

Controlo de Manipulador Hidráulico de Três Eixos

André Filipe Soares Campos

Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Francisco Jorge Teixeira de Freitas



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Opção de Automação

março de 2013

*“You can't always get what you want
But if you try sometimes well you just might find
You get what you need”
The Rolling Stones*

Resumo

Nas aplicações industriais típicas, existem algumas operações repetitivas e cansativas para os trabalhadores, podendo levar a uma diminuição na produção. A movimentação de materiais grandes e pesados é um bom exemplo deste problema, a solução pode ser a aplicação de um manipulador hidráulico. Este tipo de equipamento normalmente possui qualidades ideais para esta aplicação como boa capacidade de carga e repetibilidade de movimentos. Este trabalho descreve a implementação de um manipulador hidráulico com intuito de demonstração didática, o U-rob, localizado no laboratório de Óleo-hidráulica, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O U-rob é um manipulador hidráulico de dois eixos, composto por dois atuadores hidráulicos angulares e uma garra de ventosas. Desenvolvido para uma aplicação entretanto desativada, encontrava-se sem qualquer tipo de fonte de energia ou sistema de comando.

Após a necessária alteração do equipamento foi desenvolvido um programa para o comando do manipulador. Este controlo é baseado em dois modos de operação, um manual e um automático. O programa criado contém a possibilidade de criar trajetórias através dos quais o manipulador se pode mover automaticamente. Ao mesmo tempo desenvolveu-se uma interface amigável que permite a fácil utilização do U-rob, para fins de utilização didática.

Em conclusão, a implementação do manipulador foi bem sucedida, apesar de não ter sido possível a incorporação completa do terceiro eixo, servindo como exemplo didático do que um manipulador hidráulico é capaz.

Control of Three-Axis Hydraulic Manipulator

Abstract

In typical industry applications there are some repetitive and tiring operations for the workers, therefore leading to decreasing production. The movement of large and heavy materials is a good example of this problem, which solution can be the implementation of a hydraulic manipulator. This kind of equipment usually possesses ideal qualities for this application like good load capacity and good positioning repeatability. This report describes an application using a hydraulic manipulator, the U-rob, located at the oil-hydraulic laboratory, at the Faculty of Engineering of the University of Porto.

The U-rob it is a two-axis hydraulic manipulator, composed by two hydraulic angular actuators and a claw of suction cups. It was deactivated for some time and it was rendered without any kind of control system or power supply.

After the necessary adaptation of the hardware solution, a control program was developed for the automatic control of the manipulator. This control was based on two operation modes, manual and automatic. The program created contains the possibility of creating paths through which the manipulator can move automatically. At the same time it was shaped a user friendly interface that allows the easy use of the U-rob, for didactic purposes.

In conclusion, the implementation of the manipulator was quite successful, despite the third axis that was not fully implemented, presenting a didactic example of what a hydraulic manipulator it is capable of.

Agradecimentos

Quero prestar os meus mais sinceros agradecimentos ao meu orientador, Professor Francisco Jorge Teixeira de Freitas, pelos conhecimentos transmitidos, pelas ideias partilhadas e pela “teimosia” na perfeição.

Ao Sr. Joaquim Silva, técnico do laboratório de Óleo-Hidráulica, pelos saberes partilhados, pela incessante vontade de ajudar o próximo, pelas gargalhadas juntos e por acima de tudo ser um ótimo companheiro de trabalho.

Aos professores António Mendes Lopes e Manuel Romano Barbosa, pelo apoio transmitido numa fase menos boa e pela imediata disponibilidade para ajudar.

A todos os meus amigos, que me viram crescer e que me acompanharam ao longo da vida. Em especial ao Pedro Marques e ao Miguel Lage, pelas conversas, pelo apoio incondicional e por o altruísmo sem limites.

A todos os meus amigos do curso pela companhia nesta trajetória. Especialmente ao grupo de automação, por tudo o que partilhamos e iremos continuar a partilhar. Destacando deste grupo o Bruno, o Pedro e o Sergio, companheiros desta viagem atribulada que foi a dissertação, e o Renato, companhia constante ao longo do curso, com quem partilhei alegrias e momentos parvos.

Todas as obras têm a sua inspiração e esta não foge à regra. Estas linhas não seriam as mesmas se não fosse a inspiração de uma musa fantástica, forte, companheira e doce, como todas as musas devem ser. A Zuzana foi e será sempre essa musa, mais que inspiração, um porto de abrigo e uma fonte de otimismo.

À minha mãe, personificação da palavra. A quem devo tudo o que hoje sou, devido à sua dedicação, ao seu esforço, ao seu trabalho e a pôr-me sempre em primeiro lugar.

Por fim quero expressar o meu agradecimento ao meu país, em especial à minha cidade do Porto, pela influência na minha pessoa, tornando-me um orgulhoso português e tripeiro.

A todos os referidos e não referidos, um enorme obrigado!

Índice de Conteúdos

RESUMO	V
ABSTRACT	VII
AGRADECIMENTOS	IX
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 U-ROB	2
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	4
1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO	4
2 ANÁLISE DO EQUIPAMENTO DISPONÍVEL	5
2.1 ASPETOS GERAIS	6
2.2 ELEMENTOS HIDRÁULICOS	7
2.2.1 Atuadores.....	7
2.2.2 Válvulas	7
2.3 ELEMENTOS ELÉTRICOS	8
2.4 ELEMENTOS PNEUMÁTICOS.....	9
2.5 TRANSDUTORES E INTERRUPTORES DE FIM DE CURSO	10
2.6 PROBLEMAS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES.....	12
3 DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO	13
3.1 ESTUDO DAS SOLUÇÕES	14
3.1.1 Banca Gustavo Cudell	15
3.1.1.1 Fonte de Energia Hidráulica.....	16
3.1.1.2 Autómato.....	17
3.1.1.3 Interface Homem-Máquina.....	18
3.1.2 Consola Manual.....	19
3.1.3 Mesa Hidráulica	20
3.2 ARMÁRIO DE COMANDO	21
3.3 SISTEMA ELÉTRICO.....	22
3.4 LIGAÇÕES DO MANIPULADOR	23
3.4.1 Ligações ao Autómato	24
3.4.1.1 Transdutores e Interruptores de Fim de Curso	24
3.4.1.2 Comandos de Atuações Hidráulicas e Pneumáticas	24
4 PROGRAMAÇÃO	27
4.1 SOFTWARE UTILIZADO	28
4.1.1 Unity Pro XL.....	28

4.1.2	<i>Vijeo Designer</i>	31
4.2	ESTRUTURA DA PROGRAMAÇÃO	32
4.3	INICIALIZAÇÃO	35
4.4	CONTROLADOR	37
4.5	MODO MANUAL	38
4.5.1	<i>Ensino de Trajetórias</i>	40
4.6	MODO AUTOMÁTICO	43
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	47
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	48
6	REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA	49
ANEXO A:	LISTAGEM DE SINAIS	51
ANEXO B:	ESQUEMAS ELÉTRICOS	59
ANEXO C:	ESQUEMAS HIDRÁULICO E PNEUMÁTICO	69

Índice de Figuras e Tabelas

FIGURA 1.1– U-ROB.....	2
FIGURA 1.2 – ENVOLVENTE DE MOVIMENTOS DO U-ROB	3
FIGURA 2.1 – DEFINIÇÃO DOS EIXOS	6
FIGURA 2.2 – CONJUNTO DE VENTOSAS E ELETROVÁLVULAS	6
FIGURA 2.3 – VÁLVULAS PROPORCIONAIS DE ELEVADO DESEMPENHO	7
FIGURA 2.4 – CARTA AMPLIFICADORA BOSCH PL6	8
FIGURA 2.5 – CONJUNTO VENTOSA E GERADOR DE VÁCUO	9
FIGURA 2.6 – ELETROVÁLVULA PNEUMÁTICA	9
FIGURA 2.7 – <i>ENCODER</i> FAGOR S-2500	10
FIGURA 2.8 – POSIÇÃO DOS INTERRUPTORES DE FIM DE CURSO 1.1 E 1.2	11
FIGURA 2.9 – POSIÇÃO DOS INTERRUPTORES DE FIM DE CURSO 2.1 E 2.2 E <i>ENCODER</i> OMRON E6B2- CWZ3E.....	11
FIGURA 3.1 – “BANCA DE COMANDOS”	15
FIGURA 3.2 – “BANCA DE ATUADORES”	16
FIGURA 3.3 – GRUPO HIDRÁULICO DE CAUDAL VARIÁVEL	16
FIGURA 3.4 – AUTÓMATO MODICON M340	17
TABELA 3.1 – MÓDULOS DO AUTÓMATO E RESPETIVAS ENTRADAS/SAÍDAS.....	17
FIGURA 3.5 – HMI GTO 5310.....	18
FIGURA 3.6 – CONSOLA MANUAL.....	19
FIGURA 3.7 – CONJUNTO U-ROB E MESA HIDRÁULICA.....	20
FIGURA 3.8 – VÁLVULA <i>MANNESMANN REXROTH</i>	20
FIGURA 3.9 – ARMÁRIO DE COMANDO E PAINEL DE CONTROLO	21
FIGURA 3.10 – MONITORIZAÇÃO FONTE 24 VDC	22
FIGURA 3.11 – ESQUEMA DE LIGAÇÕES	23
FIGURA 3.12 – RELÉS DE SELEÇÃO DE COMANDO	25
FIGURA 3.13 – COMANDO VENTOSAS.....	25
FIGURA 4.1 – EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO EM FBD.....	29
FIGURA 4.2 – EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO EM LD.....	29

FIGURA 4.3 – EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO EM SFC	30
FIGURA 4.4 – EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO EM ST	30
FIGURA 4.5 – INTERFACE DO <i>VIJEO DESIGNER</i>	31
FIGURA 4.6 – EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO EM <i>JAVASCRIPT</i>	31
FIGURA 4.7 – GRAFCET GERAL ^[1]	32
FIGURA 4.8 – MACROETAPA DE “FUNCIONAMENTO” ANTERIORMENTE PROGRAMADA	33
FIGURA 4.9 – MACROETAPA DE “FUNCIONAMENTO” PROPOSTA	34
FIGURA 4.10 – MACROETAPA “MANIPULADOR”	34
FIGURA 4.11 – GRAFCET DA INICIALIZAÇÃO	35
FIGURA 4.12 – ECRÃ DE INTERFACE DA “INICIALIZAÇÃO”	36
FIGURA 4.13 – DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO REPRESENTATIVO DO SISTEMA DE CONTROLO DE UM EIXO	37
FIGURA 4.14 – SELEÇÃO DO “MODO MANUAL”	38
FIGURA 4.15 – MODO DE FUNCIONAMENTO E ATIVAÇÃO DOS MOVIMENTOS MANUAIS	39
FIGURA 4.16 – SELEÇÃO DO ENSINO DE TRAJETÓRIAS	40
FIGURA 4.17 – PAINEL INICIAL DE ENSINO DE TRAJETÓRIAS	41
FIGURA 4.18 – TRANSFERÊNCIA DA TRAJETÓRIA CRIADA	41
FIGURA 4.19 – EDIÇÃO DA TRAJETÓRIA	42
FIGURA 4.20 – SELEÇÃO DO “MODO AUTOMÁTICO”	43
FIGURA 4.21 – GRAFCET DO “MODO AUTOMÁTICO”	44
FIGURA 4.22 – OPÇÃO DE “POSICIONAR MANIPULADOR” NO PAINEL DO “MODO AUTOMÁTICO” ...	44
FIGURA 4.23 – ESCOLHA DE TRAJETÓRIA AUTOMÁTICA	45
FIGURA 4.24 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DA DIFERENÇA DE REFERÊNCIAS	46
FIGURA 4.25 – ALTERAÇÕES AO DIAGRAMA DE BLOCOS DEVIDO À REFERÊNCIA AUTOMÁTICA	46

1 Introdução

Em variadíssimos tipos de indústria existem operações repetitivas e monótonas que se tornam cansativas e pouco motivadoras para quem as realiza. Uma dessas operações é a movimentação de materiais que, mesmo não envolvendo grandes distâncias, torna-se bastante fatigante, especialmente se envolver cargas de elevada massa. Assim sendo, corre-se o risco de uma quebra na produção ao fim de algum tempo de trabalho. Este tipo de aplicação é um exemplo onde se torna bastante útil a utilização de algum dispositivo de manipulação.

Um manipulador é um equipamento que pode adquirir diferentes configurações, adaptando-se a um extenso número de aplicações. Este tipo de equipamento possui normalmente uma boa capacidade de carga, boa repetibilidade e boa resistência ao ambiente envolvente. Junto a isto, a possibilidade de funcionar automaticamente, permite a sua utilização sem necessidade de operador.

O controlo automático de um manipulador pode ser realizado de diversas formas. Em geral é possível realizar uma programação *offline* ou *online*, envolvendo uma programação em computador, num simulador, ou numa consola local ligada ao controlador do manipulador, com posterior gravação de uma sequência de movimentos e operações a serem realizados pelo equipamento. De seguida este seguirá um conjunto de ordens dadas, executando o que foi programado.

As características descritas mostram então a solução adequada para o problema referido. A necessidade de implementação de um manipulador hidráulico significa que as massas a manipular são incompatíveis com a solução de movimentação humana. Se bem que pode tornar-se uma solução bastante dispendiosa, esta despesa pode ser compensada com uma maior produtividade e a não utilização de trabalho manual para além do que é aconselhável.

No entanto a implementação de um manipulador não implica necessariamente a aquisição de um equipamento “universal”, para certas aplicações. Atualmente torna-se bastante aconselhável a reutilização de meios disponíveis, de modo a dar uma nova vida a equipamentos desativados e a uma racionalização de custos. É portanto de relevante importância a possível “reabilitação de equipamentos”.

É esta a situação do manipulador hidráulico U-rob disponível no laboratório de Óleo-hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Trata-se de um equipamento que foi desenvolvido para uma aplicação que entretanto deixou de ser necessária, embora tenha grande capacidade para desenvolver outros trabalhos. Assim, este trabalho apresenta como tema “Controlo de Manipulador Hidráulico de Três Eixos”, e foi proposto ser realizado no 1º semestre do ano letivo 2012/2013, no âmbito da unidade curricular Dissertação, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção de Automação, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A orientação do trabalho é da responsabilidade do Professor Francisco Freitas.

Neste capítulo é apresentada uma breve descrição do U-rob, assim como os objetivos deste trabalho.

1.1 U-rob

O U-rob, figura 1.1, é um manipulador hidráulico de dois eixos angulares. Os movimentos angulares são garantidos por atuadores angulares hidráulicos diretos, comandados por válvulas hidráulicas proporcionais de elevado desempenho.

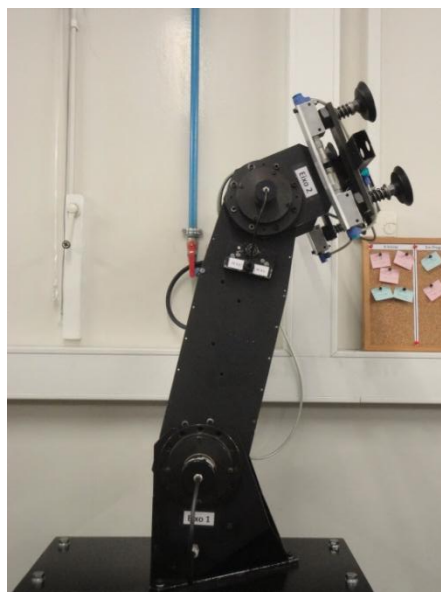


Figura 1.1– U-rob

No início do trabalho o manipulador encontra-se operacional quer a nível hidráulico quer a nível pneumático e até no que diz respeito à sua instrumentação. Contudo este carece de uma fonte de energia hidráulica e de um sistema de comando adequado.

Características físicas:

- 2 eixos angulares
- Capacidade de carga: 80,4 kg (a 0.3 bar absoluto nas ventosas)
- Amplitude de movimento:

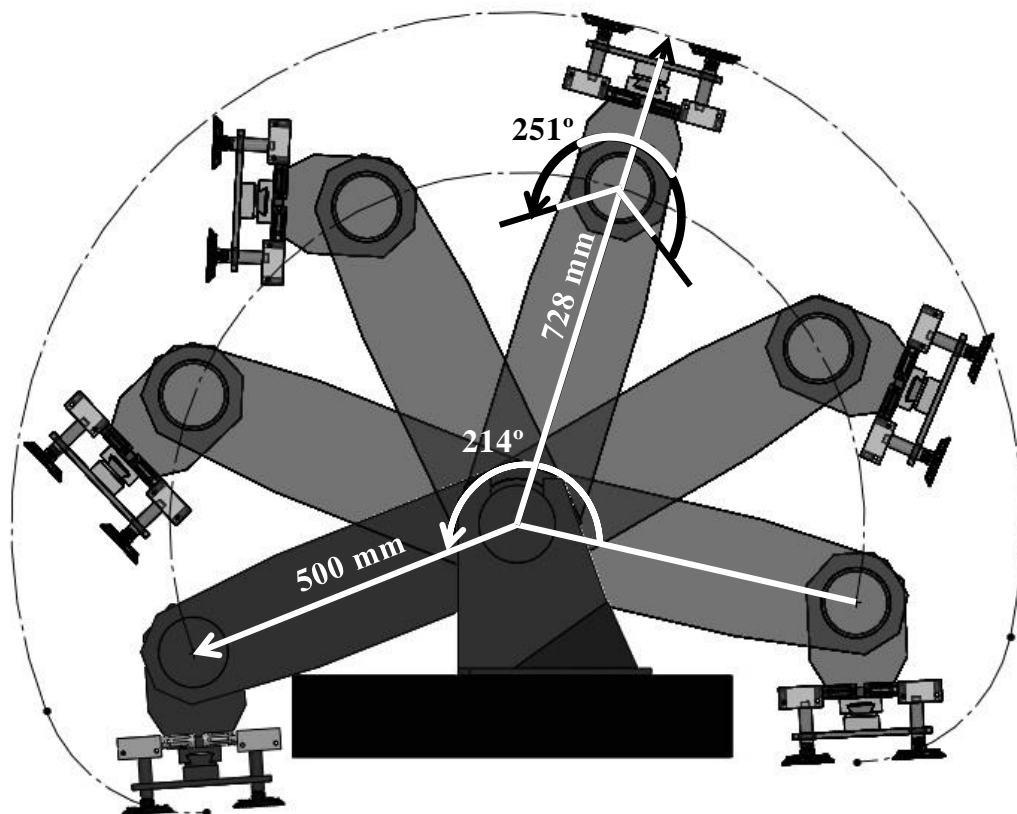


Figura 1.2 – Envolvente de movimentos do U-rob

1.2 Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como principal objetivo a criação de um comando automático para o manipulador U-Rob, apresentado anteriormente, criando as condições necessárias, em termos de equipamento, para ser uma aplicação com fins essencialmente didáticos, não deixando de poder ter um funcionamento para uma função efetiva e capacidade para possíveis aperfeiçoamentos futuros.

