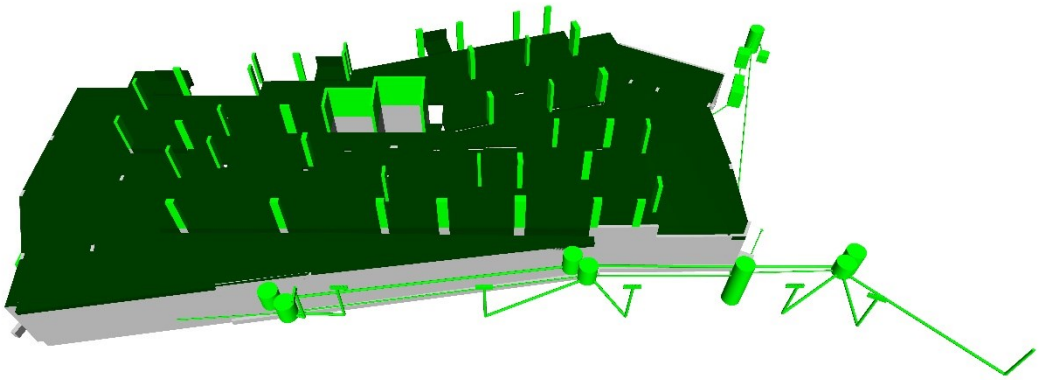


Figura 116 - Imagem exemplo de um destaque semanal

Para o efeito pretendido, retira-se a imagem do último dia da semana.

II.5) Guia prático para Alteração do Material dos Tubos no Revit

A) Editar as propriedades de um tubo

O Navisworks exporta as cores reais do modelo, sendo assim fazem-se alterações ao modelo para que a cor real do material siga um determinado código de cores.

Começa por se selecionar um tubo e abrir o "*Edit Type*" nas propriedades

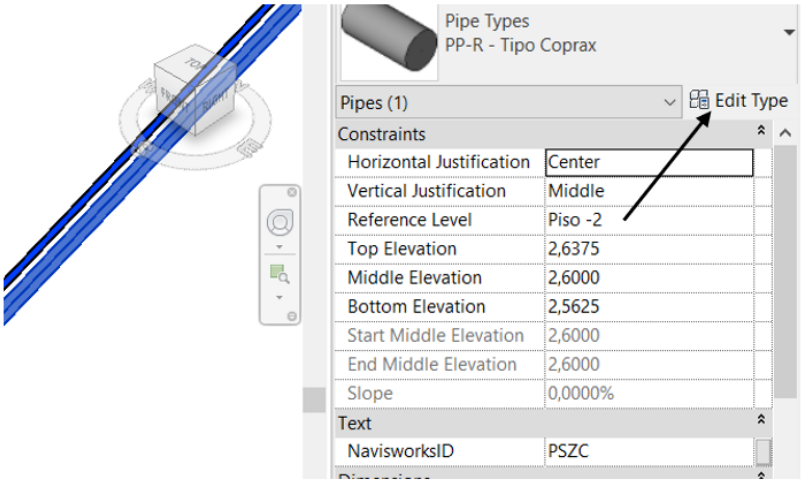


Figura 117 - Editar propriedades de um tubo no Revit 1

Duplicar o tipo de material (este paço não é necessário, é uma boa prática para não alterar elementos indesejados), atribuir um novo nome e clicar em "*Edit*" das "*Routing preferences*".

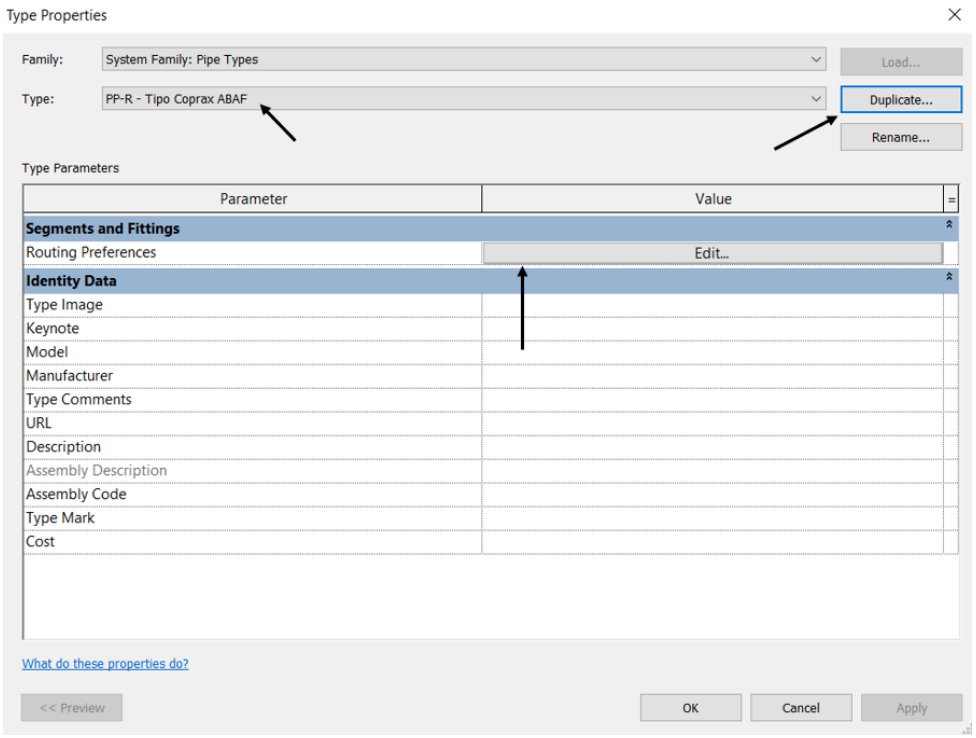


Figura 118 - Editar propriedades de um tubo no Revit 2

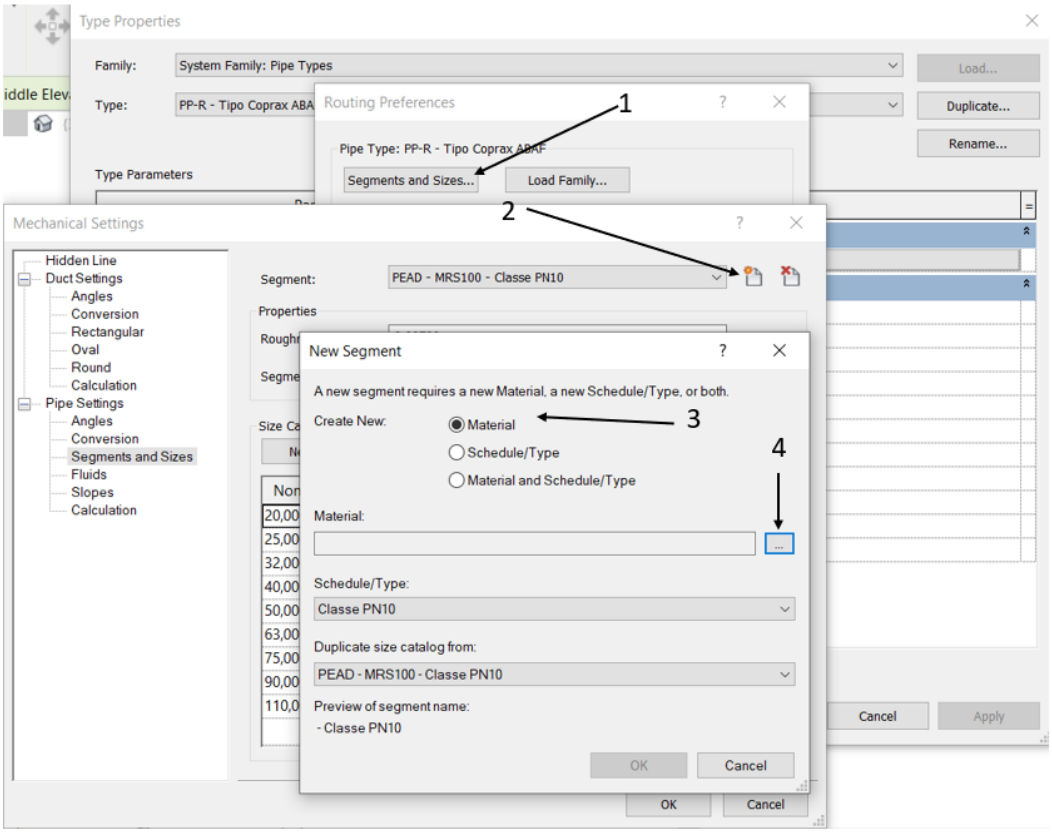


Figura 119 - Editar propriedades de um tubo no Revit 3

a.1) Criar um novo material

É mais fácil duplicar e editar um material já existente do que criar um totalmente novo:

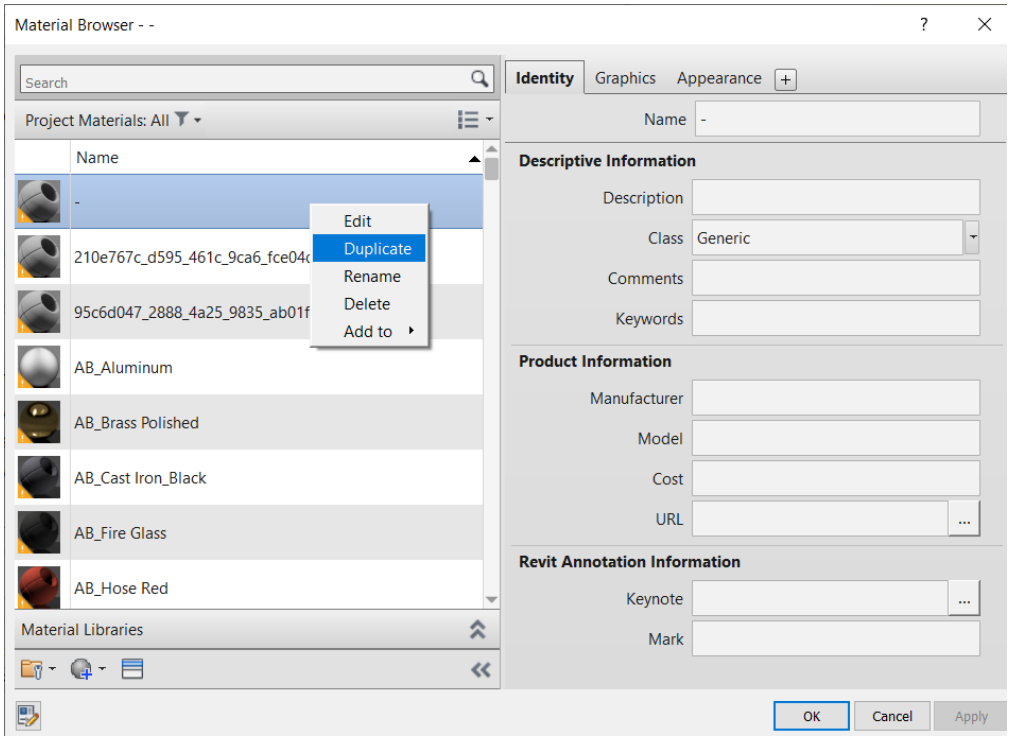


Figura 120 - Criar material no Revit 1

Em "*Identity*", dar um nome para o identificar facilmente

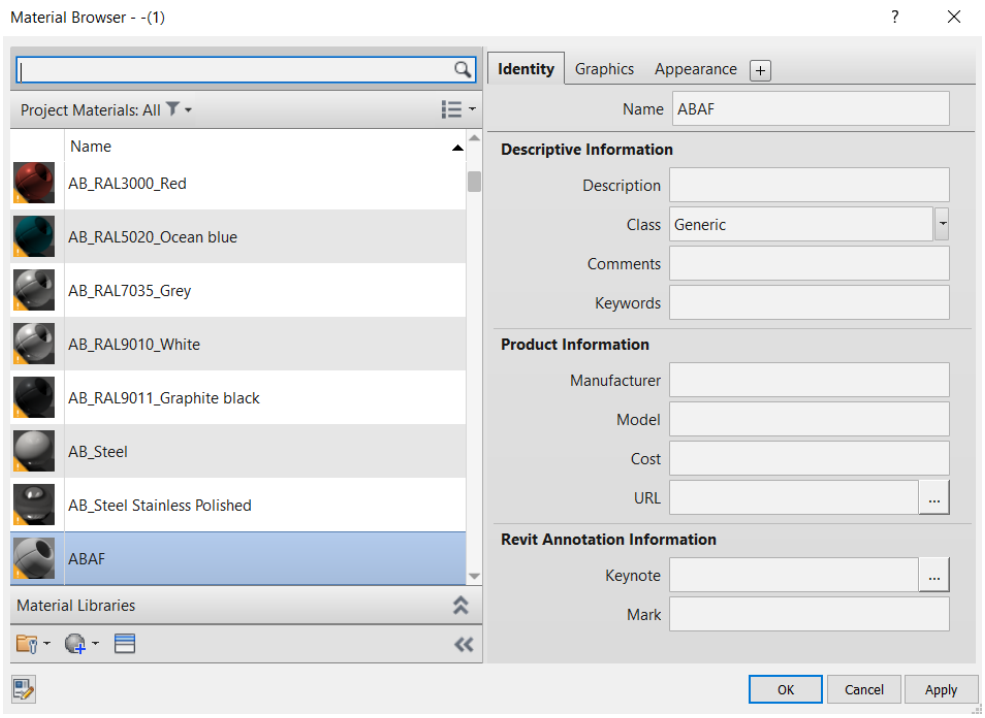


Figura 121 - Criar material no Revit 2

Pode criar-se uma cor como aponta a 3ª seta:

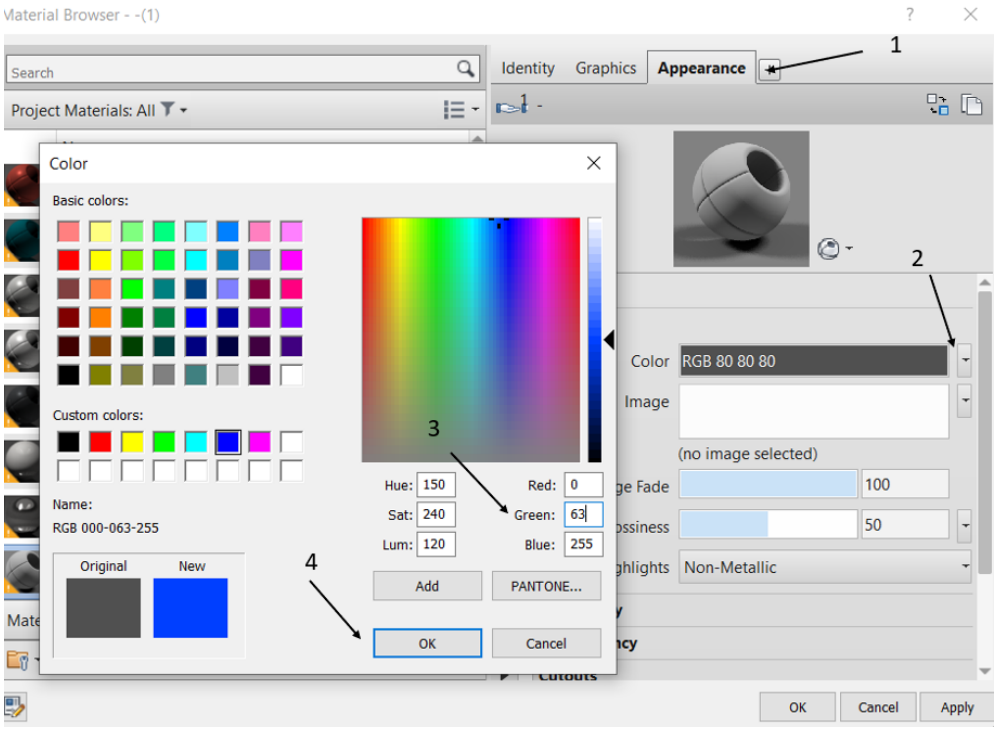


Figura 122 - Criar material no Revit 3

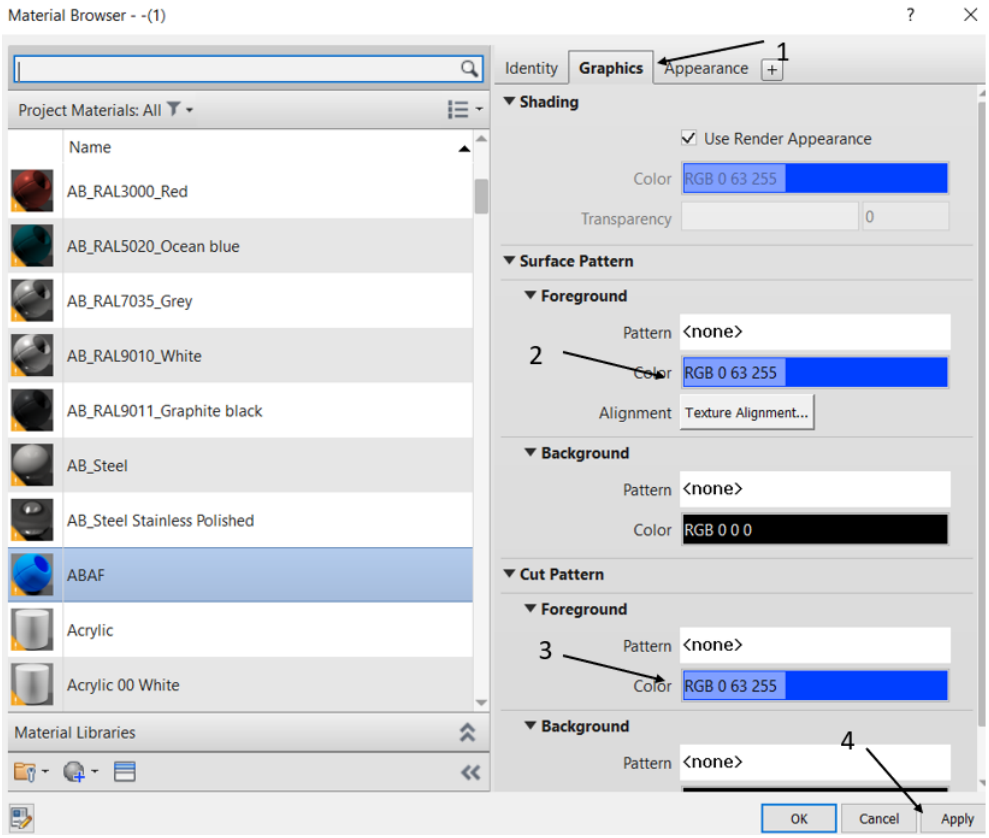


Figura 123 - Criar material no Revit 4

Verificar que em "*Segment*" aparece o nome do material criado e que estão listados TODOS os diâmetros dos tubos aos quais vamos atribuir este novo material

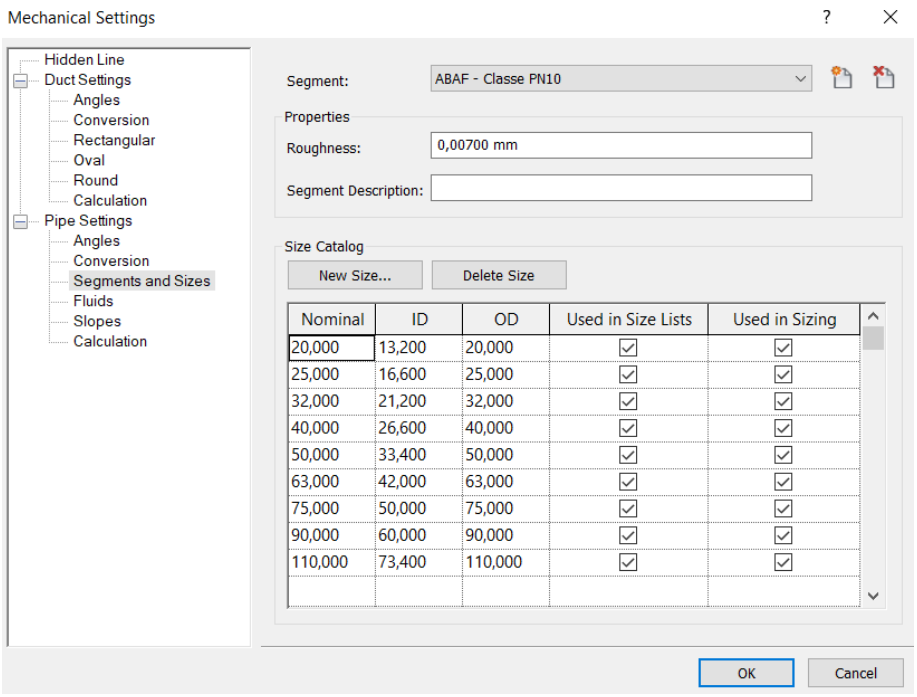


Figura 124 - Criar material no Revit 5

Alterar "*Pipe Segment*" para corresponder ao novo material

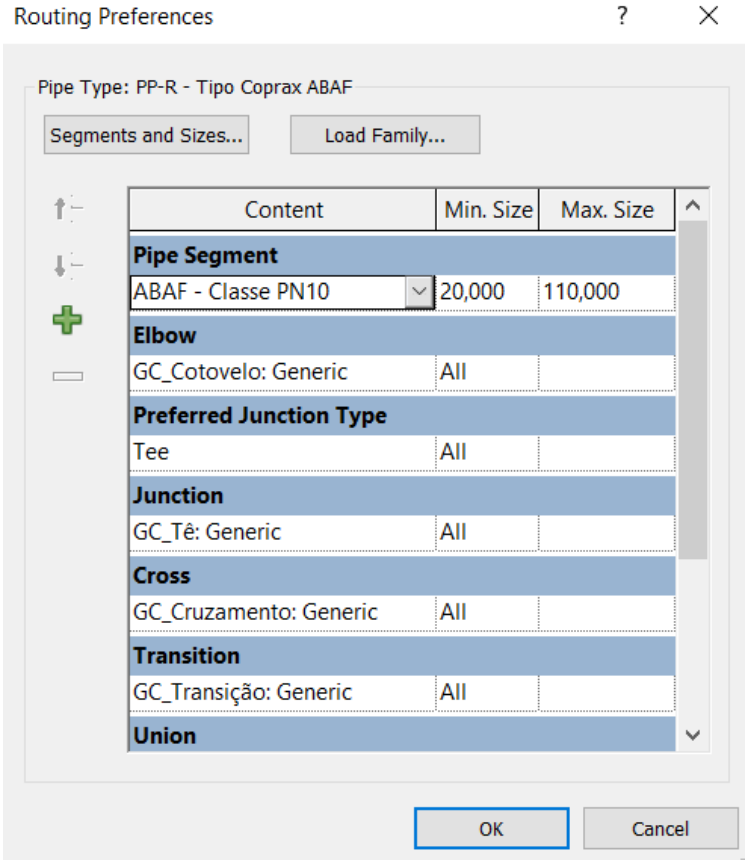


Figura 125 - Editar propriedades de um tubo no Revit 4

B) ATRIBUIR ESTE NOVO MATERIAL AOS TUBOS PRETENDIDOS

b.1) Isolar os elementos pretendidos em *DiRoots*

Isolar os tubos pretendidos na vista desta vez com o *DiRoots* (plug-in, necessária a instalação) em alternativa ao passo presente neste anexo: II.1.E). Basta abrir o Plug-in, abrir o "*One Filter*", selecionar os vários elementos que queremos isolar e clicar em "*Isolate Selection*"

9

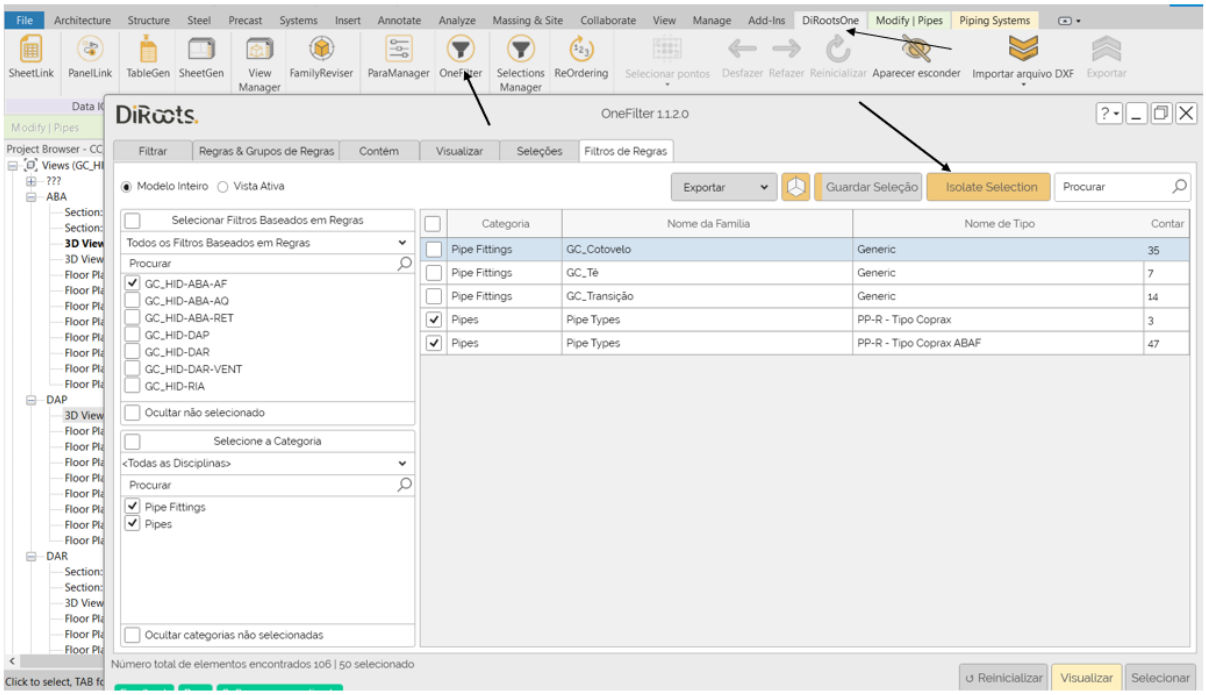


Figura 126 - Filtrar com *DiRoots*

b.2) Alterar o material nas propriedades

Basta selecionar todos os elementos do ecrã e escolher o tubo criado anteriormente