É portanto importante cumprir certas tarefas:

- Propor solução para o sistema de comando e para a fonte de energia hidráulica;
- Conceção de programa para controlo do manipulador;
- Criação de uma interface intuitiva com o utilizador;
- Ponderar sobre possíveis melhoramentos, como por exemplo, melhorar o seu alcance.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos, incluindo o presente capítulo de “Introdução”.

No capítulo 2 é apresentada uma análise detalhada do manipulador hidráulico U-rob e todos os seus componentes. Neste capítulo podem-se ver detalhes sobre os “Elementos Hidráulicos”, os “Elementos Pneumáticos” e outros constituintes do manipulador. Na última secção deste capítulo são ainda apresentados alguns problemas existentes no início.

No capítulo 3 é proposta uma solução completa para a utilização deste manipulador para uma tarefa própria. Após a caracterização em detalhe desta solução é então tratado o desenvolvimento de todo o equipamento e da sua colocação em funcionamento.

No capítulo 4 é apresentada a programação do controlo do manipulador. É também neste capítulo que se mostra a interface com o utilizador.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho, assim como alguns trabalhos futuros com vista a melhorar o trabalho apresentado.

2 Análise do Equipamento Disponível

Devido à natureza do trabalho, é de uma acrescida relevância o estudo inicial do equipamento disponível para ser usado. É feita uma análise detalhada dos componentes disponíveis no início deste trabalho, de modo a ser possível compreender o estado inicial do trabalho e perceber o que é necessário para a sua realização. Esta análise está dividida em diversas secções.

Antes da análise, são apresentados alguns aspetos sobre o manipulador que ajuda a compreensão das secções seguintes. Assim sendo, a primeira secção é denominada “Aspetos Gerais”.

Na segunda secção, “Elementos Hidráulicos”, são estudados todos os componentes hidráulicos, desde Atuadores a Válvulas.

De seguida tem-se a secção “Elementos Elétricos”, onde são apresentadas os elementos elétricos/eletrónicos necessários ao comando das válvulas hidráulicas.

Na quarta secção são analisados os “Elementos Pneumáticos”, nomeadamente os constituintes da garra de ventosas existentes na extremidade do manipulador.

Os “Transdutores e Interrutores de Fim de Curso” são abordados na secção 5, onde se podem ver as características de transdutores e interruptores de fim de curso existentes no manipulador. Estes equipamentos têm bastante relevância para o controlo automático do manipulador.

Para finalizar, e depois do estudo de todos os equipamentos disponíveis, são enumerados os “Problemas e Possíveis Soluções”.

2.1 Aspetos Gerais

Como referido previamente, o manipulador hidráulico U-rob possui dois eixos angulares. Assim denomina-se o eixo principal, ou eixo 1, como o eixo em que se encontra o atuador de maior dimensão, sendo o eixo secundário, ou eixo 2, o eixo de menor dimensão, como se pode ver na figura 2.1.

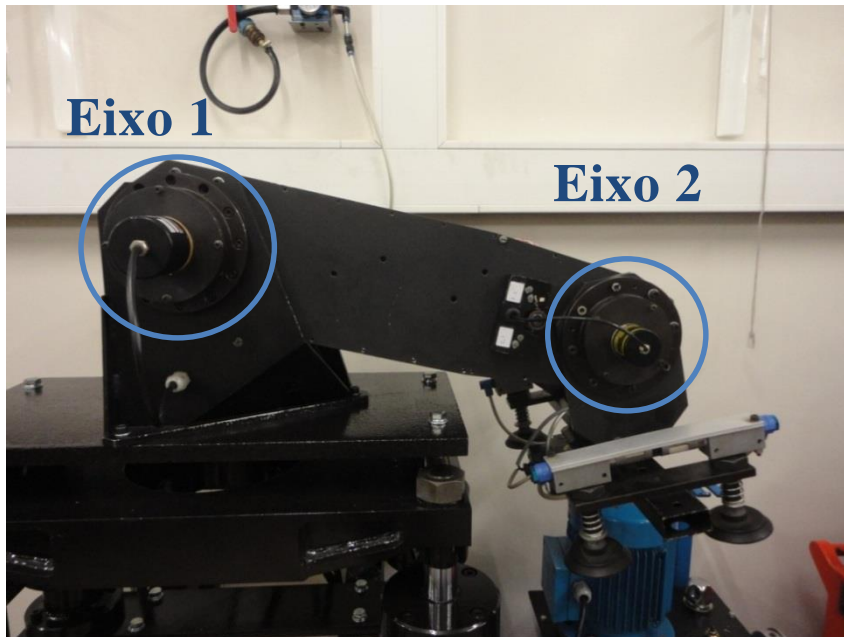


Figura 2.1 – Definição dos Eixos

Na extremidade do eixo 2, o manipulador possui um conjunto de quatro ventosas pneumáticas, controladas por duas eletroválvulas, visíveis na figura 2.2.

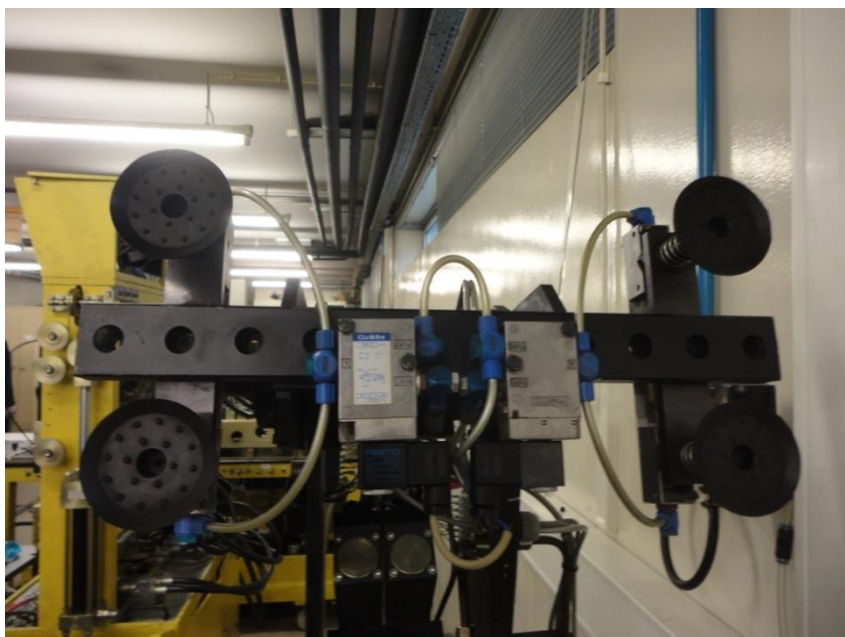


Figura 2.2 – Conjunto de Ventosas e Eletroválvulas

2.2 Elementos Hidráulicos

2.2.1 Atuadores

O manipulador U-rob está equipado com dois atuadores angulares, um em cada eixo. Ambos os atuadores são da marca *Ex-Cell-O Corporation* e possuem um curso angular de $280^{\circ} \pm 5^{\circ}$. No eixo principal encontra-se o modelo 410 432 – S e no eixo secundário está o modelo 400 388 – S, ambos com uma pressão máxima de 155 bar.

2.2.2 Válvulas

Para comandar os atuadores hidráulicos existem duas válvulas proporcionais de alto desempenho, uma para comando de cada eixo angular. São ambas válvulas *BOSCH* 0 811 404 038, com caudal nominal 24 l/min e pressão máxima 315 bar, visíveis na figura 2.3.

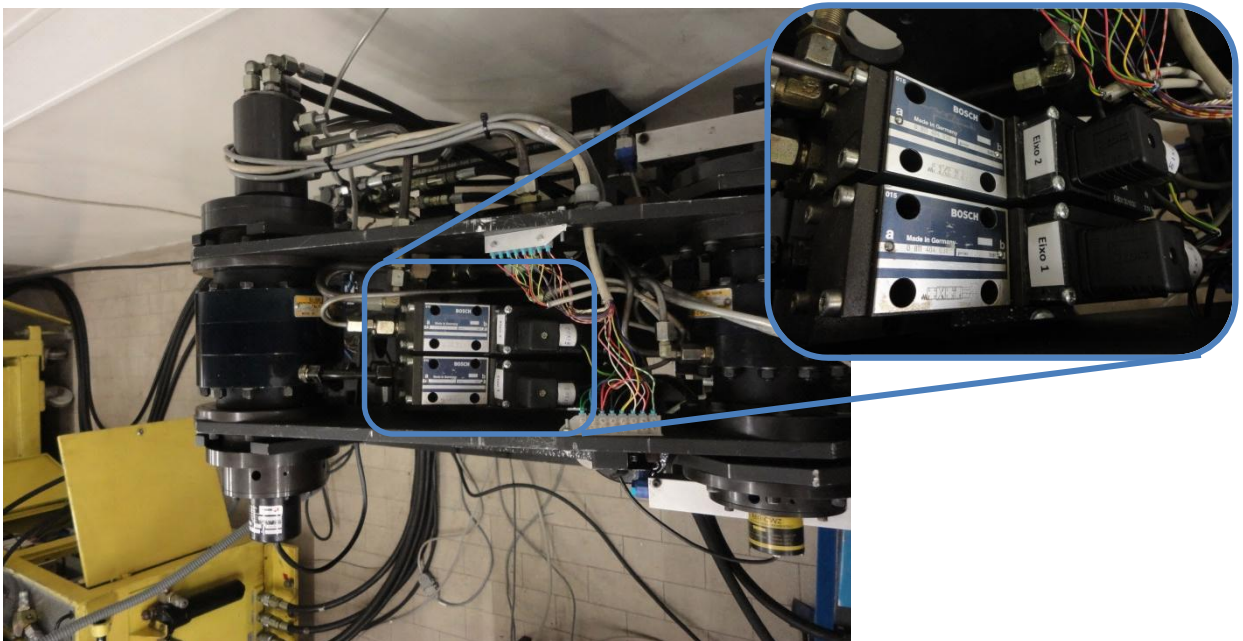


Figura 2.3 – Válvulas proporcionais de elevado desempenho

2.3 Elementos Elétricos

Os elementos elétricos são essencialmente cartas eletrónicas que servem para o comando das válvulas proporcionais existentes no equipamento. Estas cartas geram um sinal de comando que atua o eletroímã da válvula, conforme o sinal de referência e a informação do LVDT da válvula.

No comando das válvulas proporcionais dos eixos angulares existem duas cartas amplificadoras *BOSCH* PL6, conforme a figura 2.4. Necessitam de uma alimentação de 24 V e de um sinal de *enable* de 10 V. No seu painel frontal encontram-se LED's que fornecem informações de funcionamento, a ativação do sinal de *enable*, a rutura do cabo do LVDT e a existência de subtensão.



Figura 2.4 – Carta amplificadora BOSCH PL6

2.4 Elementos Pneumáticos

Os elementos pneumáticos existentes concentram-se todos, com exceção do regulador de pressão *Atlas Copco* MIDI REG 15S, na garra de ventosas presente no extremo do eixo 2 do manipulador.

A garra de ventosas é constituída por quatro ventosas *FESTO* VAS-75-1/4, cada uma com uma capacidade de força de sucção de 197 N a 0,3 bar absoluto, quatro geradores de vácuo *FESTO* VAD-1/4 e quatro silenciadores *FESTO* U-1/4 B, como se pode ver na figura 2.5. A controlar o funcionamento dos geradores estão duas eletroválvulas pneumáticas *FESTO* 9964 MFH-3-1/4, observáveis na figura 2.6.



Figura 2.5 – Conjunto ventosa e gerador de vácuo



Figura 2.6 – Eletroválvula pneumática

2.5 Transdutores e Interruptores de Fim de Curso

No manipulador encontram-se dois *encoders*, um associado a cada atuador angular. No eixo 1 existe um codificador FAGOR S-2500, figura 2.7, com uma resolução de 2500 impulsos/rotação, enquanto no eixo 2 está instalado um codificador OMRON E6B2-CWZ3E, figura 2.9, com uma resolução de 600 impulsos/rotação. São ambos *encoders* incrementais com saída em tensão, alimentados a uma tensão de 5 VDC e com um desfasamento entre o sinal A e B de 90°.

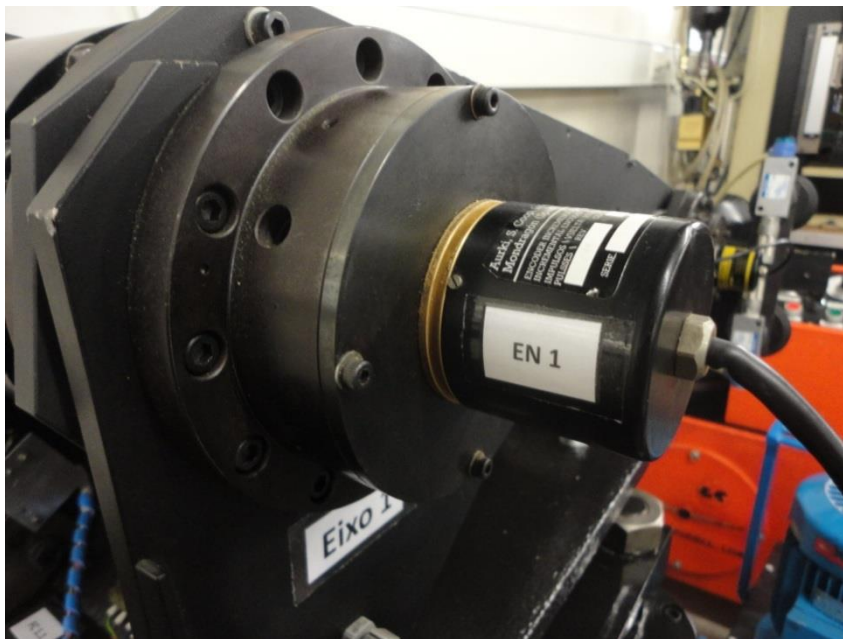


Figura 2.7 – Encoder Fagor S-2500

No U-rob estão também presentes quatro interruptores de fim de curso (normalmente fechados), associados aos extremos dos movimentos dos dois eixos, havendo dois interruptores de fim de curso para os extremos do eixo 1, cuja posição é perceptível na figura 2.8, e dois para os extremos do eixo 2, figura 2.9.

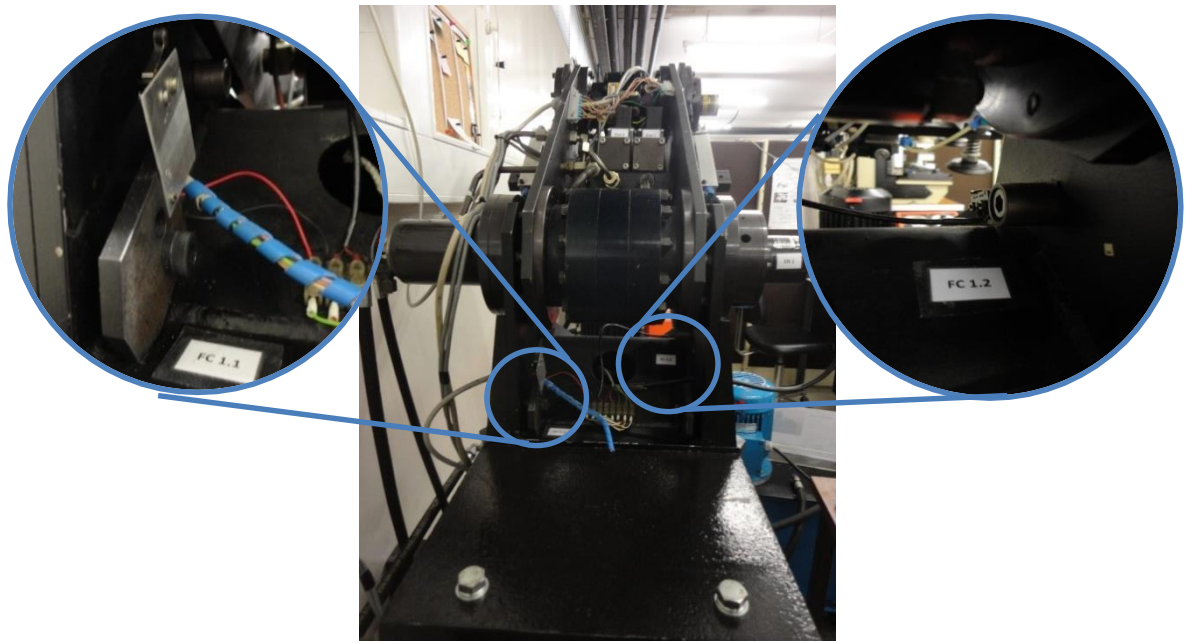


Figura 2.8 – Posição dos interruptores de fim de curso 1.1 e 1.2

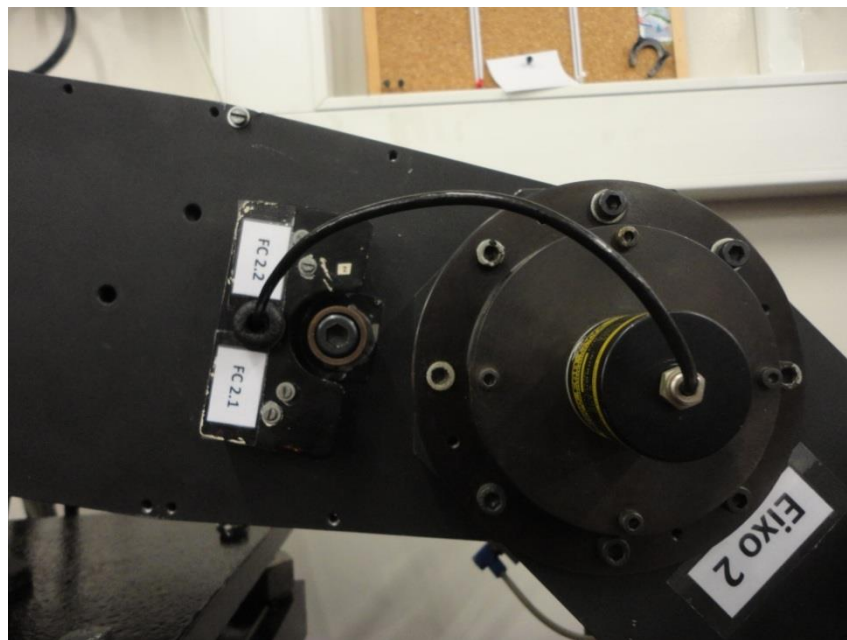


Figura 2.9 – Posição dos interruptores de fim de curso 2.1 e 2.2 e *Encoder* OMRON E6B2-CWZ3E

2.6 Problemas e Possíveis Soluções

Depois de uma análise pormenorizada do equipamento disponível no início do desenvolvimento do trabalho foram reconhecidos alguns problemas.