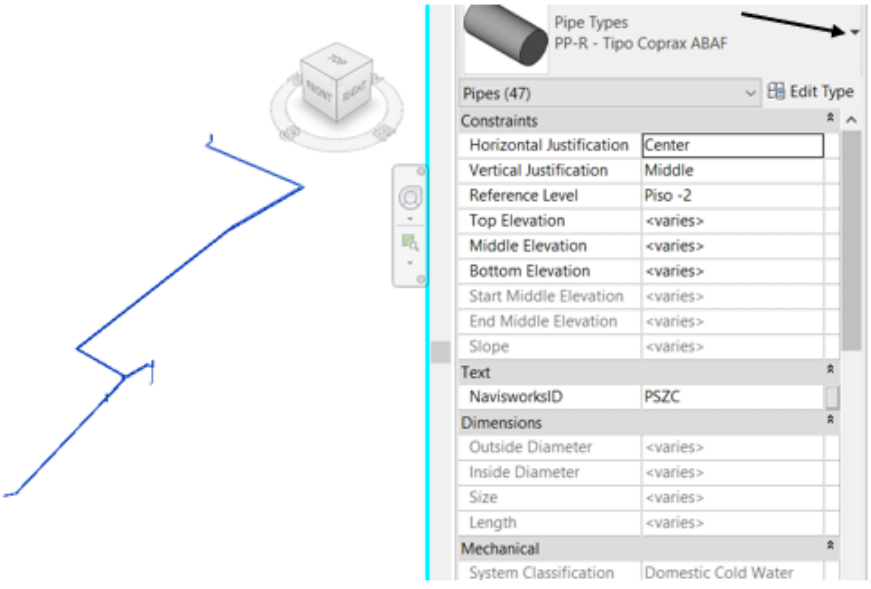


Figura 127 - Editar propriedades de um tubo no Revit 5

C) ALTERAR O MATERIAL DAS OUTRAS PEÇAS DAS INSTALAÇÕES

Isolar os elementos como descrito no passo anterior, selecionar todos e editar as propriedades do material:

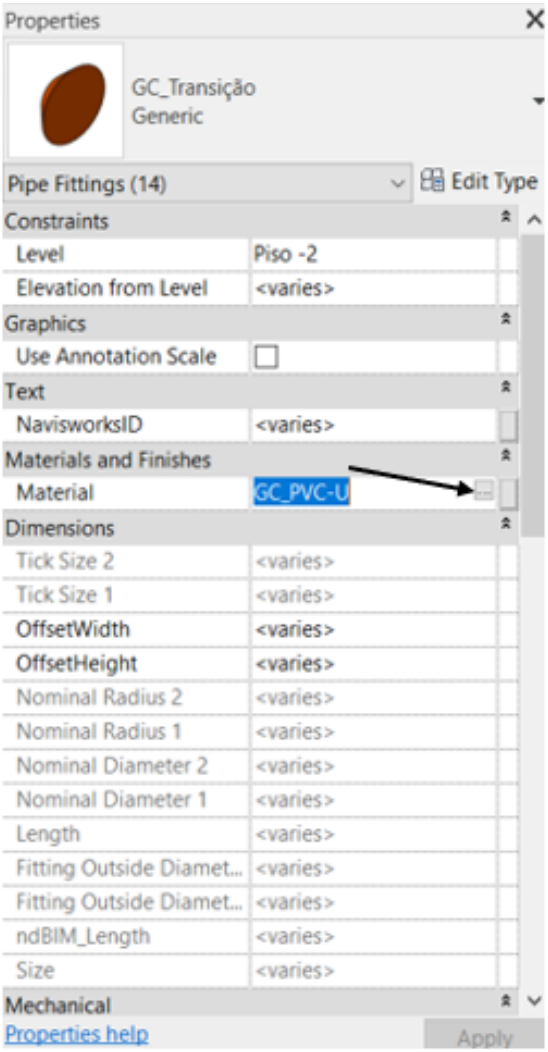


Figura 128 - Editar propriedades de peças no Revit 1

Procurar o material anteriormente criado do lado esquerdo do ecrã e clicar em “OK”

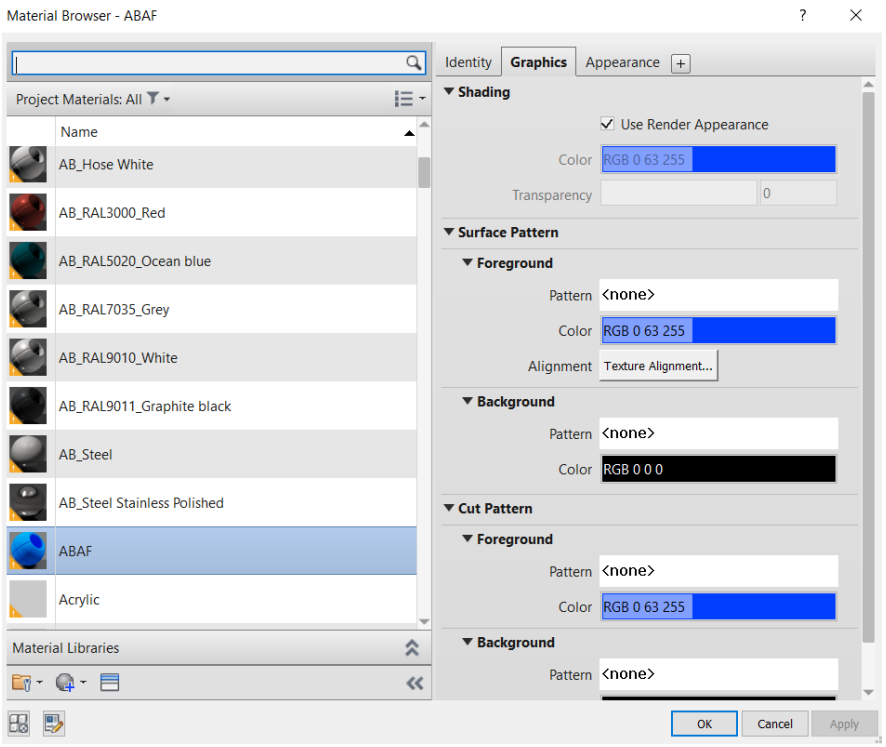


Figura 129 - Editar propriedades de peças no Revit 2

Estas alterações podem ser feitas diretamente no Navisworks (ver II.4.a.2)

II.6) GUIA PRÁTICO PARA CRIAÇÃO DE CORTES NO NAVISWORKS

A) ABRIR A "*SECTIONING TOOLS*"

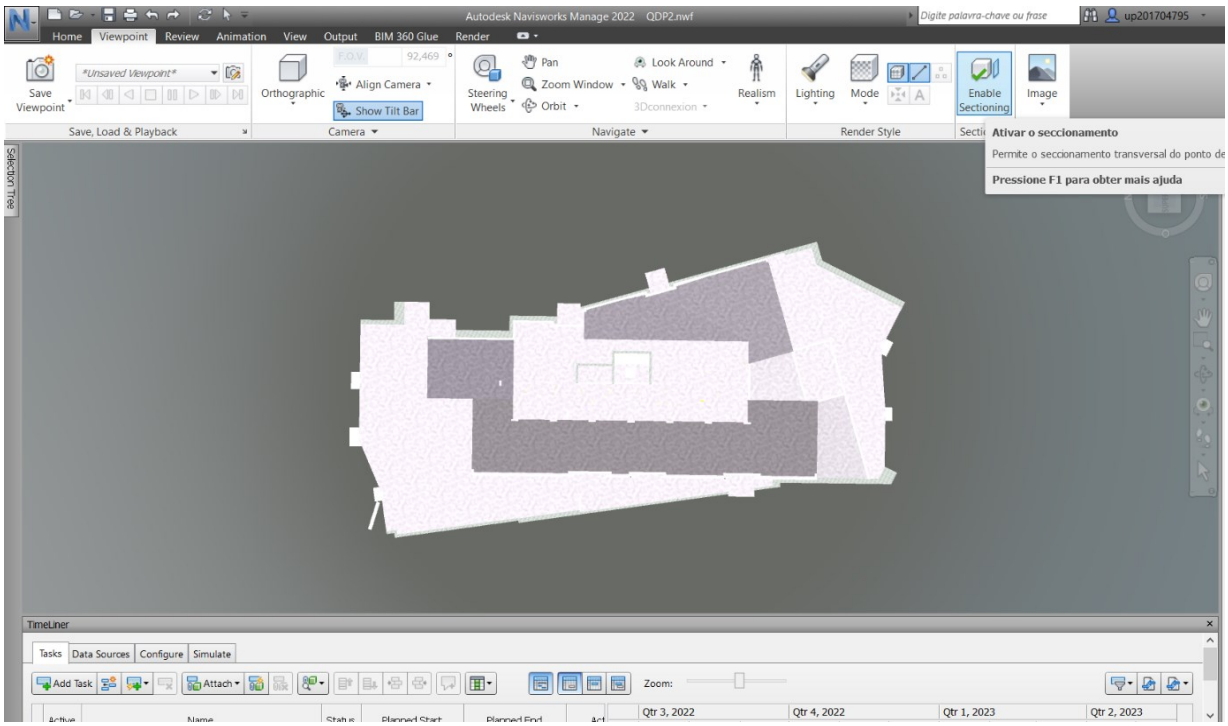


Figura 130 - Abrir *Sectioning Tools*

B) ALINHAR VISTA E CRIAR CORTE

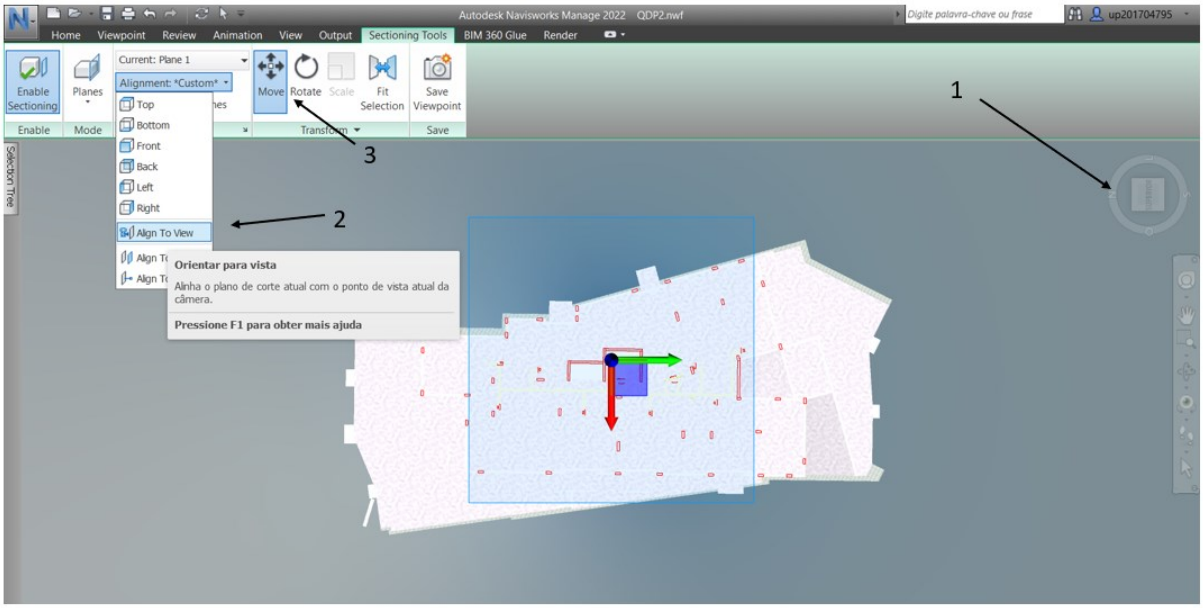


Figura 131 - Alinhar vista

É necessário alinhar a vista à pretendida para depois se poder criar os planos alinhados à vista. A ferramenta "*Move*" permite alteração da posição do plano.

C) RETIRAR AS LINHAS VERMELHAS DO CORTE

As linhas vermelhas causam ruído visual desnecessário, podem ser rapidamente retiradas:

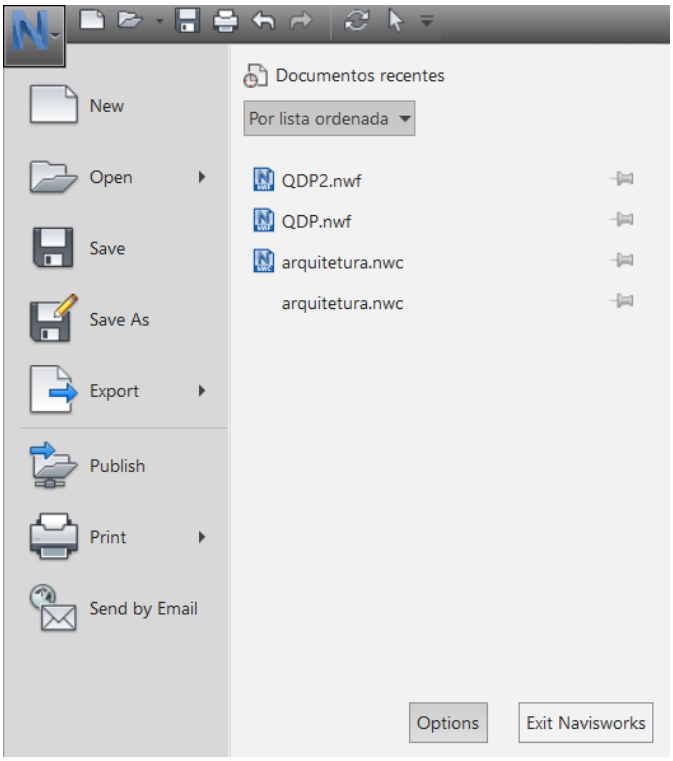


Figura 132 - Editar definições de corte 1

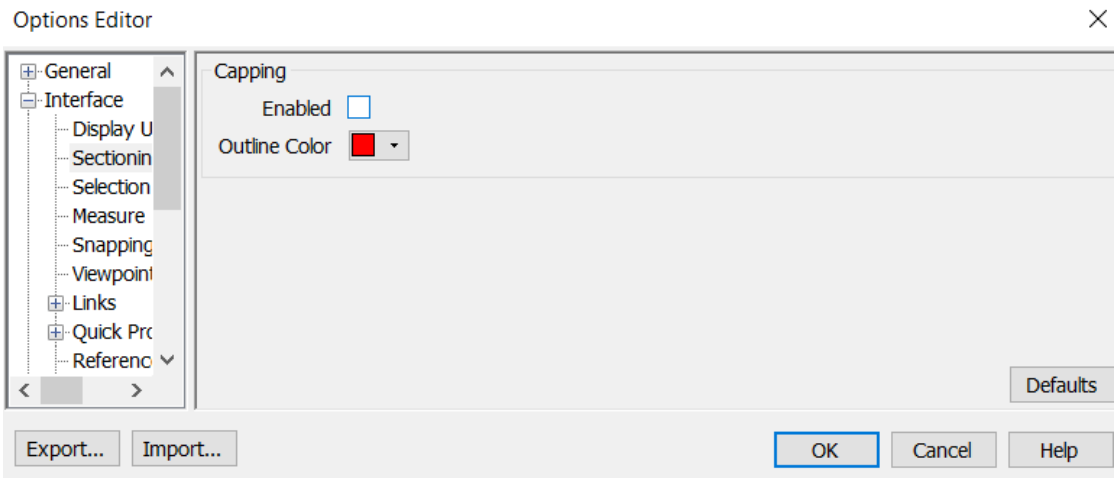


Figura 133 - Editar definições de corte 2 (linha vermelha)