O principal problema é a falta de fontes de energia, quer hidráulica, quer elétrica. A resolução deste problema passa pela criação de um armário elétrico de comando de modo a alimentar eletricamente todos os equipamentos e pela identificação de uma central hidráulica que se adapte ao pretendido.

Outro problema é o sistema de comando do manipulador. No momento inicial, e como já foi referido anteriormente, o manipulador encontra-se desprovido de qualquer sistema de comando. Assim sendo, é necessário propor uma solução de comando ajustado ao manipulador. A solução que se propõe passa pela utilização de um PLC que disponha dos requisitos que são necessários para o controlo do manipulador hidráulico.

Enquadrados os problemas anteriores, coloca-se a questão da interatividade com o utilizador. É necessária a proposição de meios de interface entre o manipulador e o seu utilizador. Esta interatividade torna-se possível, por exemplo, através de uma HMI e de uma consola manual, tentando-se tornar a interface de fácil e simples utilização.

Por fim é analisado não um problema, mas um possível melhoramento. Este melhoramento prende-se ao facto de o alcance do manipulador estar longe de ser perfeito, pelo que se entende que este poderá ser alargado. A expansão do alcance do manipulador poderá ser obtida pelo acrescento de um terceiro eixo, vertical, conseguido através do acoplamento de uma mesa hidráulica autoguiada.

3 Desenvolvimento do Equipamento

Depois de realizada uma análise do equipamento disponível é necessária a sua alteração e desenvolvimento, bem como das soluções encontradas para os problemas, de forma a ter-se o manipulador a funcionar do modo pretendido.

Portanto, para além da colocação em funcionamento do equipamento estudado, é também necessária a instalação dos equipamentos que não se encontram disponíveis à partida.

Neste capítulo será então retratado todo o novo desenvolvimento do equipamento. Este é repartido em quatro secções.

Na primeira secção, “Estudo das Soluções”, são propostas as soluções para os problemas descritos no capítulo anterior. O equipamento usado nessas soluções é também examinado.

A segunda secção é a apresentação do “Armário de Comando”, este irá conter todas as interligações necessárias e ainda o sistema elétrico.

Segue-se a secção de “Sistema Elétrico” que, como referido anteriormente, não se encontra concebido e é essencial ao futuro do trabalho. São ainda detalhados todos os pormenores deste sistema.

Para finalizar este capítulo são caracterizadas as “Ligações ao manipulador”, onde são descritas as ligações dos equipamentos disponíveis no manipulador hidráulico U-rob, assim como todo o equipamento apresentado na primeira secção deste capítulo.

3.1 Estudo das Soluções

Tendo em conta as questões referidas no capítulo anterior é imprescindível encontrar soluções para estes problemas. Posto isto, de seguida são propostas as soluções.

O problema da fonte de energia elétrica é resolvido com a criação de um novo armário elétrico específico, de modo a satisfazer as necessidades dos equipamentos do manipulador.

A solução proposta para a fonte de energia hidráulica, para o controlador do manipulador e para a interface com o utilizador obedeceu a uma análise de partilha destes recursos com outros equipamentos que pudessem ser compatibilizáveis, no sentido de uma efetiva solução económica.

Assim, a solução para estes problemas foi encontrada na Banca de Ensaios Automatizada de Sistemas Hidráulicos (Banca Gustavo Cudell) que, sendo um equipamento infraestrutural no laboratório para fins didáticos, dispõe de meios aparentemente suficientes para cumprir os requisitos necessários.

Através da utilização dos recursos nela disponíveis foi encontrada aí a fonte de energia hidráulica, um PLC programável de características avançadas e uma HMI que poderá cumprir os requisitos de interatividade. Esta proposta constitui uma solução que, não sendo aquela que é tecnicamente mais adequada, consiste numa solução económica para o objetivo de demonstração didática que se pretende neste projeto.

Para completar a interatividade com o utilizador propõe-se ainda a criação de uma consola manual, de forma a tornar esta interatividade mais simples e de fácil utilização.

É ainda solucionado o melhoramento pretendido, o alargamento da amplitude de movimentos do manipulador com a incorporação de um terceiro eixo linear. Como previsto anteriormente este vai ser conseguido através do acoplamento do manipulador a uma mesa hidráulica elevatória.

Estes equipamentos são então caracterizados nesta secção, com exceção do sistema elétrico, apresentado numa secção posterior.

3.1.1 Banca Gustavo Cudell

A banca Gustavo Cudell é uma banca hidráulica de ensaios automatizados de sistemas hidráulicos, disponível no laboratório de Óleo-hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. É uma banca que possui diversos módulos, sendo os mais importantes a “Banca de Comandos”, figura 3.1, onde está localizado o autómato programável e a HMI, e a “Banca de Atuadores”, figura 3.2, onde se encontra a central hidráulica a utilizar.



Figura 3.1 – “Banca de Comandos”



Figura 3.2 – “Banca de Atuadores”

3.1.1.1 Fonte de Energia Hidráulica

Como fonte de energia hidráulica é usado um grupo hidráulico, disponível na “Banca de Atuadores”, figura 3.3, composta por um motor elétrico, com 7.5 kW de potência e uma bomba hidráulica de êmbolos axiais, de cilindrada variável até um máximo de 28 cm³. Esta cilindrada é controlada através da carta eletrónica *Rexroth VT 5036*, instalada na “Banca de Comandos”.

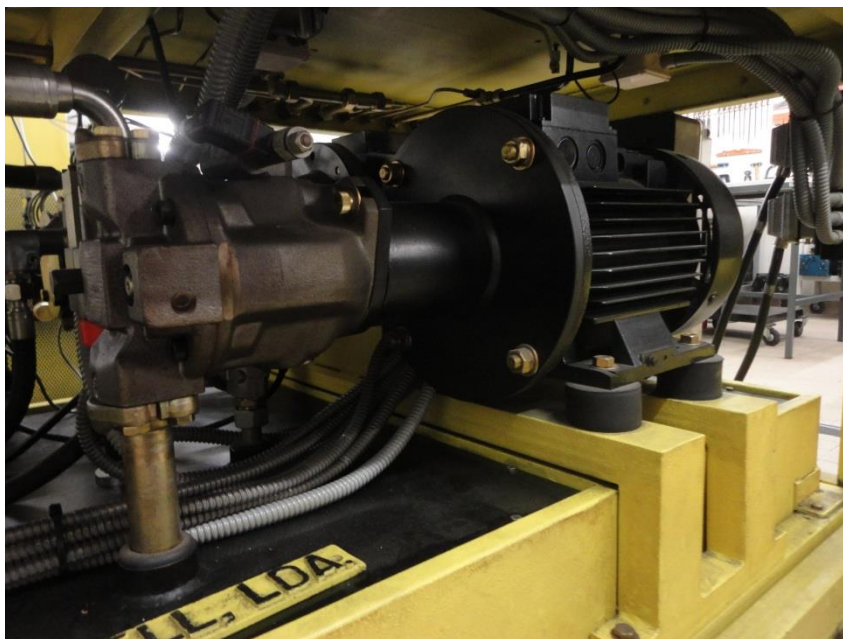


Figura 3.3 – Grupo Hidráulico de caudal variável

3.1.1.2 Autómato

O autómato existente na banca hidráulica Gustavo Cudell é o modelo M340 da série *Modicon*, da *Schneider Electric*, figura 3.4. É um autómato modular sendo possível a adição ou substituição de módulos.

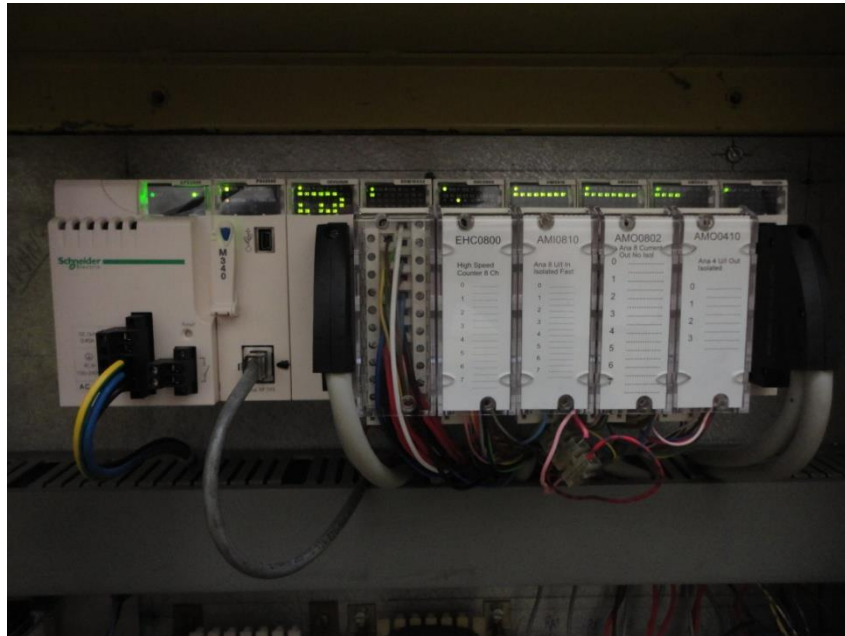


Figura 3.4 – Autómato Modicon M340

O processador é o modelo BMX P34 2000. Possui uma porta RJ45, Modbus Master/Slave RTU/ASCII (não isolada RS 232C/RS 485) e uma porta USB.

O autómato encontra-se equipado com sete módulos, tabela 3.1, cada um com uma funcionalidade definida, possuindo no total dos módulos:

Tabela 3.1 – Módulos do autómato e respetivas Entradas/Saídas

Módulo	Entradas/Saídas
BMX DDI 3202K	32 Entradas Digitais (8 livres)
BMX EHC 0800	8 Canais de Contagem Rápida (7 livres)
BMX DDM 16022	8 Entradas/8 Saídas Digitais (0 livres)
BMX DDO 3202K	32 Saídas Digitais (6 livres)
BMX AMI 0810	8 Entradas Analógicas (0 livres)
BMX AMO 0802	8 Saídas Analógicas (4 livres)
BM AMO 0410	4 Saídas Analógicas (3 livres)

3.1.1.3 Interface Homem-Máquina

A consola instalada na banca hidráulica é o modelo HMI GTO 5310, figura 3.5, da *Schneider Electric*. As principais características da consola são:

- Ecrã de 10.4” policromático;
- Resolução de 640 x 480;
- Resolução do ecrã tátil 1024 x 1024;
- 96 Mb de memória;
- 1 Porta de série para comunicações RS 232-C;
- 1 Porta de série para comunicações RS-485;
- 1 Porta USB 2.0 (Type A);
- 1 Porta USB 2.0 (mini-B);
- Interface Ethernet;
- Slot para cartão SD.



Figura 3.5 – HMI GTO 5310

3.1.2 Consola Manual

A consola manual desenvolvida é um dispositivo de comando externo através do qual se pode transmitir algumas ações específicas ao manipulador sob supervisão do autómato.

Esta consola possui, como se pode ver na figura 3.6:

- 1 botão ON/OFF;
- 1 botão para ativação das ventosas;
- 1 botão de ação;
- 6 botões de movimentos;
- 1 botão de segurança.



Figura 3.6 – Consola Manual

Os seis botões de movimentos estão agrupados em conjuntos de dois, cada conjunto para cada direção do movimento de cada eixo.

O botão de segurança está posicionado na retaguarda da consola e tem como objetivo forçar o utilizador a premir sempre este botão quando comanda o manipulador, utilizando assim as duas mãos para o controlo do manipulador, aumentando a sua segurança.

3.1.3 Mesa Hidráulica

A mesa hidráulica à qual o manipulador fica acoplado, figura 3.7, está equipada com quatro cilindros hidráulicos de duplo efeito, com um curso de 546mm, que funcionam de forma síncrona e permitem o seu autoguiamento.

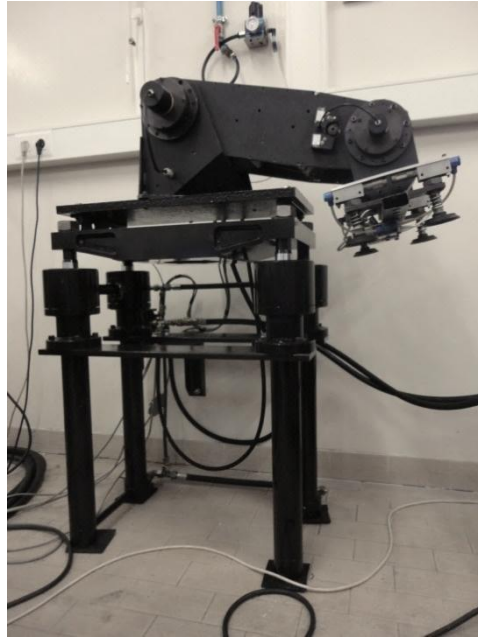


Figura 3.7 – Conjunto U-rob e Mesa hidráulica

Para comandar os cilindros hidráulicos existentes na mesa é usada uma válvula proporcional direcional com *feedback* do fabricante *Mannesmann Rexroth* 4WRE 6 E32-11/24Z4/M, figura 3.8.

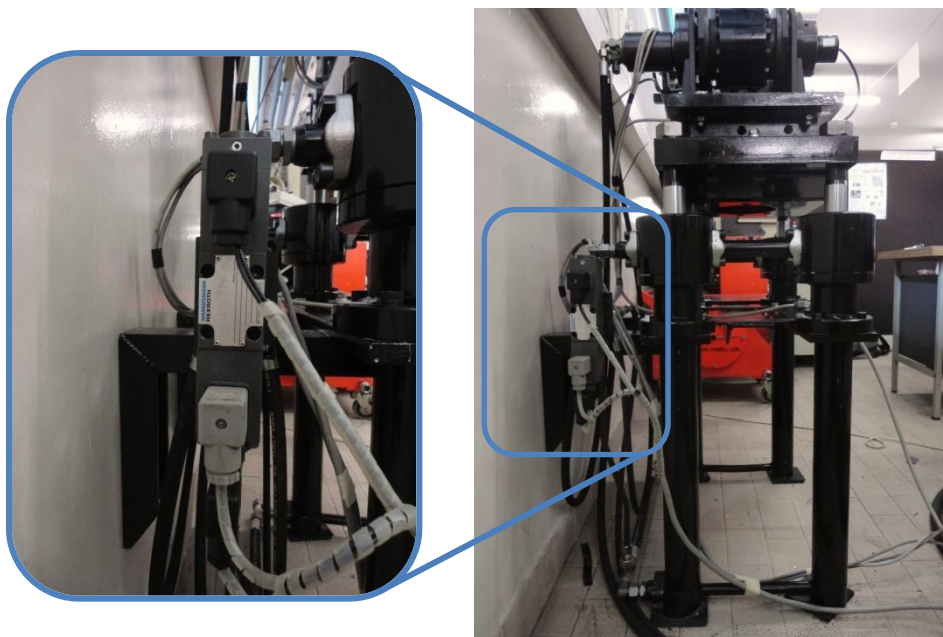


Figura 3.8 – Válvula *Mannesmann Rexroth*

Para o comando da válvula proporcional associada ao eixo linear é usada a carta eletrónica *Rexroth VT 5005*, instalada na Banca Gustavo Cudell. Esta carta apenas é alimentada quando está em funcionamento, tem como funções uma seleção de rampa “Off”, seleções de rampas distintas e uma seleção para inversão, sendo estas funções controladas pelo autómato.

3.2 Armário de Comando

O armário de comando permite a concentração de todas as ligações, quer ao manipulador, quer à banca Gustavo Cudell. A sua criação tornou-se essencial devido à necessidade de uma localização para o sistema elétrico específico do manipulador.

É neste armário que se encontram as duas cartas eletrónicas *BOSCH PL6* que controlam as válvulas de elevado desempenho. Contém também um pequeno painel onde se pode controlar o manipulador, de forma independente do autómato, desde que se disponha de uma central hidráulica externa, figura 3.9.

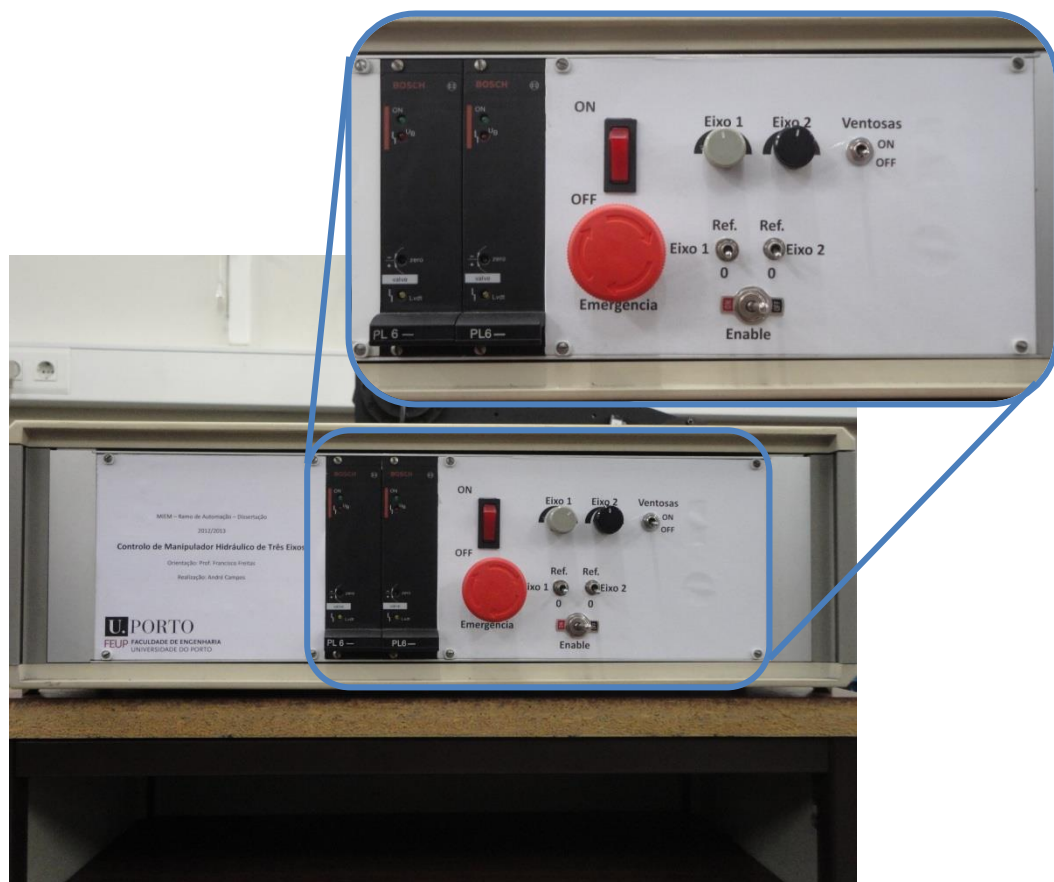


Figura 3.9 – Armário de comando e painel de controlo

3.3 Sistema Elétrico

O sistema elétrico criado inclui duas fontes de alimentação diferentes localizadas no armário de comando:

- Conjunto Transformador + Ponte retificadora 1:
 - 24 VDC;
 - 0 VDC Comum.
- Conjunto Transformador + Ponte retificadora 2 + regulador de tensão:
 - 5 VDC;
 - 0 VDC Comum.

A alimentação a 24 VDC tem como função a alimentação de potência das cartas eletrónicas *BOSCH* PL6 e a atuação das eletroválvulas pneumáticas. A alimentação a 5 VDC serve de alimentação dos codificadores.

A fonte de 24 VDC encontra-se monitorizada. Para essa função, a fonte alimenta um relé, podendo assim dar a indicação ao autómato, como podemos ver na figura 3.10.

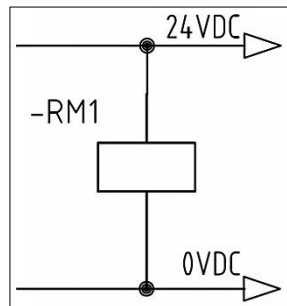


Figura 3.10 – Monitorização fonte 24 VDC

3.4 Ligações do Manipulador

As ligações ao manipulador são feitas a partir do armário de comando, como já referido antes. O esquema das ligações está representado na figura 3.11.

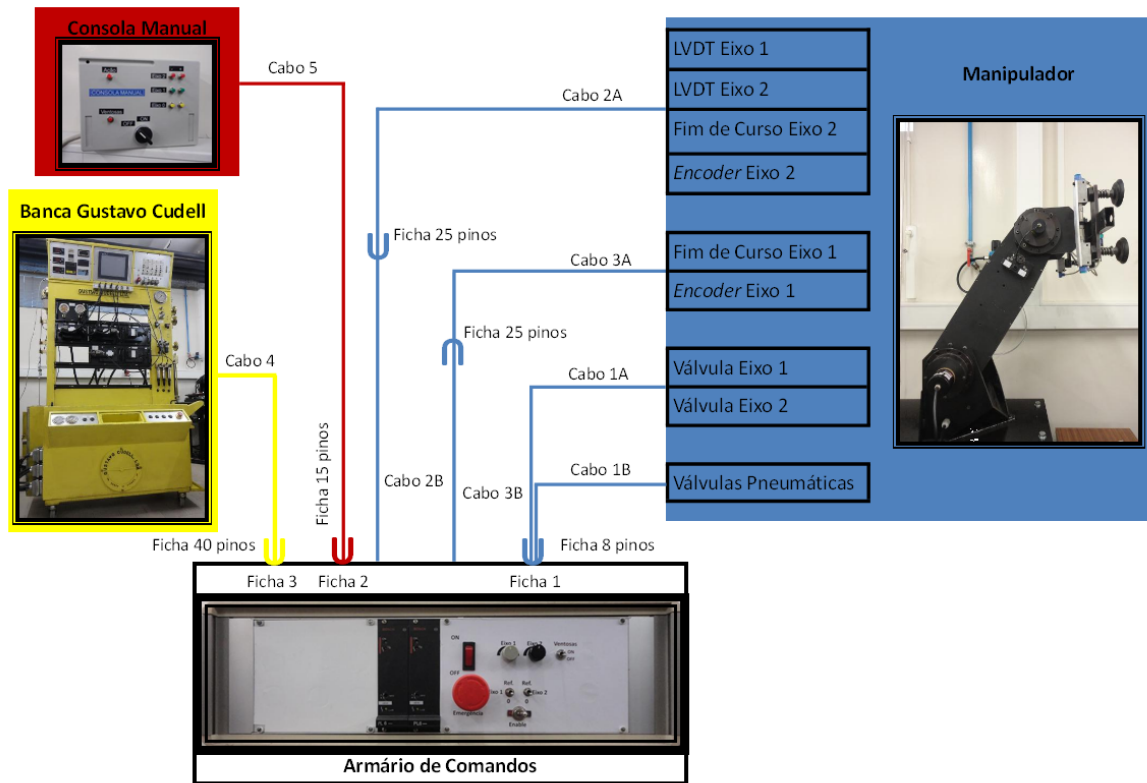


Figura 3.11 – Esquema de Ligações

Como se vê no esquema, as ligações ao manipulador são feitas através de três fichas, cada uma com a sua função, também descrita no esquema.

A ligação à consola manual é feita através de apenas um cabo, com a possibilidade de desconexão quando não necessária.

As ligações ao autómato instalado na Banca Gustavo Cudell são realizadas através de um único cabo, necessitando estas ligações de uma atenção especial, como se pode ver a seguir.

3.4.1 Ligações ao Autómato

Para conseguir um funcionamento automático, como o pretendido, é necessário que o autómato tenha informação sobre o estado do manipulador e que tenha controlo exclusivo deste. É também essencial que o autómato saiba a condição do botão de emergência existente no armário de comando e da fonte monitorizada.

É então necessário ligar ao autómato os transdutores e interruptores de fim de curso existentes no manipulador. São também indispensáveis as ligações que asseguram os comandos das atuações hidráulicas e pneumáticas.

3.4.1.1 Transdutores e Interruptores de Fim de Curso

Os interruptores de fim de curso são ligados às entradas digitais do autómato, sendo alimentados pela fonte de 24 VDC “Digital” existente na Banca Gustavo Cudell.

Os transdutores são ligados ao módulo de contagem do autómato. Devido às características deste módulo, os sinais de saída dos codificadores são amplificados de 5 VDC para 24 VDC.

3.4.1.2 Comandos de Atuações Hidráulicas e Pneumáticas

Para comandar as atuações hidráulicas e pneumáticas é necessário garantir a exclusividade do controlo do manipulador através do autómato. Torna-se também importante definir a ação do botão de emergência, encontrado no painel frontal, nestas atuações.

A exclusividade do controlo através do autómato é conseguida com recurso a relés, figura 3.12, que quando ativados retiram a possibilidade do controlo através do painel de comandos existente no armário de controlo.

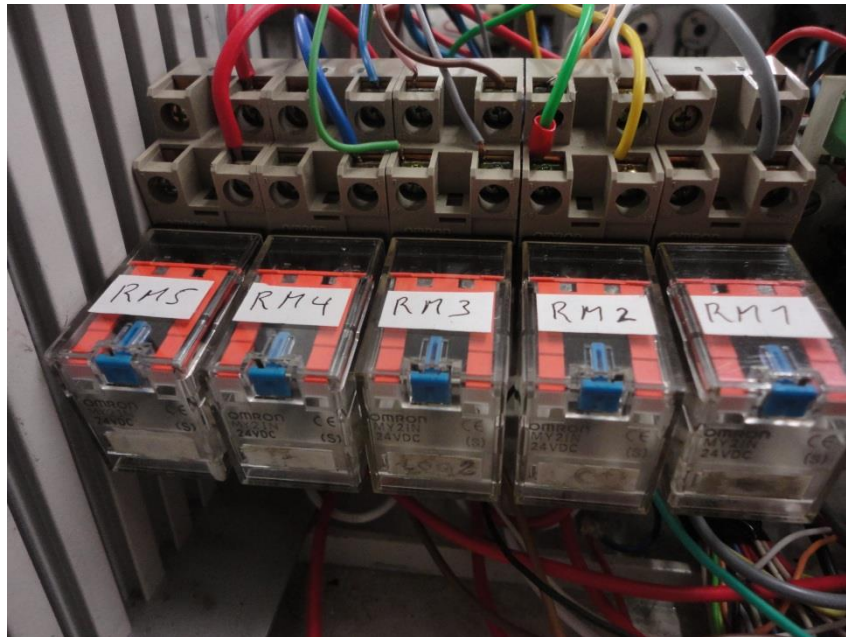


Figura 3.12 – Relés de seleção de comando

Com a ativação do botão de emergência, toda a alimentação do armário de comando é desligada, portanto as cartas deixam de ser alimentadas e as válvulas proporcionais de elevado desempenho retornam à sua posição de segurança. Contudo estando as ventosas ativas através de comando do automático, é importante que a ativação do botão de emergência não cancele a atuação das electroválvulas, não correndo o risco da queda do objeto que está a ser manipulado. Assim sendo, quando ativadas através do automático, as electroválvulas são alimentadas pela fonte de 24 VDC “Digital” da Banca Gustavo Cudell, não afetada pela ativação do botão de emergência, como podemos ver no esquema da figura 3.13.

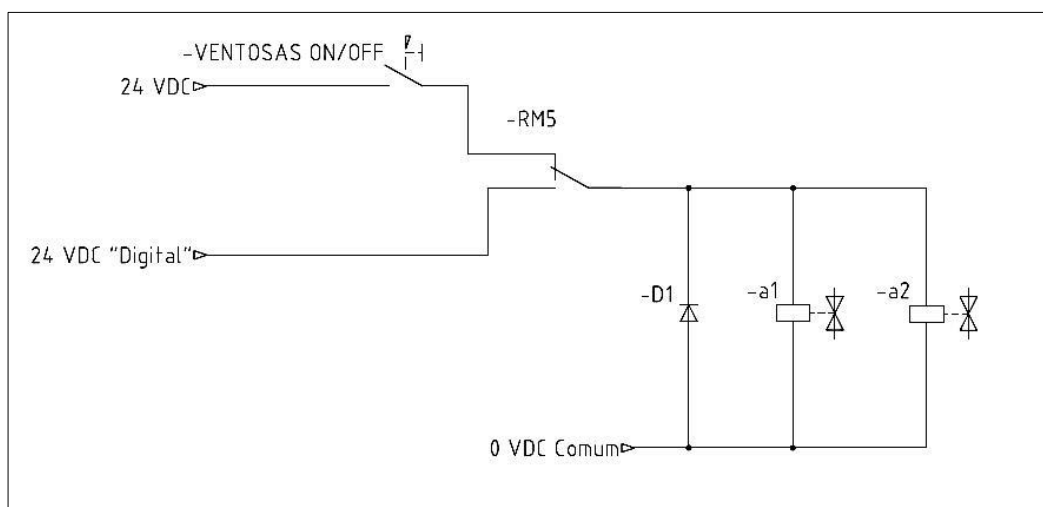


Figura 3.13 – Comando ventosas

Para evitar ruído elétrico ao ligar ou desligar as ventosas é ligado em paralelo à bobine da válvula um díodo de *free-wheeling*. Assim o contacto fica protegido do pico de tensão existente na desatuação, sendo a corrente elétrica conduzida pelo díodo.

4 Programação

Com o equipamento funcional e devidamente instalado atinge-se o objetivo principal do trabalho apresentado neste relatório, que é o desenvolvimento do comando automático do manipulador hidráulico.

Neste capítulo é exposta a programação que permite o controlo pretendido. Para melhor organização e compreensão da programação este capítulo está dividido em seis secções.

A primeira secção, “*Software Utilizado*”, introduz os programas utilizados neste trabalho, através de uma pequena apresentação.

De seguida analisa-se a “Estrutura da Programação” e o seu enquadramento no programa já existente no autómato, que se destina ao controlo da banca Gustavo Cudell.

Na secção seguinte, com o título “Inicialização”, é descrita a tarefa relativa à inicialização funcional de todos os elementos periféricos que existem associados ao funcionamento do manipulador. Nesta tarefa são ativados e inicializados os *encoders* incrementais, um em cada eixo, de modo a se obter o *feedback* necessário para o funcionamento em malha fechada de cada um dos eixos.

Após a “Inicialização”, segue-se a secção que descreve o “Controlador”, estudando o seu tipo, o seu modo de funcionamento e os seus parâmetros.

As duas últimas secções apresentam os modos de funcionamento desenvolvidos para a movimentação do manipulador.

Em “Modo Manual” o manipulador é controlado através da consola manual, sendo a referência da posição incrementada por atuação dos botões da consola. É neste modo que se realiza o “Ensino de Trajetórias” (*teach mode*).

O “Modo Automático” lê as trajetórias criadas no modo manual, executando-as e permitindo assim o funcionamento autónomo do manipulador.

4.1 Software Utilizado

Para realizar o trabalho pretendido foram utilizados duas ferramentas de programação, o *Unity Pro XL*, da *Schneider Electric*, para programação do autómato, e o *Vijeo Designer*, também da *Schneider Electric*, para a programação da HMI.

4.1.1 Unity Pro XL

Trata-se da ferramenta de programação oficial para o desenvolvimento de programas do autómato usado.

Neste *software* é possível a utilização das 5 linguagens de programação da norma IEC 61131-3:

- *Function Block Language* (FBD);
- *Ladder Diagram* (LD);
- *Sequential Function Chart* (SFC);
- *Instruction List* (IL);
- *Structured Text* (ST).

As linguagens de programação podem ser combinadas no programa, facilitando o ajuste da linguagem conforme a aplicação. De seguida são apresentadas as linguagens usadas no desenvolvimento do controlo do autómato.

A linguagem *Function Block Language*, figura 4.1, permite a programação em diagrama de blocos, de uso simples, torna-se bastante útil para realizar cálculos simples.

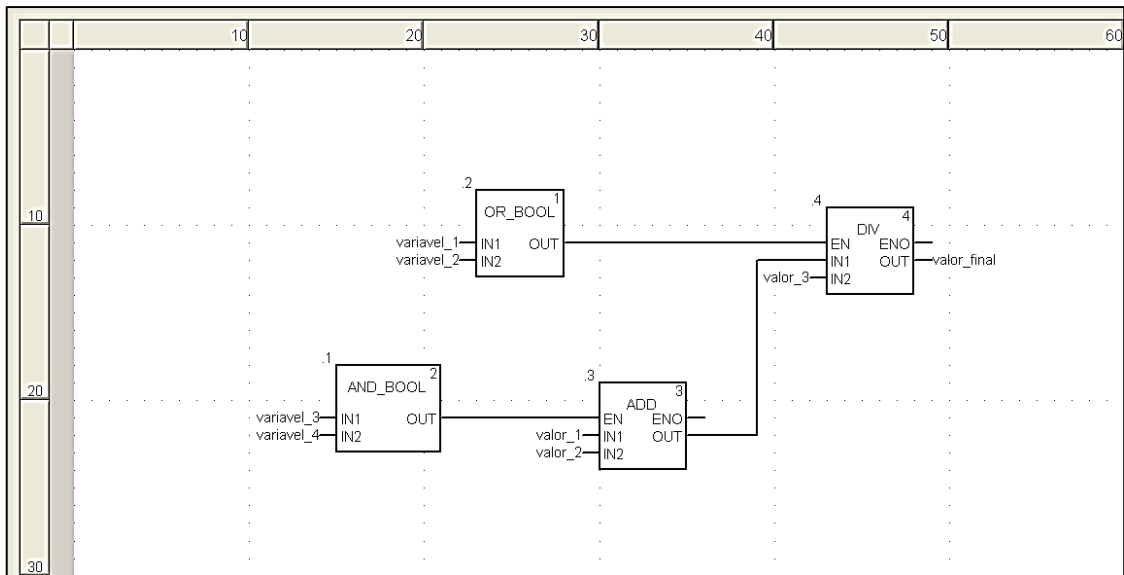


Figura 4.1 – Exemplo de programação em FBD

A linguagem *Ladder Diagram*, figura 4.2, refere-se a diagramas de contactos, onde as entradas são representadas na forma de contactos e as saídas são representadas na forma de bobines. É também uma linguagem simples e bastante útil para concretizar funções lógicas.