II.7) GUIA PRÁTICO PARA ADAPTAÇÃO DO MODELO PARA ADMINISTRAÇÃO

Criar duas colunas no Project com as datas administrativas

Nota: só necessário quando a tarefa está associada a um Navisworks ID

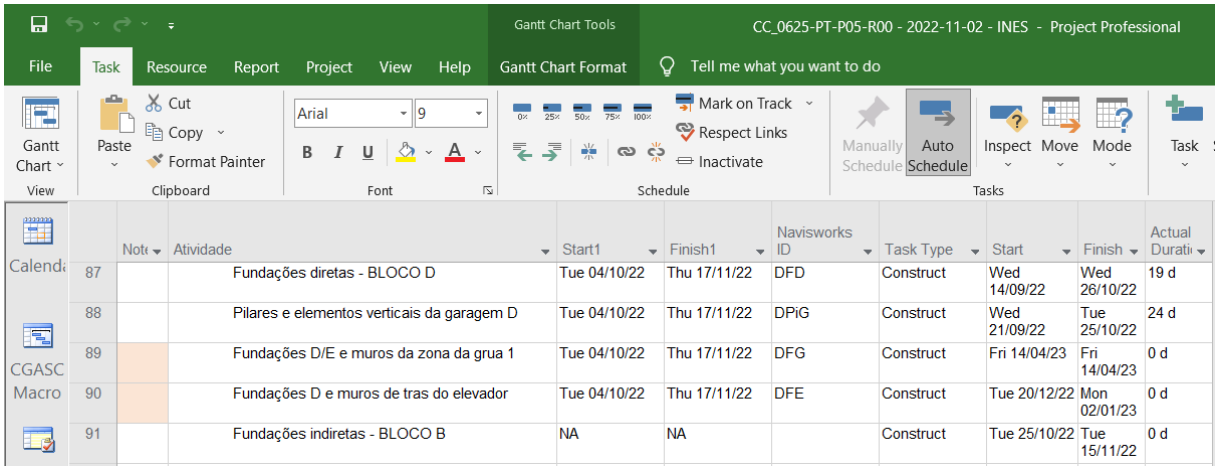


Figura 134 - Criar colunas do tipo início e fim

Editar a *Data Source* do Navisworks para corresponder às novas datas

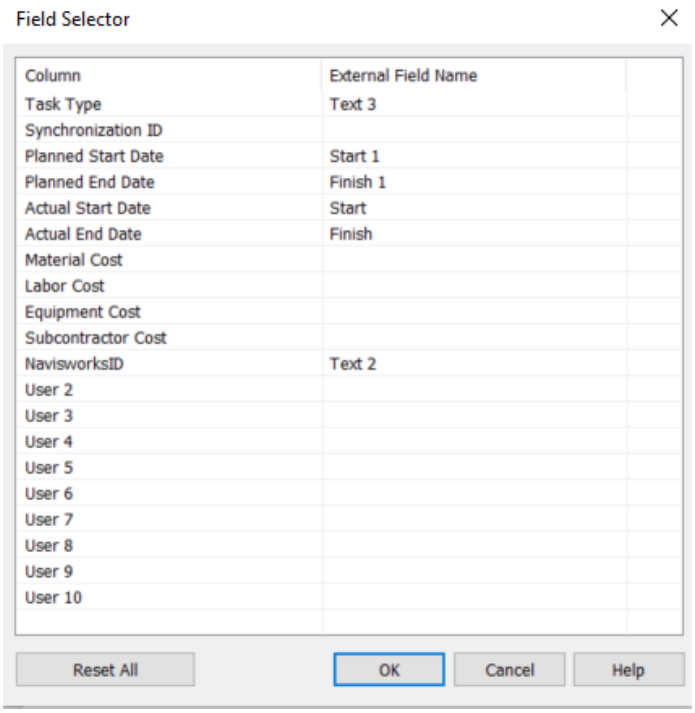


Figura 135 - Associação de parâmetros comuns no Navisworks

Mudar os *Simulation Settings* para obter as datas previstas (contratuais) ou reais

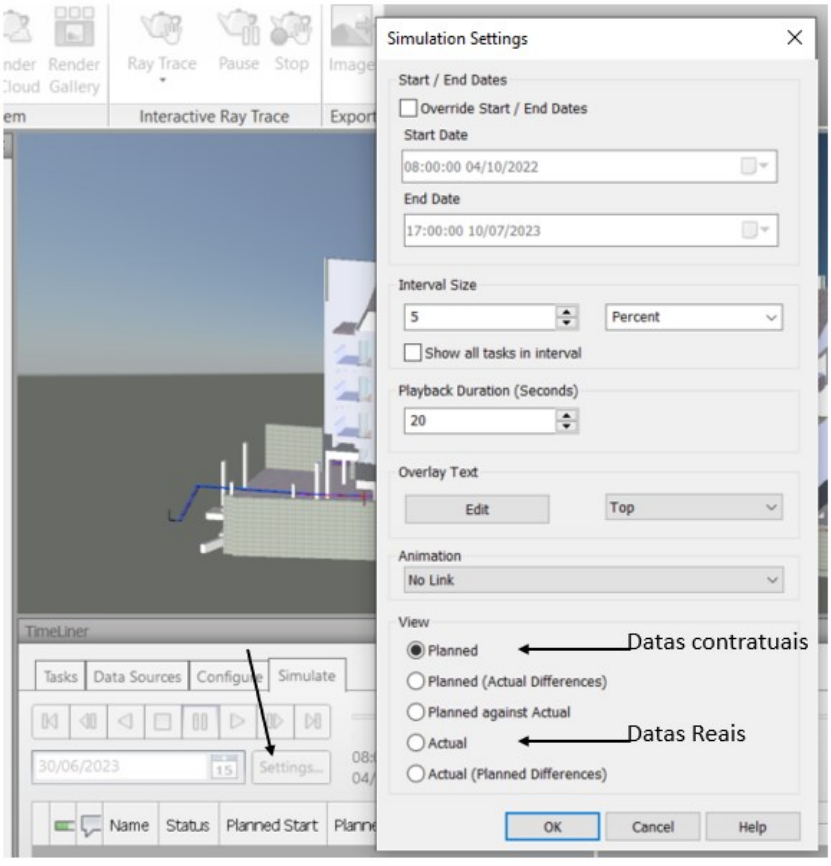


Figura 136 - Simulation settings

II.8) GUIA PRÁTICO PARA EXPORTAR UMA IMAGEM DE UM CORTE COM BOA QUALIDADE NO NAVISWORKS

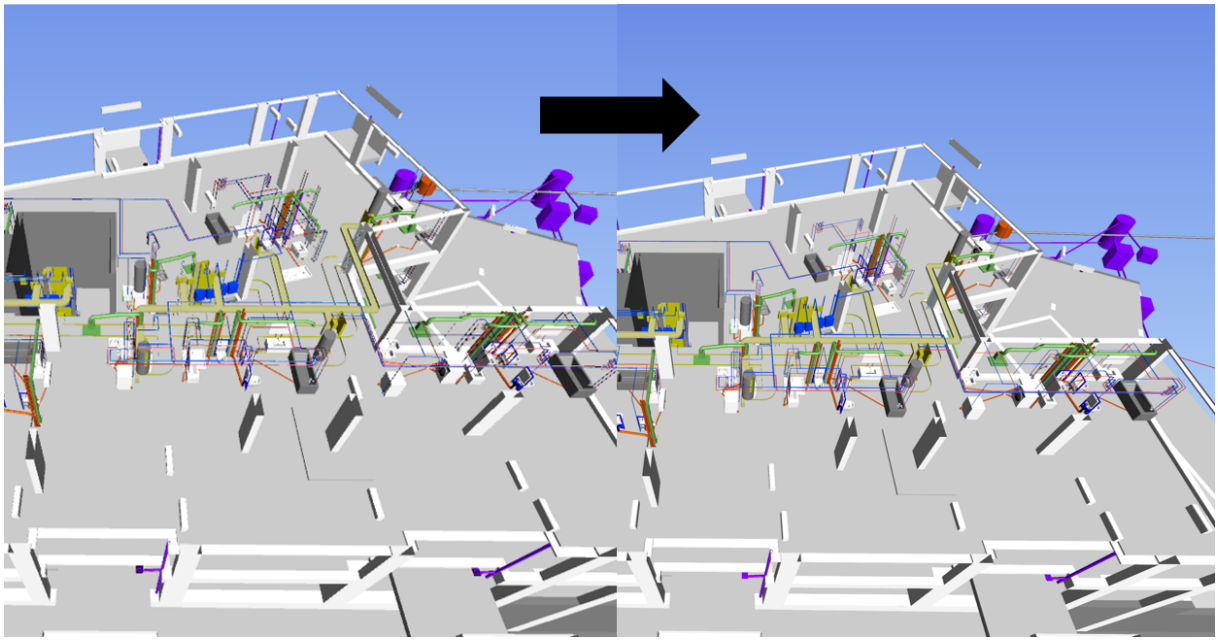


Figura 137 - Exportar imagem (exemplo)

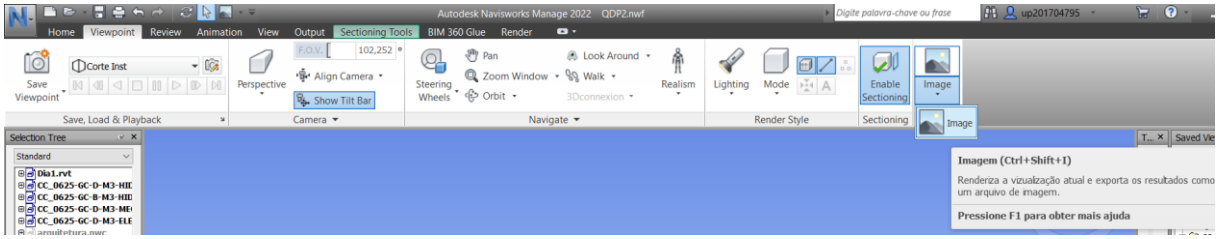


Figura 138 - Exportar imagem 1

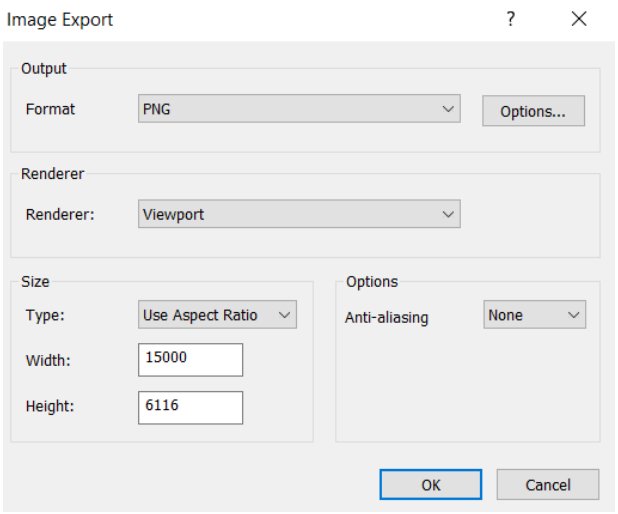


Figura 139 - Exportar imagem 2

Basta aumentar o tamanho da imagem.