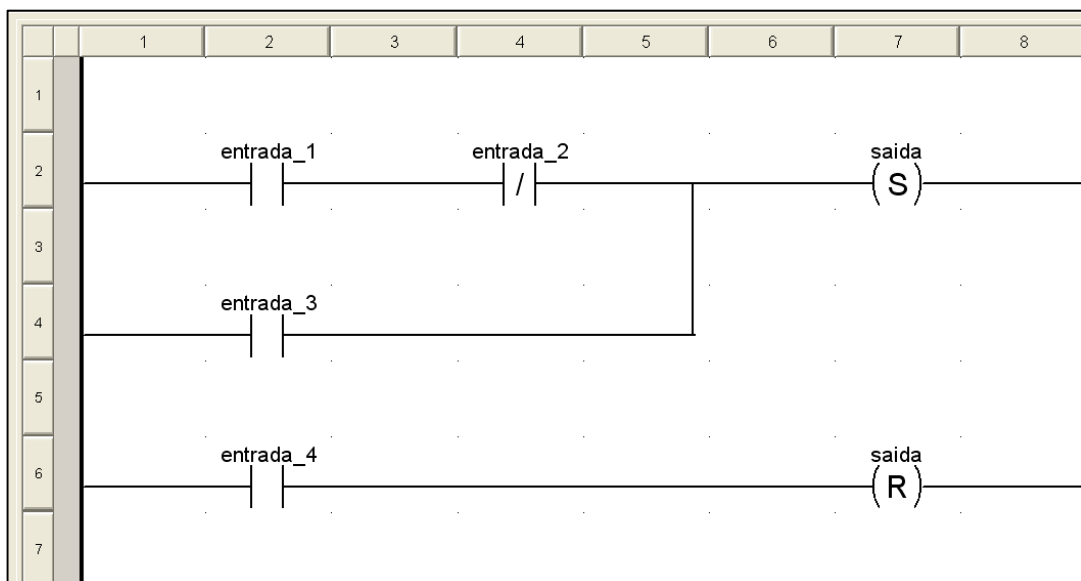


Figura 4.2 – Exemplo de programação em LD

Na linguagem *Sequential Function Chart*, figura 4.3, a programação é feita com recurso a GRAFCET. É uma linguagem bastante importante para a estruturação de um programa.

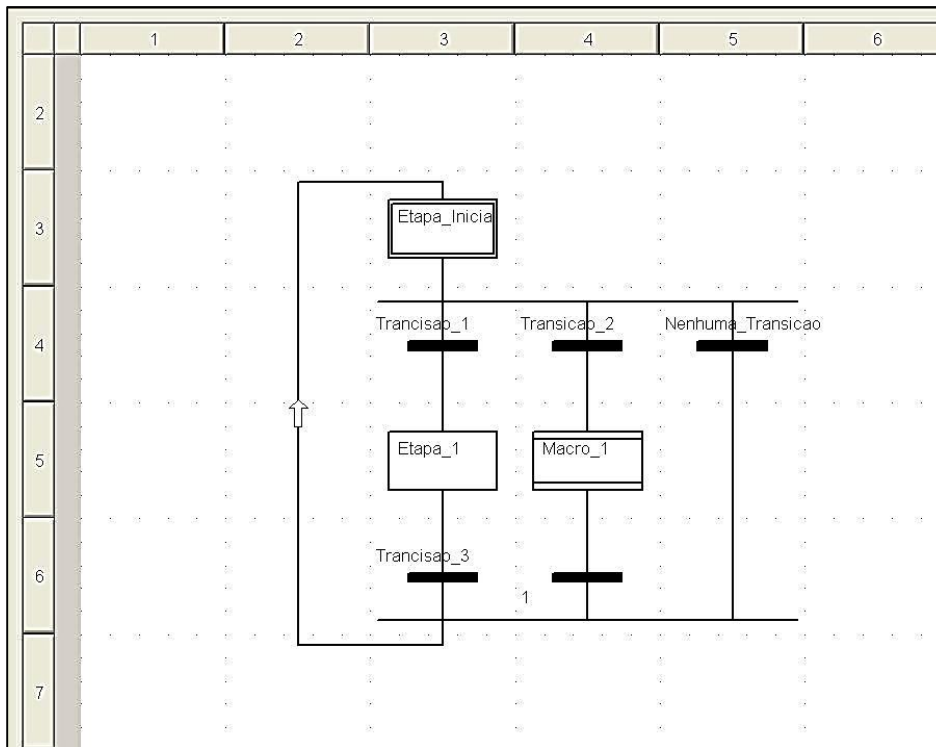


Figura 4.3 – Exemplo de programação em SFC

O *Structured Text*, figura 4.4, é uma linguagem em texto estruturado, portanto uma linguagem sem suporte gráfico, usado neste trabalho essencialmente para aplicações mais específicas.

```
(* Exemplo *)

IF variavel_1 = 1 THEN
    FOR contador := 1 TO 5 DO
        saida_numero := contador;
    END_FOR;
END_IF;
```

Figura 4.4 – Exemplo de programação em ST

Outra grande mais-valia do *Unity Pro XL* é a sua extensa biblioteca de blocos de funções, assim como a possibilidade da criação de novos blocos pelo utilizador, tendo sido criados alguns neste trabalho.

4.1.2 Vijeo Designer

O *Vijeo Designer* é o *software* de programação destinado à HMI instalada na banca. De aparência agradável e de fácil utilização, permite a criação de painéis e de *scripts* em Java para programação de algumas tarefas.

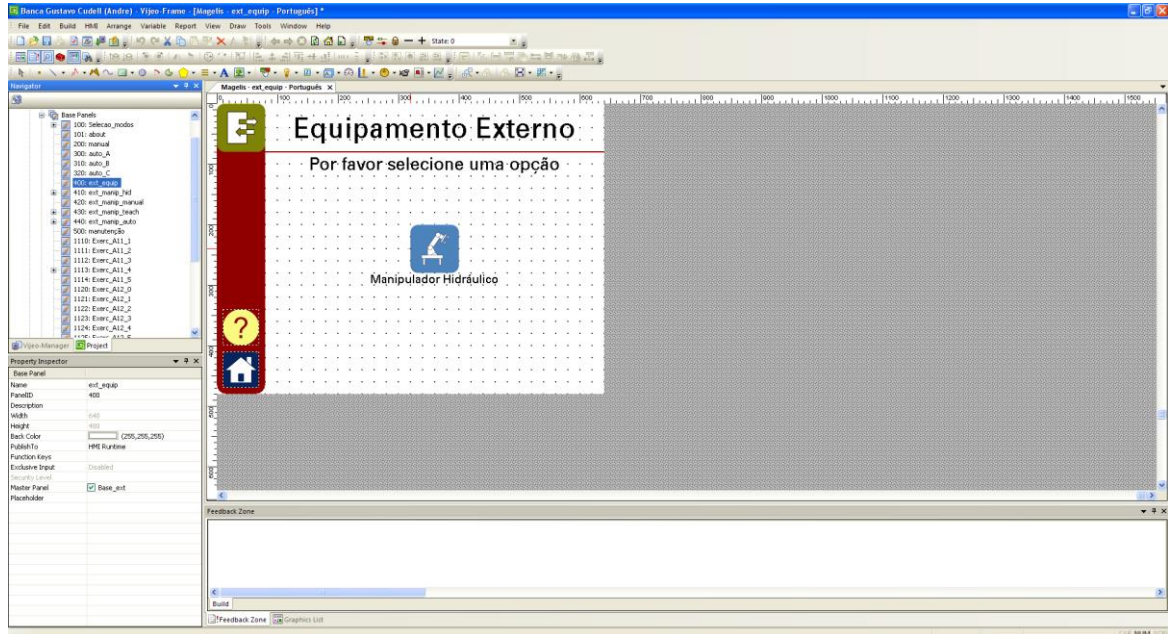


Figura 4.5 – Interface do *Vijeo Designer*

```

//-----
//Script Created: Mar 18, 2013
//
// Description: Exemplo de Script
//
//-----

int n, x; //Definição de Variáveis
float[] ref1= new float[12], ref2= new float[12], tm= new float[12];
int[] vent= new int[12], te= new int[12];

n = Ext_Manipulacao.ext_no_programa.getIntValue();

if (n == 1) //Programa 1
{
    x = Programas_Manipulador.Programa_Manipulador01.no_posicoes.getIntValue();
    PLC_EquipamentoModbus0101.ext_Programa.no_posicoes.write(x);
    for (int c=0; c<=11; c++)
    {
        ref1[c] = Programas_Manipulador.Programa_Manipulador01.Ref_Eixo_1[c].getFloatValue();
        ref2[c] = Programas_Manipulador.Programa_Manipulador01.Ref_Eixo_2[c].getFloatValue();
        vent[c] = Programas_Manipulador.Programa_Manipulador01.Comando_Ventosas[c].getIntValue();
        te[c] = Programas_Manipulador.Programa_Manipulador01.Tempo_Espera[c].getIntValue();
        tm[c] = Programas_Manipulador.Programa_Manipulador01.Tempo_Movimento[c].getFloatValue();
        PLC_EquipamentoModbus0101.ext_Programa.Ref_Eixo_1[c].write(ref1[c]);
        PLC_EquipamentoModbus0101.ext_Programa.Ref_Eixo_2[c].write(ref2[c]);
        PLC_EquipamentoModbus0101.ext_Programa.Estado_Ventosas[c].write(vent[c]);
        PLC_EquipamentoModbus0101.ext_Programa.tempo_espera[c].write(te[c]);
        PLC_EquipamentoModbus0101.ext_Programa.Tempo_movimento[c].write(tm[c]);
    }
    PLC_EquipamentoModbus0101.ext_programa_ok.write(true);
}
    
```

Figura 4.6 – Exemplo de programação em *JavaScript*

4.2 Estrutura da Programação

Como referido anteriormente, este projeto tem por objetivo construir, e colocar em funcionamento, um manipulador como um exemplo didático inserido numa utilização mais ampla de uma infraestrutura automática que é uma banca de ensaios laboratorial. Assim, o autómato tem que conter um programa para o funcionamento geral da banca de ensaios e de alguns exercícios programados de demonstração. Este projeto corporiza a inclusão de uma utilidade externa na banca, tornando-se assim imperativo que toda a programação do manipulador se adapte à estrutura global já traçada para a banca.

A estrutura do programa anterior baseia-se numa estrutura geral representada no GRAFCET da figura 4.7.

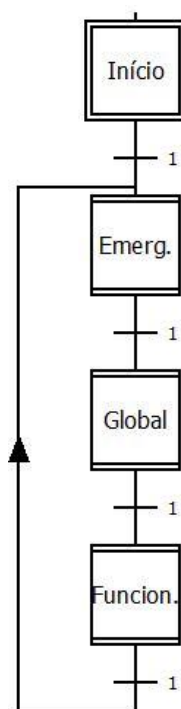


Figura 4.7 – GRAFCET geral ^[1]

Do GRAFCET apresentado dá-se destaque às macroetapas “Emergência” e “Funcionamento”, pois são essenciais para o presente trabalho.

A macroetapa “Emergência” tem, pela sua natureza, bastante importância neste trabalho sendo necessário incluir nesta as condições de emergência associadas ao funcionamento do manipulador.

É na macroetapa “Funcionamento”, figura 4.8, que todos os exercícios são executados e onde será inserido todo o controlo do manipulador hidráulico.

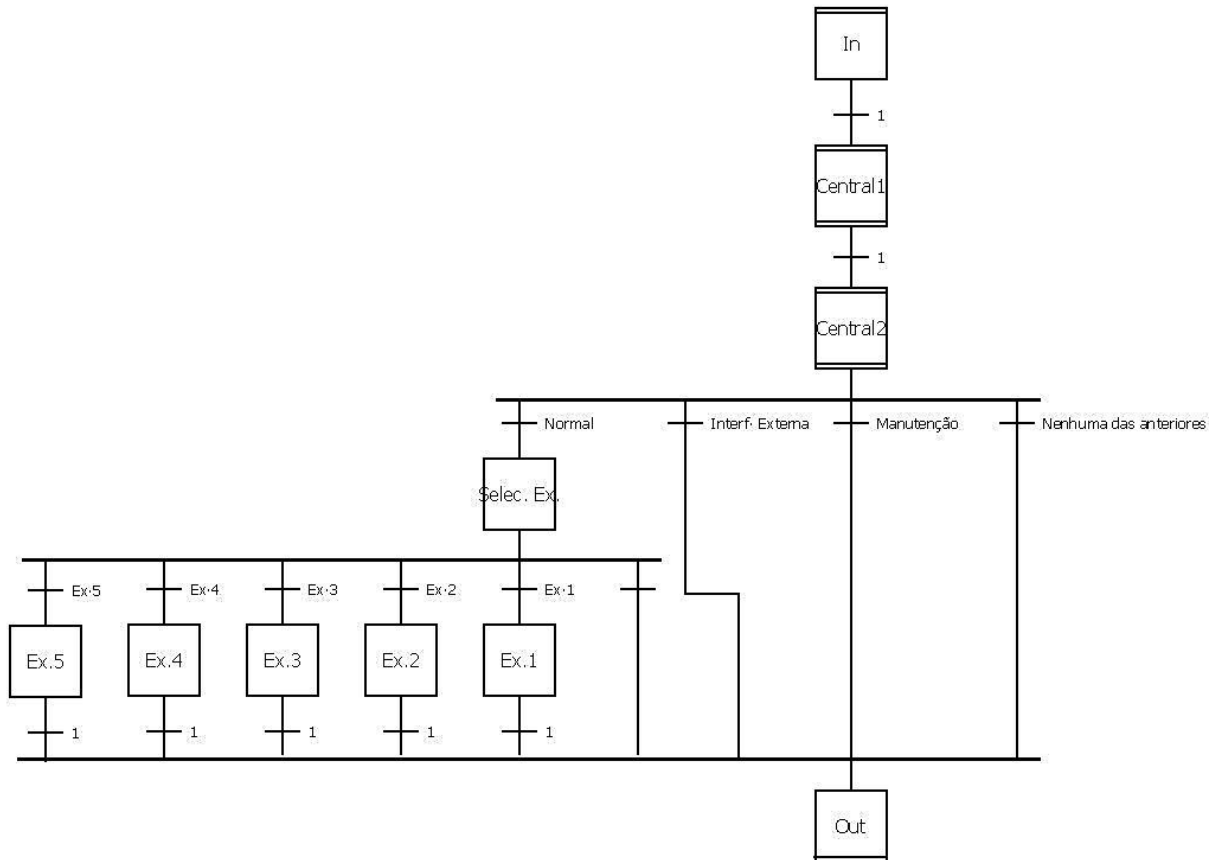


Figura 4.8 – Macroetapa de “Funcionamento” anteriormente programada

Como se verifica nesta macroetapa já estava prevista a existência de uma “interface externa”, embora não tivesse qualquer conteúdo efetivo.

Torna-se indispensável alterar as condições na macroetapa para o funcionamento do manipulador.

Inclui-se assim uma macroetapa de nome “Manipulador” que incluirá a estrutura de programação do controlo do manipulador. Portanto a macroetapa “Funcionamento” fica com a forma representada no GRAFCET da figura 4.9.

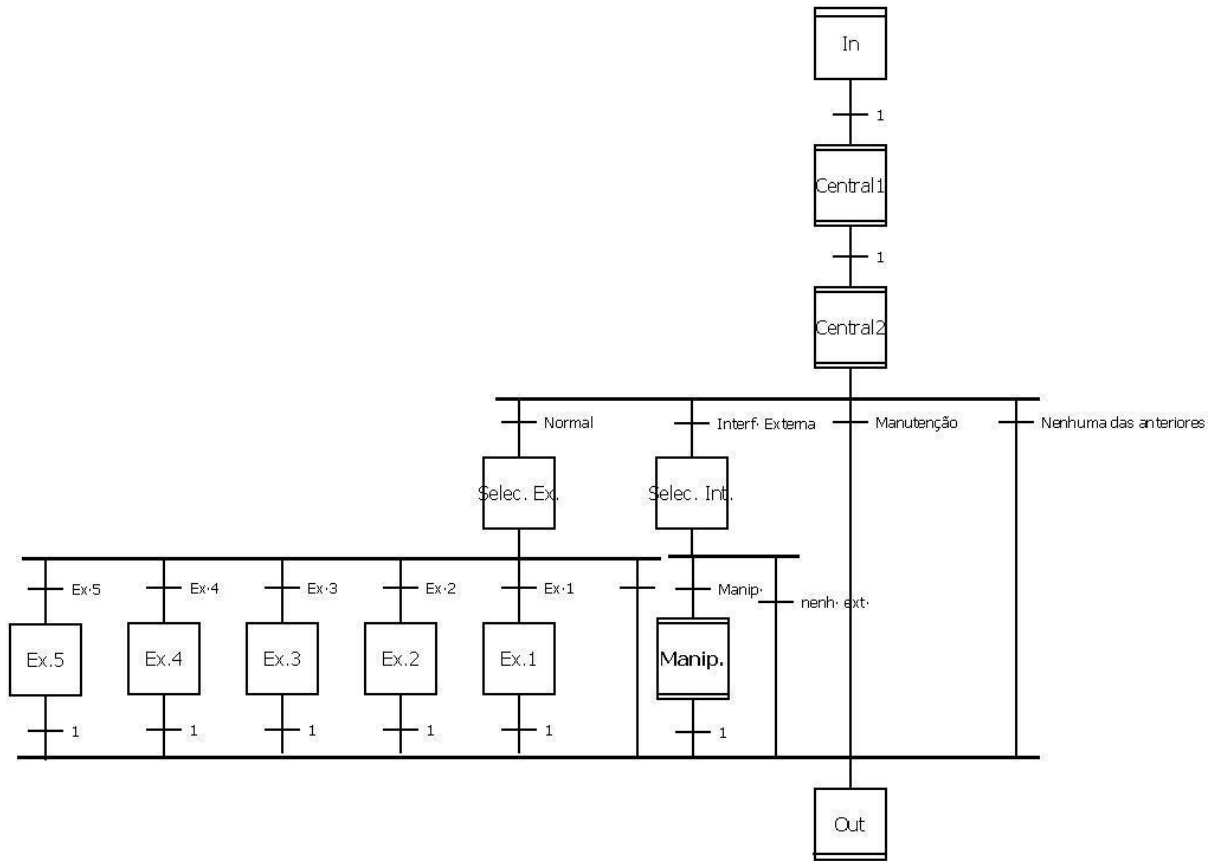


Figura 4.9 – Macroetapa de “Funcionamento” proposta

É na macroetapa “Manipulador” que se situa o foco deste trabalho. Esta macroetapa está representada na figura 4.10.

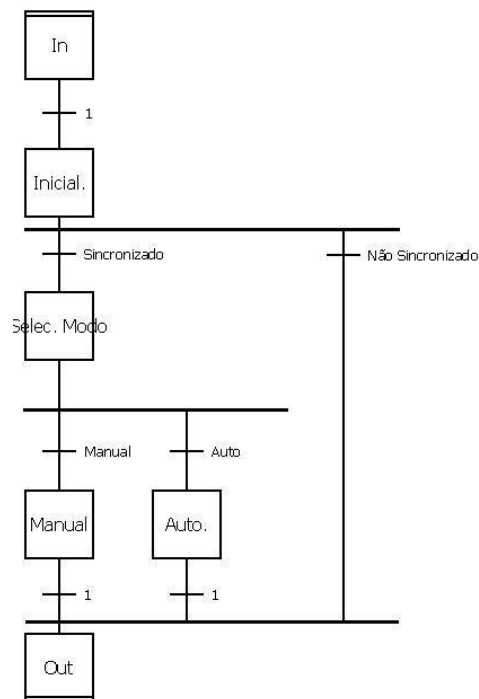


Figura 4.10 – Macroetapa “Manipulador”

Examinando esta macroetapa pode-se entender o funcionamento geral do manipulador:

- quando se seleciona o funcionamento “manipulador”, é necessário inicialmente encontrar a posição “zero” de cada codificador, condição sem a qual não é possível obter o *feedback* de posição dos eixos,
- de seguida, e já com o manipulador a ser controlado em malha fechada através do controlador, é selecionado o seu modo de funcionamento que pode ser de comando “manual” ou comando “automático”.

Como se pode constatar, esta macroetapa contempla três etapas bastante importantes, “Inicialização”, “Manual” e “Automático”. Seguidamente são detalhadas estas secções assim como o controlador deste sistema.

4.3 Inicialização

Antes de se poder controlar o manipulador em malha fechada é necessário obter-se o *feedback* através dos codificadores. Para se obter esses valores referentes à posição dos eixos do manipulador, ambos têm de ser “sincronizados”, isto é, tem que se identificar o sinal Z (zero) do *encoder* associado.

É na etapa de “inicialização” que a sincronização ocorre. Esta etapa é iniciada quando o manipulador se torna ativo, mas não está sincronizado, como visto na figura 4.11. Neste ponto é só permitido movimentar o manipulador a uma velocidade bastante reduzida usando a consola manual, sendo este controlo efetuado com o comando direto da abertura das válvulas.



Figura 4.11 – GRAFCET da Inicialização

Se a inicialização se encontra “em curso” aparece na HMI o ecrã da figura 4.12. Quando, após movimentação, o autómato deteta o sinal Z a interface dá a informação que o eixo se encontra “Pronto” e o eixo do manipulador fica parado nessa posição.

Só após todos os eixos se encontrarem “sincronizados” é que o botão para terminar a inicialização aparece.



Figura 4.12 – Ecrã de interface da “Inicialização”

Logo após a inicialização ser terminada pode-se escolher o modo de funcionamento do manipulador, sendo o manipulador controlado através de um controlador em malha fechada em ambos os modos.

4.4 Controlador

Para realizar o controlo em malha fechada de cada eixo recorreu-se à utilização de um controlador do tipo PI. O manipulador é um sistema de controlo de posição angular do tipo 1, sujeito a perturbação por variação de carga, nomeadamente em que a carga no eixo 1 é variável com a posição angular.

Aplicando o controlador a cada um dos eixos podemos representar, de um modo simplificado, cada sistema de controlo de eixo com o diagrama de blocos da figura 4.13.

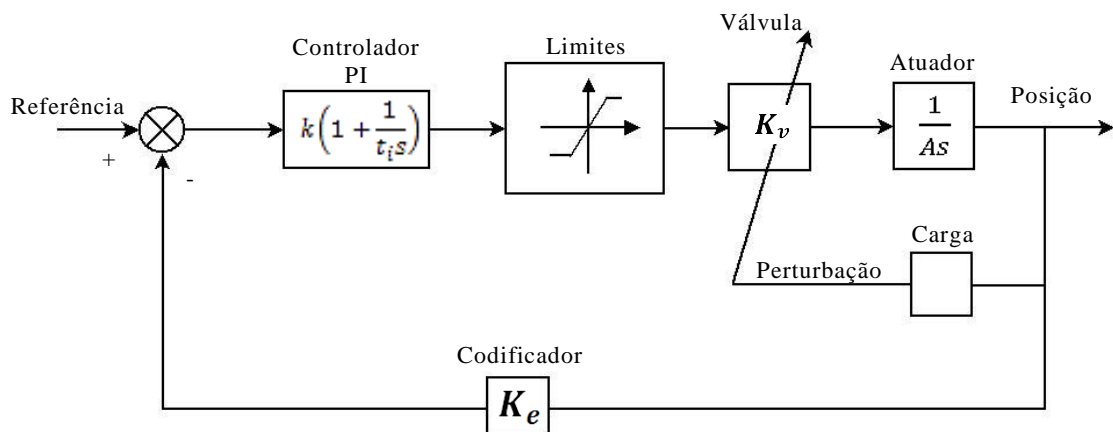


Figura 4.13 – Diagrama de blocos simplificado representativo do sistema de controlo de um eixo

Onde K_v é o ganho da válvula, que é influenciado pela carga, e K_e é o ganho do codificador.

Para aplicação deste controlador na programação do autómato recorreu-se ao bloco de função com o nome “PI”.

4.5 Modo Manual

O modo manual é um dos dois modos de funcionamento do manipulador hidráulico. Neste modo funcional é possível controlar cada eixo em malha fechada através da consola manual.

Pode-se seleccionar este modo no menu principal na interface, como representado na figura 4.14.

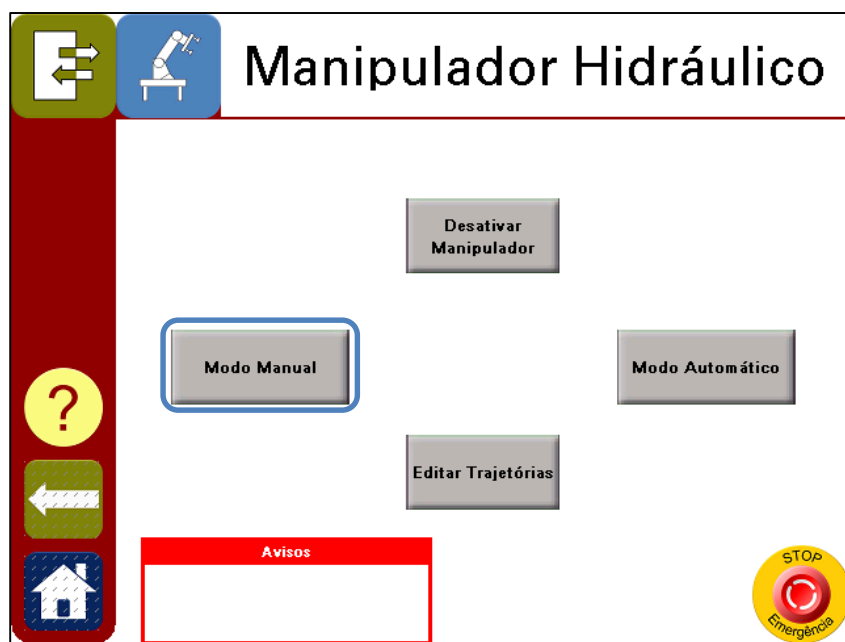


Figura 4.14 – Seleção do “Modo Manual”

De seguida é necessário ativar os movimentos manuais. Assim, no painel seguinte procede-se a essa ativação. Na figura 4.15 está representado o painel que ativa os movimentos e a sua ligação ao GRAFCET funcional dos movimentos manuais.

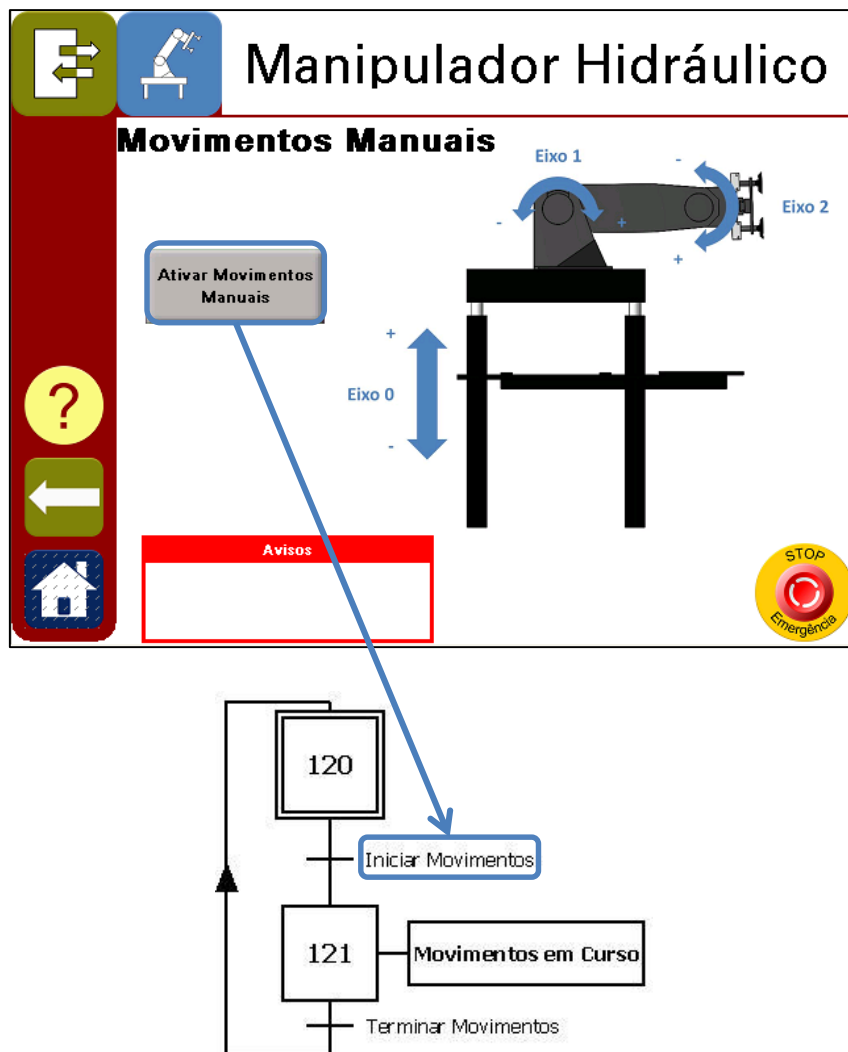


Figura 4.15 – Modo de Funcionamento e ativação dos movimentos manuais

Com a etapa “Movimentos em Curso” ativada é possível executar todas as operações com o manipulador, movimento de eixos e ativação de ventosas.

Para movimentar os eixos em malha fechada, ao se pressionar um dos botões da consola manual, a referência dada ao controlador é incrementada ficando o eixo a funcionar a velocidade constante, sendo esta velocidade de um valor particularmente baixo, por razões de segurança.

Contudo a maior vantagem do modo de funcionamento manual é a possibilidade do ensino de trajetórias.

4.5.1 Ensino de Trajetórias

Esta componente do “modo manual” é essencial para o funcionamento automático do manipulador. É aqui que se criam trajetórias pré programadas para depois serem usadas no “modo automático”.

Para ativação desta componente é necessário o utilizador encontrar-se no “modo manual”. Só depois de este modo estar ativo é que aparece a opção de “ensinar trajetórias”, figura 4.16.

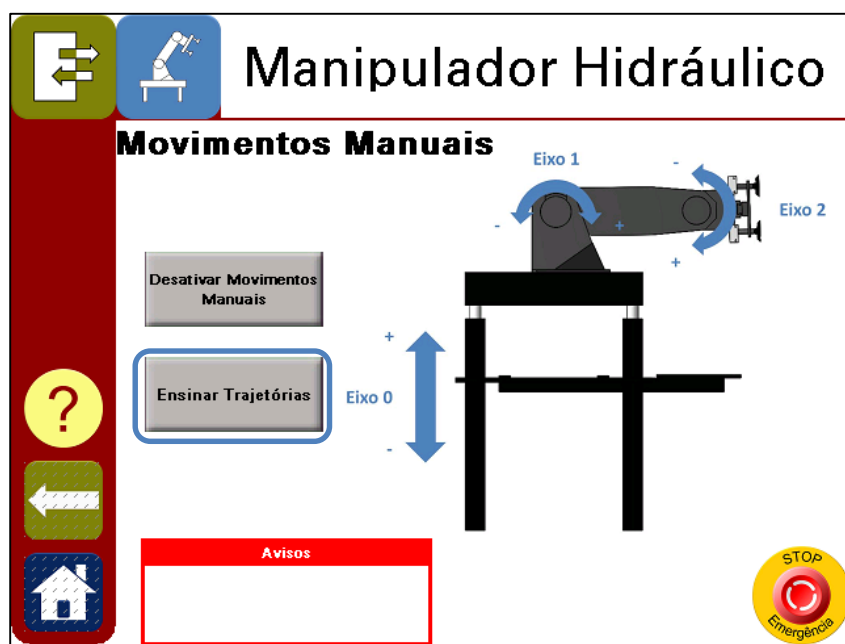


Figura 4.16 – Seleção do ensino de trajetórias

Após seleção desta componente aparecerá um painel como o da figura 4.17, aí pode-se dar início ao ensino. O utilizador pode então gravar a posição dos eixos pretendida, assim como o estado das ventosas, no máximo de 12 “pontos”. Esta gravação é executada ao premir o “botão ação” localizado na consola manual.

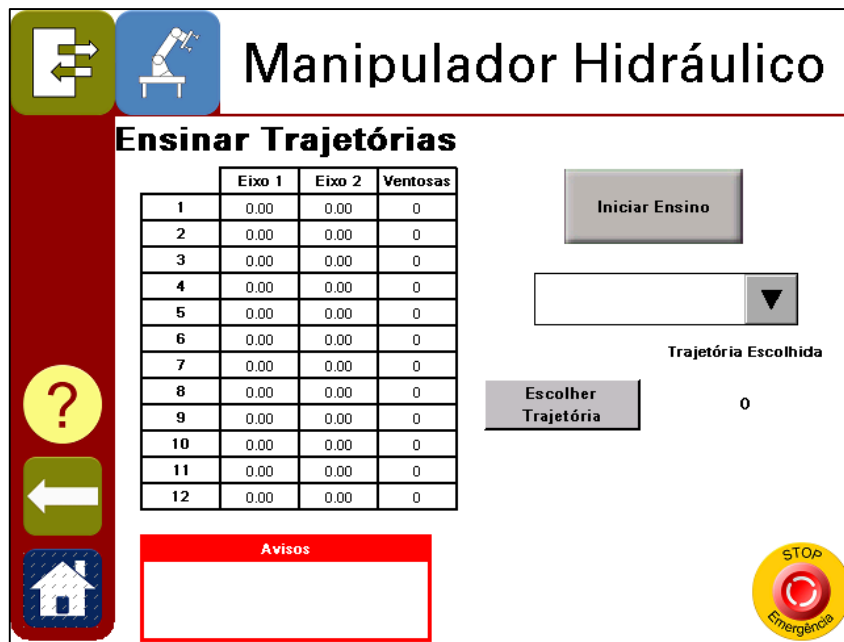


Figura 4.17 – Painel inicial de ensino de trajetórias

Quando os conjuntos “pontos” são gravados através do “botão ação”, os valores das posições dos eixos e do estado das ventosas são transferidos para uma estrutura de variáveis no autómato. Contudo, pretende-se que as trajetórias fiquem guardadas na HMI, não ocupando espaço de memória no autómato. Consequentemente, após se ter todos os pontos desejados gravados, é necessária a sua transferência para a HMI. Esta operação realiza-se escolhendo para que trajetória se transferem os valores. Existem quatro trajetórias disponíveis para seleção, premindo-se depois o botão “Transferir Trajetória”, como esquematizado na figura 4.18.