II.9) GUIA PRÁTICO PARA FAZER UMA ANIMAÇÃO

O Navisworks oferece duas opções para fazer um vídeo:

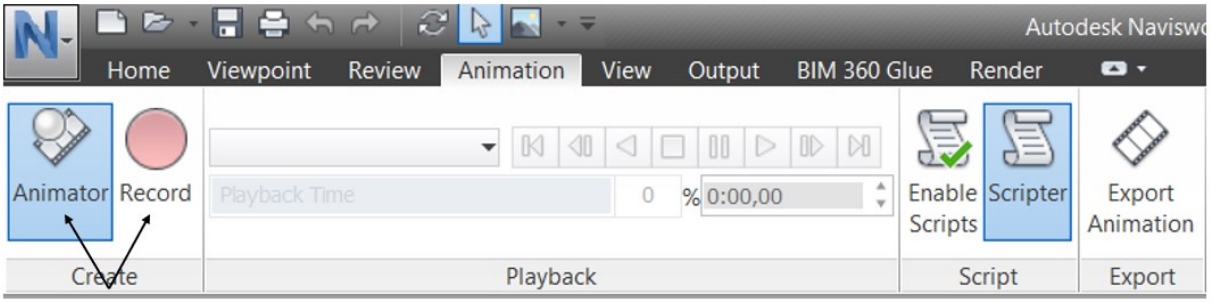


Figura 140 - Opções de animação

O *animator* embora mais trabalhoso, permite um maior controlo de imagem e maior facilidade de edição

A) ABRIR O *ANIMATOR*, ADICIONAR CENA E UMA CÂMARA



Figura 141 - Animação com câmara 1

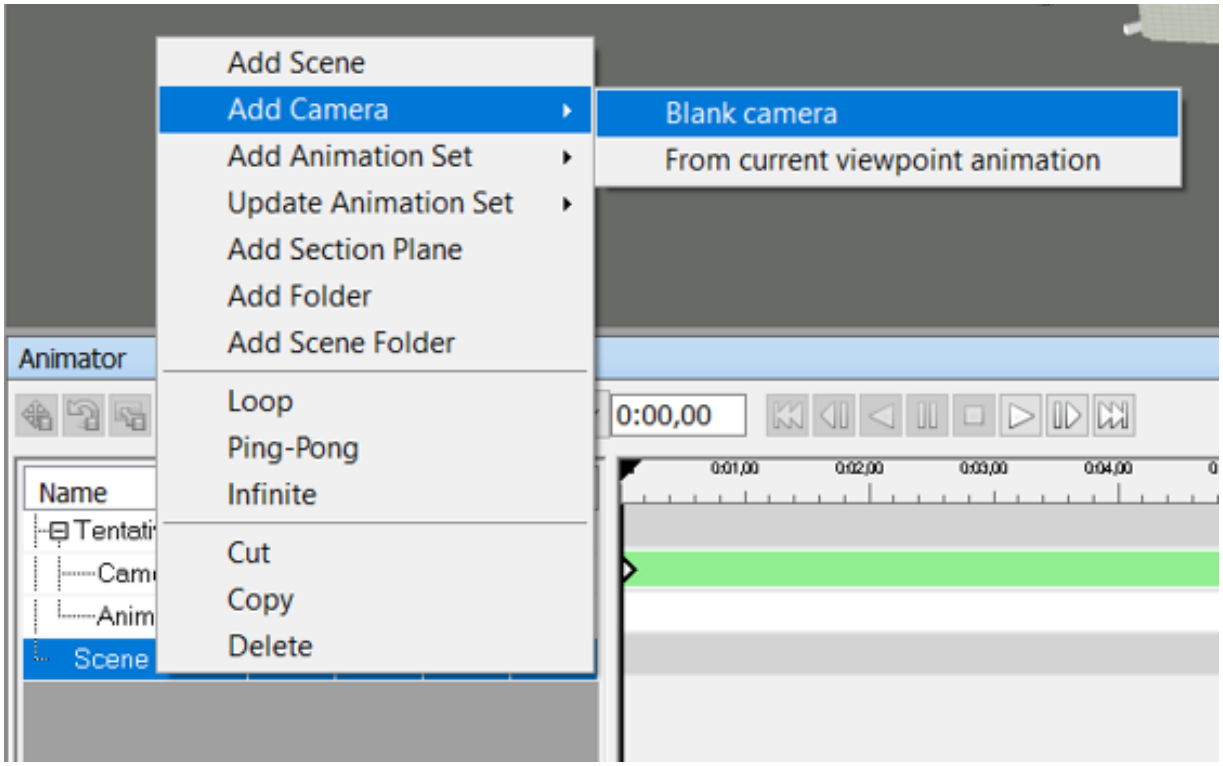


Figura 142 - Animação com câmara 2

B) ANDAR PELOS PONTOS DO MODELO NOS QUAIS QUEREMOS QUE PASSE A ANIMAÇÃO E GRAVAR NOS SEGUNDOS PRETENDIDOS:

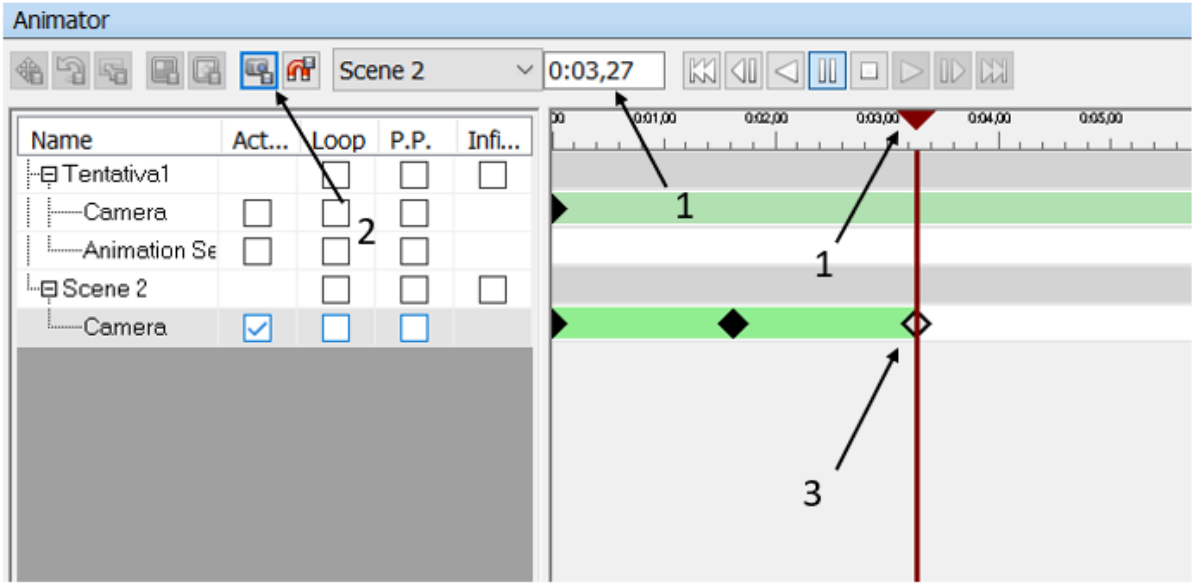


Figura 143 - Animação com câmara 3

1- Controlar o momento arrastando a seta vermelha ou escrevendo
2- Mover imagem para onde pretender e *Capture Keyframe*
3- Aparece uma *Keyframe*
4- Repetir quantas vezes desejadas

É possível alterar o momento das *Keyframe* clicando e arrastando ou alterar o local clicando na *Keyframe*, alterando o local e clicando novamente em *Capture Keyframe*.