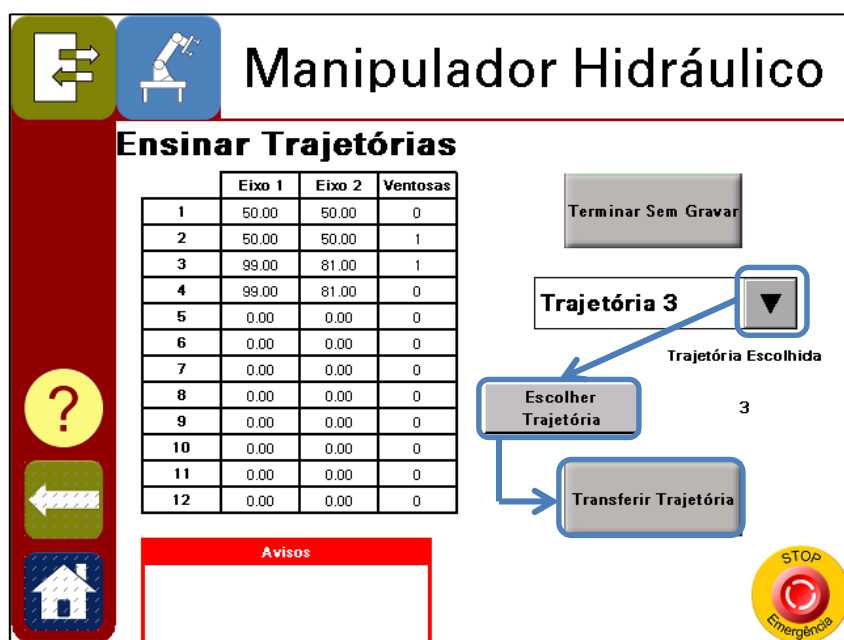


Figura 4.18 – Transferência da trajetória criada

Concluída a transferência, aparecerá um painel como o da figura 4.19. Aqui é necessário finalizar a gravação da trajetória preenchendo os necessários “Tempo de Movimento” e eventuais “Tempo de Espera”.

O “Tempo de Movimento” é o tempo que deve demorar o movimento do ponto anterior até ao ponto presente. Se não houver mudança de posição este tempo pode ser ignorado. Este tempo contém um limite inferior, que permite assim garantir que o manipulador não se desloque a uma velocidade excessiva.

O “Tempo de Espera” é o tempo que o manipulador deve permanecer num ponto antes de passar ao próximo.

A qualquer momento o utilizador pode sair deste painel usando a opção “Sair Sem Validar”. Contudo a trajetória não fica válida, ou seja, não pode ser utilizada no “modo automático”. Para poder validar a trajetória é necessário assegurar que os valores para o “Tempo de Movimento” estão dentro dos limites, o que se faz com a escolha da opção “Validar Trajetória”.

Manipulador Hidráulico

Trajetória 3

	Eixo 1	Eixo 2	Ventosas	T. Movi.	T. Espera
1	50.00	50.00	0	21.00 s	0 s
2	50.00	50.00	1	0.00 s	5 s
3	99.00	81.00	1	18.00 s	2 s
4	99.00	81.00	0	0.00 s	2 s

Nº de Posições: 4

Sair Sem Validar

Validar Trajetória

Avisos

STOP Emergência

Figura 4.19 – Edição da trajetória

No entanto estes tempos podem ser editados a qualquer momento através do menu principal em “Editar Trajetórias”.

4.6 Modo Automático

O “modo automático” é o segundo modo de funcionamento do manipulador hidráulico apresentado neste relatório. É neste modo que as trajetórias ensinadas no modo manual são “lidas”.

Para aceder a este modo é necessário selecioná-lo no menu principal da interface, como se observa na figura 4.20.

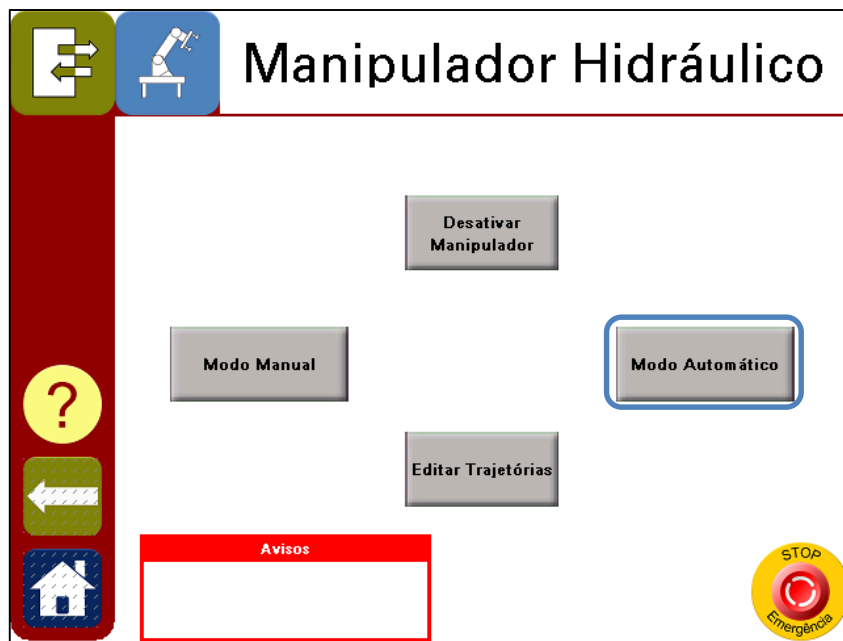


Figura 4.20 – Seleção do “Modo Automático”

O funcionamento deste modo de funcionamento pode ser representado pelo GRAFCET da figura 4.21.

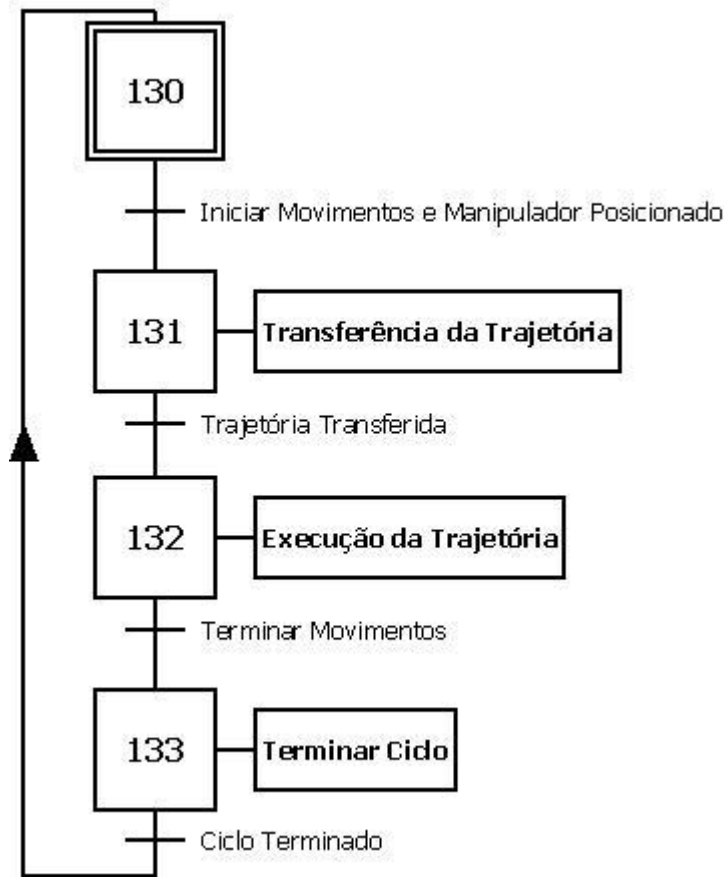


Figura 4.21 – GRAFCET do “Modo Automático”

Antes de se poder dar início aos movimentos automáticos, o manipulador tem de estar “posicionado”. Este posicionamento refere-se a uma posição definida como a posição “home”. Assim, para garantir este posicionamento existe no painel referente ao modo automático um botão, como na figura 4.22.



Figura 4.22 – Opção de “Posicionar Manipulador” no painel do “Modo Automático”

Depois de o manipulador estar posicionado, é então possível a realização de movimentos automáticos. O seu modo de operação é bastante parecido com o de ensino de programas, escolhe-se a trajetória desejada e pressiona-se o botão “Iniciar Movimentos”, como exemplificado na figura 4.23. Porém a trajetória escolhida tem de estar validada, senão não é possível iniciar movimentos.



Figura 4.23 – Escolha de trajetória automática

Após esta operação a trajetória fica escolhida. Esta é transferida da HMI para o autómato e executada em *loop* contínuo até ordem de terminar movimentos. Aí o manipulador termina o ciclo de movimentos, volta ao primeiro estado da trajetória, e só depois cessa os seus movimentos.

Uma particularidade deste modo é a forma como as referências dos eixos existentes nas trajetórias são transmitidas aos controladores. É usada uma fórmula que usa a função sen^2 , representada a seguir:

$$ref = ref_{ant} + (ref_{mov} - ref_{ant}) \times \text{sen}^2 \left(\frac{\pi}{2} \times \frac{\theta}{\theta_{mov}} \right)$$

Em que θ varia entre 0 e 1, conforme o “Tempo de Movimento” definido anteriormente. Para melhor compreensão da razão para esta aplicação observe-se o gráfico da figura 4.24.

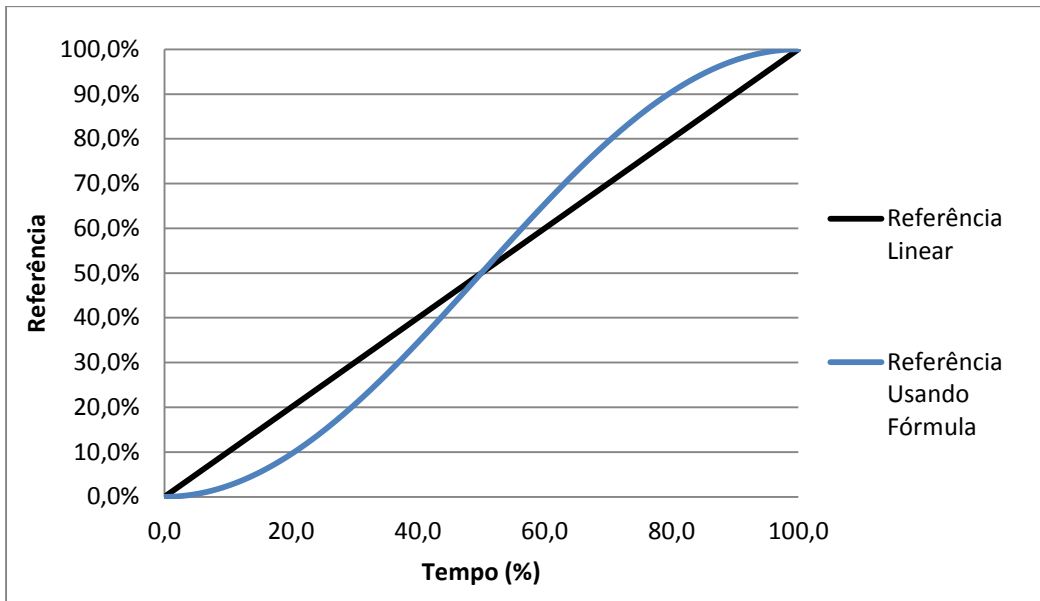


Figura 4.24 – Gráfico demonstrativo da diferença de referências

Analisando o gráfico é notável a diferença entre os dois tipos de fornecimento de referência ao controlador. Usando a fórmula apresentada, obtemos um movimento em que a chegada à posição pretendida tem uma tangente nula, não existindo um corte abrupto no crescimento da referência, diminuindo assim a possibilidade de sobre-elongação.

Devido ao facto de o “Tempo de Movimento” de todos os eixos ser o mesmo tem como vantagem os movimentos destes se iniciarem e terminarem simultaneamente.

Com isto os “movimentos automáticos” tornam-se precisos e sincronizados entre todos os eixos envolvidos, características bastante importantes neste tipo de aplicações. Assim o diagrama de blocos apresentado anteriormente é alterado como demonstrado na figura 4.25.

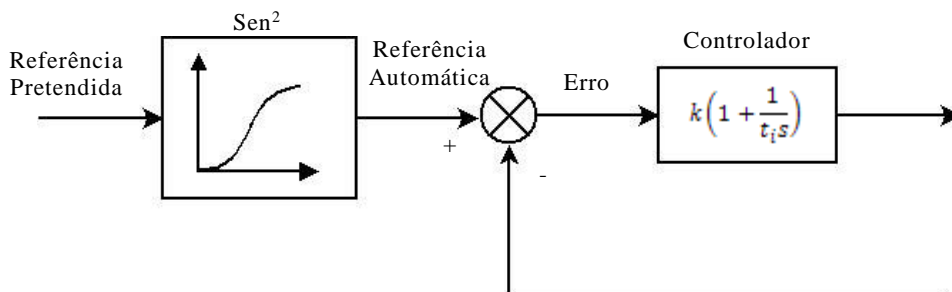


Figura 4.25 – Alterações ao diagrama de blocos devido à referência automática

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho propôs-se realizar a ativação do manipulador hidráulico U-Rob, dotando-o de todo o equipamento necessário ao seu funcionamento e de condições para o seu comando automático.

Foi possível a sua ativação a nível de componentes hidráulicos, pneumáticos e de instrumentação. Desenvolveu-se um armário de comando de forma a incluir o sistema elétrico necessário e todas as ligações elétricas, quer de comando, quer de instrumentação.

Encontrou-se solução para a falta de sistema de comando, de fonte de energia hidráulica e de interface numa banca hidráulica em funcionamento e disponível para utilização.

Criou-se um programa para o comando do manipulador. Este programa inclui dois modos de funcionamento, “manual” e “automático”, que se complementam e garantem uma atividade completa do manipulador. É possível também o ensino de trajetórias e registá-las de modo a poderem ser posteriormente utilizadas, sendo este um dos grandes objetivos traçados. Adotou-se uma interface existente na banca hidráulica de forma eficiente, gerando assim uma interface agradável para o utilizador e de uso fácil. Para melhor interatividade concebeu-se também uma consola manual, bastante útil no controlo de movimentos do manipulador e na tarefa de ensino de trajetórias.

Conseguiu-se uma solução para o melhoramento do alcance do manipulador, acoplando este a uma mesa hidráulica, ficando assim com um terceiro eixo vertical. Contudo este objetivo ficou aquém do desejado devido à falta de codificador linear na mesma.

Pode-se então dizer que no geral o trabalho cumpriu os seus objetivos, tendo sido bastante didático e enriquecedor, obtendo-se no final um resultado bastante satisfatório.

5.1 Trabalhos Futuros

Após a concretização deste trabalho existem alguns melhoramentos que podem e devem ser implementados de modo a manter o manipulador ativo e sempre atualizado.

Deve-se então implementar o controlo do terceiro eixo, munindo-o de um codificador linear e seguindo o modo de funcionamento dos outros dois eixos, ficando assim o manipulador com o alcance desejado inicialmente.

Devido às falhas notórias do bloco de função do controlador, propõe-se a criação de um controlador de raiz específico para esta aplicação.

Para aumentar a segurança do funcionamento do manipulador, especialmente no modo automático, seria interessante equipar o manipulador de vários equipamentos, nomeadamente uma barreira foto-elétrica e vacuostatos para garantir a utilização das ventosas pneumáticas.

Para concluir com esta série de trabalhos futuros propõe-se um trabalho mais ambicioso, mas também de grande importância. Este seria a criação de condições para o funcionamento autónomo do manipulador, através da utilização de um autómato, de uma interface e fonte de energia hidráulica próprias e exclusivas do manipulador.

6 Referências e Bibliografia

- [1] **Fernandes, Sara Fonseca Bazenga. 2012.** *Requalificação Tecnológica de Banca Óleo-hidráulica*. Porto : FEUP, 2012.
- [2] **Freitas, Francisco. 2011.** *Apontamentos de Hidráulica Proporcional*. Porto : FEUP, 2011.
- [3] **Freitas, Francisco. 2010.** *Apontamentos de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos*. Porto : FEUP, 2010.
- [4] **Freitas, Francisco. 1998.** *Elementos de Hidráulica Proporcional*. Porto : Hidromática, Soluções de Automação, 1998.
- [5] **Magalhães, Augusto. 2001.** *Manipulador Hidráulico de Dois Eixos*. Porto : FEUP, 2001.
- [6] **Schneider Electric. 2011.** *Modicon M340 Automation Platform*. 2011.
- [7] **Schneider Electric. 2011.** *Modicon M340 Using Unity Pro. Analog Input/Output Modules*. 2011.
- [8] **Schneider Electric. 2011.** *Modicon M340 Using Unity Pro. Discrete Input/Output Modules*. 2011.
- [9] **Schneider Electric. 2009.** *Unity Pro. Program Languages an Structure Reference Manual*. 2009.
- [10] **2012.** www.festo.pt. [Online] outubro de 2012.