Nota, aconselha-se que no interior se utilize o modo de navegação *walk*:

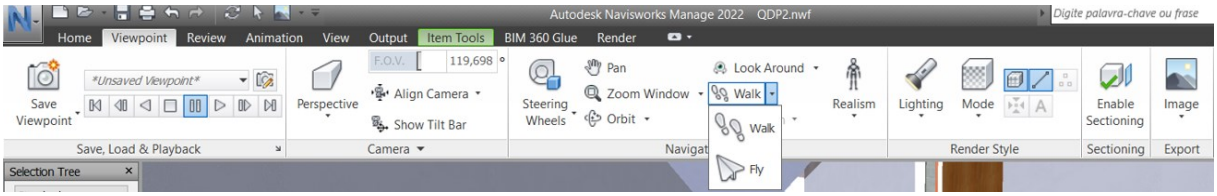


Figura 144 - Modos de navegação pelo modelo

C) ANIMAR OBJETOS

Selecionar o objeto a animar, adicionar uma animação:

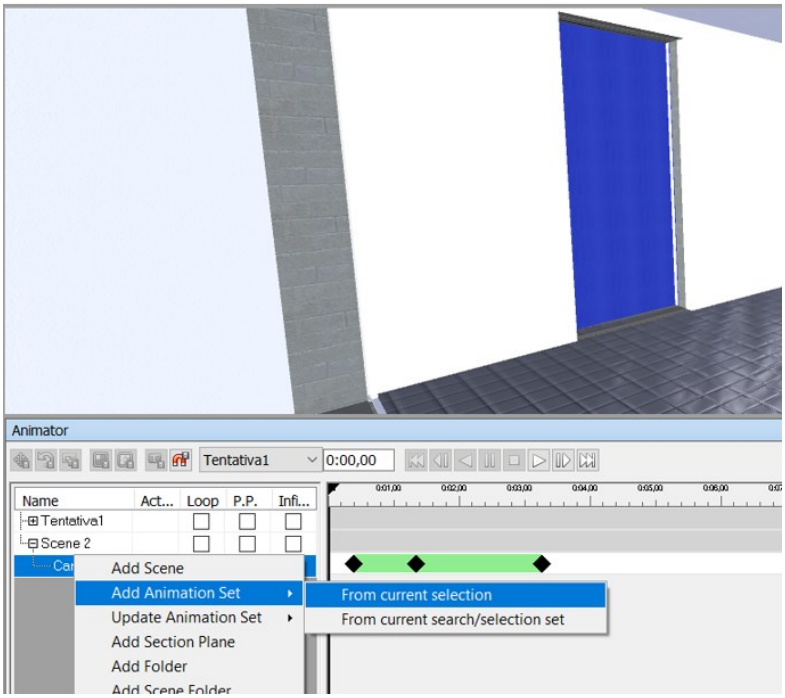


Figura 145 - Animar objeto 1

Clicar em *Rotate animation set*, é possível mover o pivot do objeto, basta clicar e arrastar

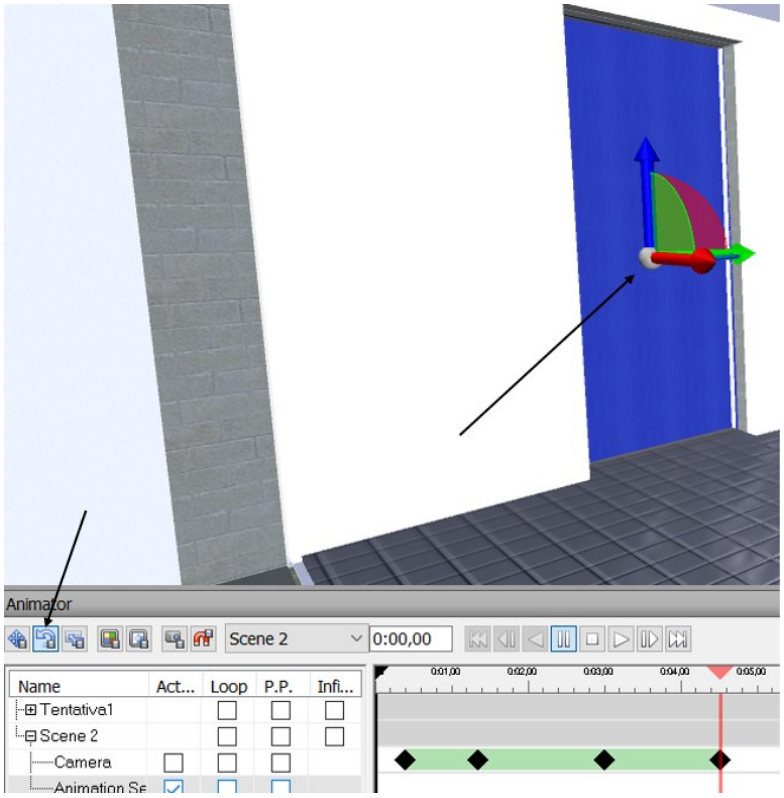


Figura 146 - Animar objeto 2

Capture Keyframe

É possível criar este tipo de animações ligadas à proximidade a que se está quando se anda pelo modelo, no caso do vídeo, não é necessário automatizá-las.



Figura 147 - Animar objeto 3

Selecionar a direção pretendida e arrastar

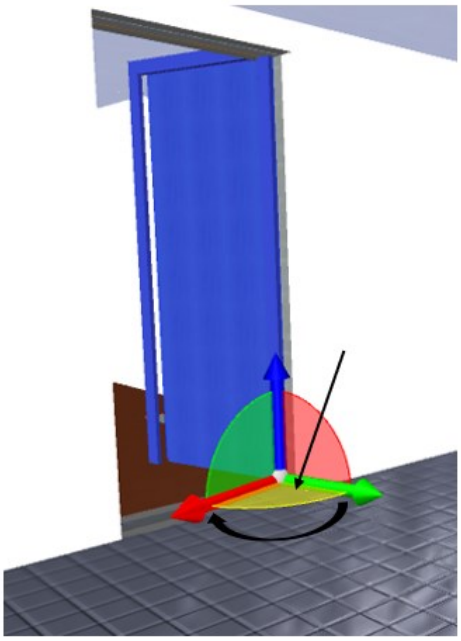


Figura 148 - Animar objeto 4

Capture Keyframe



Figura 149 - Animar objeto 5

D) EXPORTAR A ANIMAÇÃO

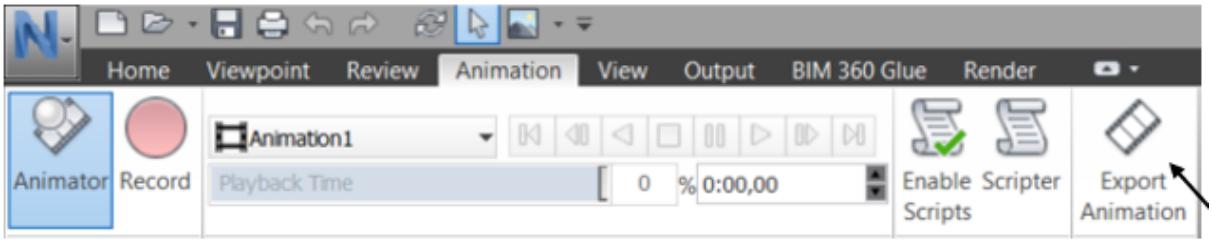


Figura 150 - Exportar a animação 1

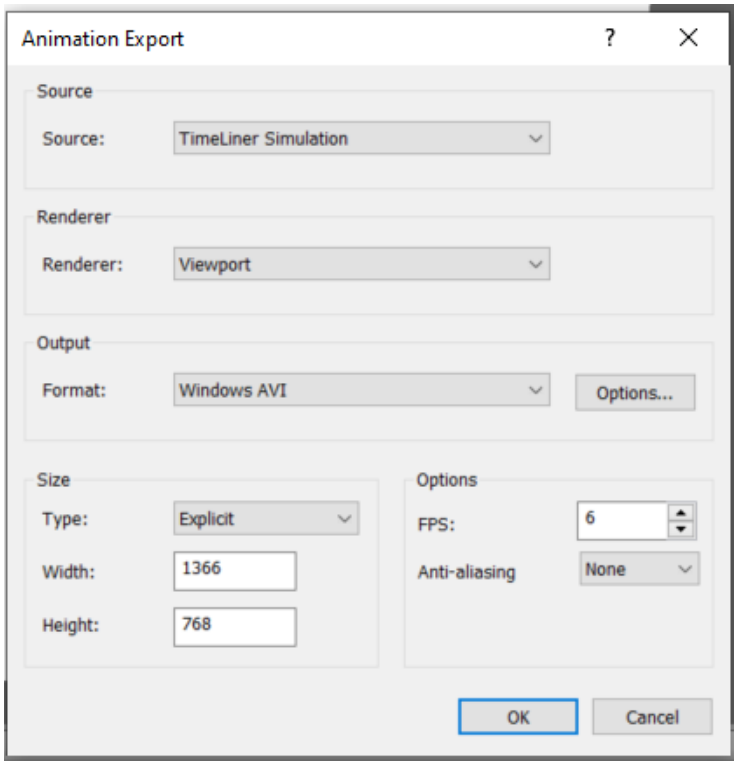


Figura 151 - Exportar a animação 2