ANEXO A: Listagem de Sinais

Régua de bornes X01

Borne	Descrição	Origem	Carta
1	Eixo 1 Solenoide (+)	Ficha 8p - Cinza	Eixo 1 - b8
2	Eixo 1 Solenoide (-)	Ficha 8p - Azul	Eixo 1 - b6
3	LVDT Eixo 1 Sinal (-)	Cabo 2B - Amarelo/Castanho	Eixo 1 - b30
4	LVDT Eixo 1 0VDC	Cabo 2B - Castanho/Cinza	Eixo 1 - b24
5	LVDT Eixo 1 Sinal (+)	Cabo 2B - Castanho/Rosa	Eixo 1 - z30
6	LVDT Eixo 1 10VDC	Cabo 2B - Azul/Vermelho	Eixo 1 - b22
7	Ref. 0V	Eixo 1 - b12	Eixo 1 - b20
8	Ref. ±10V	- Ref.1	Eixo 1 - z20
9	Saída +10VDC	_____	Eixo 1 - z32
10	Saída -10VDC	_____	Eixo 1 - b32
11	0 VDC	_____	Eixo 1 - b12
12	Enable	Eixo 1 - z32	Eixo 1 - z16
13	Control zero	_____	Eixo 1/2 - z28
14	Power zero	_____	Eixo 1/2 - b2
15	(Livre)	_____	_____
16	Alimentação	_____	Eixo 1/2 - z2
17	(Livre)	_____	_____
18	(Livre)	_____	_____
19	Eixo 2 Solenoide (+)	Ficha 8p - Verde	Eixo 2 - b8
20	Eixo 2 Solenoide (-)	Ficha 8p - Amarelo	Eixo 2 - b6
21	LVDT Eixo 2 Sinal (-)	Cabo 2B - Castanho/Verde	Eixo 2 - b30
22	LVDT Eixo 2 0VDC	Cabo 2B - Castanho	Eixo 2 - b24
23	LVDT Eixo 2 Sinal (+)	Cabo 2B - Cinza	Eixo 2 - z30
24	LVDT Eixo 2 10VDC	Cabo 2B - Violeta	Eixo 2 - b22
25	Ref. 0V	Eixo 2 - b12	Eixo 2 - b20
26	Ref. ±10V	- Ref.2	Eixo 2 - z20
27	Saída +10VDC	_____	Eixo 2 - z32
28	Saída -10VDC	_____	Eixo 2 - b32
29	0 VDC	_____	Eixo 2 - b12
30	Enable	Eixo 1 - z32	Eixo 2 - z16

Borne X02

Borne	Descrição
1	A 5 VDC (<i>Encoders</i>)
	B 0 VDC (<i>Encoders</i>)
2	A Fim de Curso 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2 Comum
	B Fim de Curso 1.1 (NC)
3	A Fim de Curso 1.2 (NC)
	B Fim de Curso 2.1 (NC)
4	A Fim de Curso 2.2 (NC)
	B Consola Manual - Monitorização
5	A Consola Manual - 24 VDC
	B Consola Manual - Segurança
6	A Consola Manual - Ventosas
	B Consola Manual - Ação
7	A Consola Manual - Eixo 0 (-)
	B Consola Manual - Eixo 0 (+)
8	A Consola Manual - Eixo 1 (-)
	B Consola Manual - Eixo 1 (+)
9	A Consola Manual - Eixo 2 (-)
	B Consola Manual - Eixo 2 (+)
10	A Atuação RM2 e RM3 - Ref. Autómato
	B Atuação RM4 - Enable
11	A Comum RM2, RM3, RM4 e RM5
	B Atuação RM5 - Válvulas Pneumáticas
12	A Ref. Auto. Eixo 1
	B Ref. Auto. Eixo 2
13	A Alimentação monit. RM1
	B Monit. Fonte RM1
14	A Ref. 0 Eixo 1
	B Ref. 0 Eixo 2
15	A 24 VDC Digital
	B (Livre)
16	A 0 VDC Comum
	B Monit. Bot. Emergência
17	A Saída Amplificador 1 (Livre)
	B Saída Amplificador 2 (Livre)
18	A Saída Amplificador 5 (<i>Encoder 2 - Sinal A</i>)
	B Saída Amplificador 8 (<i>Encoder 1 - Sinal A</i>)
19	A Saída Amplificador 6 (<i>Encoder 2 - Sinal B</i>)
	B Saída Amplificador 9 (<i>Encoder 1 - Sinal B</i>)
20	A Saída Amplificador 7 (<i>Encoder 2 - Sinal Z</i>)
	B Saída Amplificador 10 (<i>Encoder 1 - Sinal Z</i>)

Borne X03

Borne	Descrição
1	24 VDC
2	24 VDC
3	0 VDC
4	0 VDC - Válvulas Pneumáticas
5	24 VDC - Válvulas Pneumáticas

Borne X04

Borne	Descrição
1	Fase L
2	Fase L
3	Fase L
4	Neutro

Cabos de Ligação

Cabo	Fio Cor/ID	Função	Início	Ficha	Término
1A	1	Eixo 2 Solenoide (+)	Válv. Eixo 2	1 - Verde	X01-19
	2	Eixo 2 Solenoide (-)	Válv. Eixo 2	2 - Amarelo	X01-20
	3	Eixo 1 Solenoide (+)	Válv. Eixo 1	3 - Cinza	X01-01
	4	Eixo 1 Solenoide (-)	Válv. Eixo 1	4 - Azul	X01-02
1B	5	Ventosas Solenoide 0 V	Válv. Pneum.	5 - Rosa	X02-04
	6	Ventosas Solenoide 24 V	Válv. Pneum.	6 - Castanho	X02-05
2A	Branco	Encoder 2 - Sinal A	Encoder Eixo 2	2A - Pino 4	2B - Pino 4
	Castanho/Verde	LVDT Eixo 2 Pino 1	LVDT Eixo 2	2A - Pino 5	2B - Pino 5
	Castanho	LVDT Eixo 2 Pino 2	LVDT Eixo 2	2A - Pino 6	2B - Pino 6
	Verde	Fim de Curso 2.1 (NC)	Fim de Curso 2.1	2A - Pino 7	2B - Pino 7
	Amarelo	Encoder 2 - Sinal Z	Encoder Eixo 2	2A - Pino 8	2B - Pino 8
	Amarelo/Castanho	LVDT Eixo 1 Pino 1	LVDT Eixo 1	2A - Pino 9	2B - Pino 9
	Cinza	LVDT Eixo 2 Pino 3	LVDT Eixo 2	2A - Pino 10	2B - Pino 10
	Rosa	Encoder 2 - 12 VDC	Encoder Eixo 2	2A - Pino 11	2B - Pino 11
	Branco/Cinza	(Livre)	—————	2A - Pino 12	2B - Pino 12
	Azul	Fim de Curso 2.1 e 2.2 Comum	Fins de Curso 2	2A - Pino 13	2B - Pino 13
	Branco/Verde	Encoder 2 - Sinal B	Encoder Eixo 2	2A - Pino 16	2B - Pino 16
	Branco/Amarelo	(Livre)	—————	2A - Pino 17	2B - Pino 17
	Azul/Vermelho	LVDT Eixo 1 Pino 4	LVDT Eixo 1	2A - Pino 18	2B - Pino 18
	Cinza/Rosa	(Livre)	—————	2A - Pino 19	2B - Pino 19
	Violeta	LVDT Eixo 2 Pino 4	LVDT Eixo 2	2A - Pino 20	2B - Pino 20
	Branco/Rosa	(Livre)	—————	2A - Pino 21	2B - Pino 21
	Castanho/Rosa	LVDT Eixo 1 Pino 3	LVDT Eixo 1	2A - Pino 22	2B - Pino 22
	Castanho/Cinza	LVDT Eixo 1 Pino 2	LVDT Eixo 1	2A - Pino 23	2B - Pino 23
	Vermelho	Fim de Curso 2.2 (NC)	Fim de Curso 2.2	2A - Pino 24	2B - Pino 24
	Preto	Encoder 2 - 0V	Encoder Eixo 2	2A - Pino 25	2B - Pino 25
2B	Branco	Encoder 2 - Sinal A	2A - Pino 4	2B - Pino 4	Amplificador 5
	Castanho/Verde	LVDT Eixo 2 Pino 1	2A - Pino 5	2B - Pino 5	X01-21
	Castanho	LVDT Eixo 2 Pino 2	2A - Pino 6	2B - Pino 6	X01-22
	Verde	Fim de Curso 2.1 (NC)	2A - Pino 7	2B - Pino 7	X02-3B
	Amarelo	Encoder 2 - Sinal Z	2A - Pino 8	2B - Pino 8	Amplificador 7
	Amarelo/Castanho	LVDT Eixo 1 Pino 1	2A - Pino 9	2B - Pino 9	X01-03
	Cinza	LVDT Eixo 2 Pino 3	2A - Pino 10	2B - Pino 10	X01-23
	Rosa	Encoder 2 - 5 VDC	2A - Pino 11	2B - Pino 11	X02-1A
	Branco/Cinza	(Livre)	2A - Pino 12	2B - Pino 12	—————
	Azul	Fim de Curso 2.1 e 2.2 Comum	2A - Pino 13	2B - Pino 13	X02-2A
	Branco/Verde	Encoder 2 - Sinal B	2A - Pino 16	2B - Pino 16	Amplificador 6
	Branco/Amarelo	(Livre)	2A - Pino 17	2B - Pino 17	—————
	Azul/Vermelho	LVDT Eixo 1 Pino 4	2A - Pino 18	2B - Pino 18	X01-06
	Cinza/Rosa	(Livre)	2A - Pino 19	2B - Pino 19	—————
	Violeta	LVDT Eixo 2 Pino 4	2A - Pino 20	2B - Pino 20	X01-24
	Branco/Rosa	(Livre)	2A - Pino 21	2B - Pino 21	—————
Castanho/Rosa	LVDT Eixo 1 Pino 3	2A - Pino 22	2B - Pino 22	X01-05	

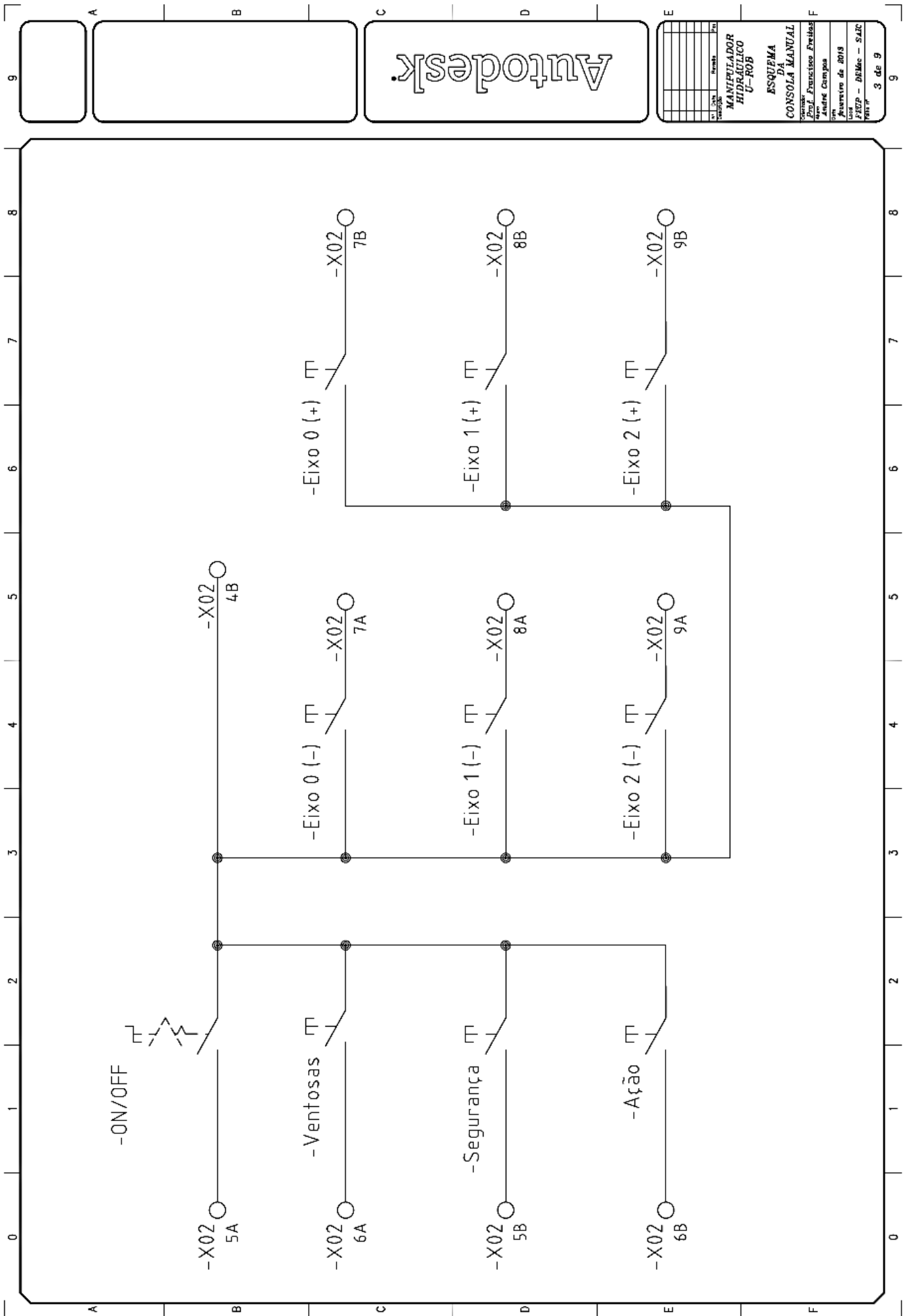
Cabos de Ligação

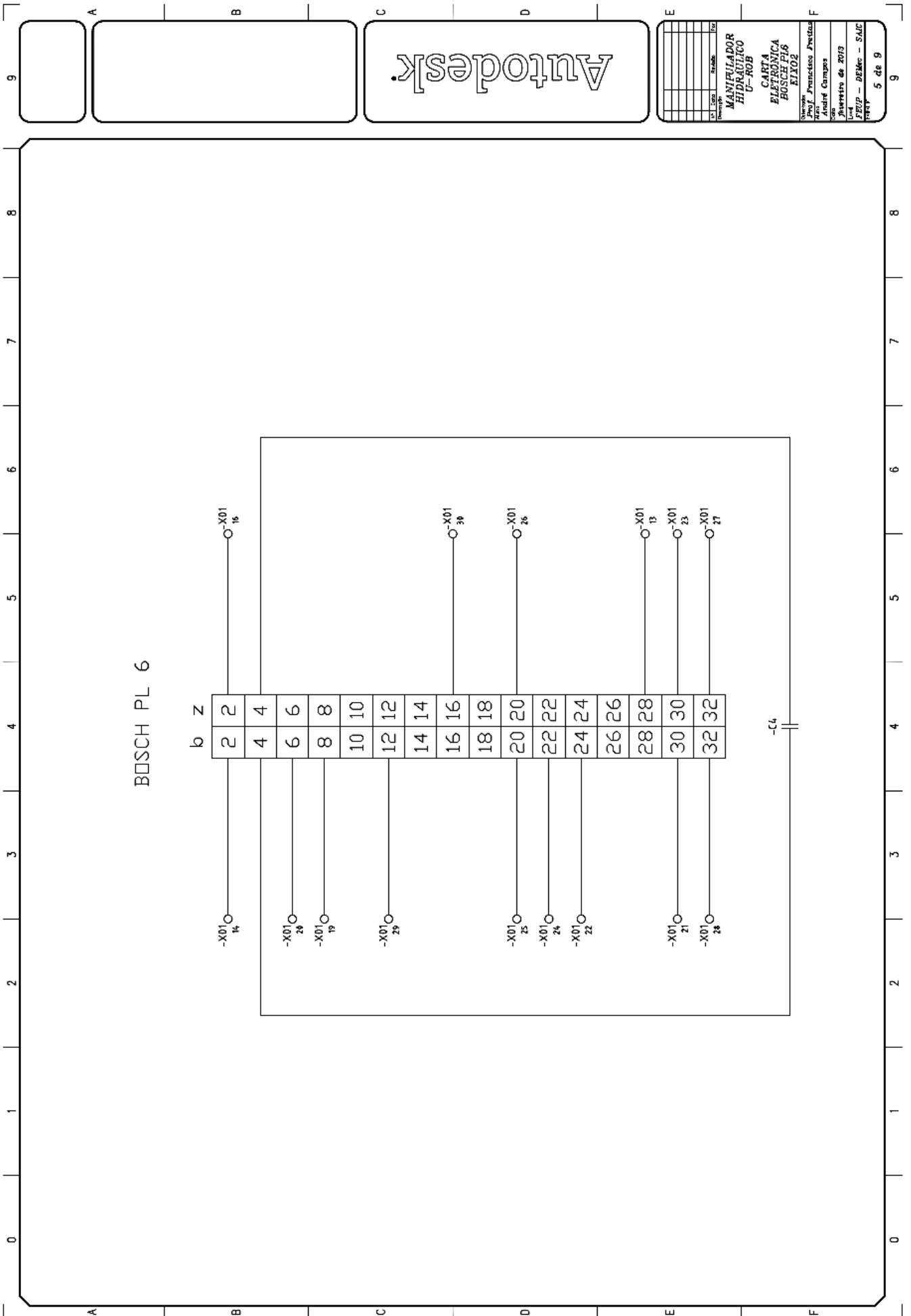
Cabo	Fio Cor/ID	Função	Início	Ficha	Término
2B	Castanho/Cinza	LVDT Eixo 1 Pino 2	2A - Pino 23	2B - Pino 23	X01-04
	Vermelho	Fim de Curso 2.2 (NC)	2A - Pino 24	2B - Pino 24	X02-4A
	Preto	Encoder 2 - 0 V	2A - Pino 25	2B - Pino 25	X02-1B
3A	Verde	Fim de Curso 1.1 (NC)	Fim de Curso 1.1	3A - Pino 1	3B - Pino 1
	Laranja	(Livre)	—————	3A - Pino 2	3B - Pino 2
	Azul	Fim de Curso 1.2 (NC)	Fim de Curso 1.2	3A - Pino 3	3B - Pino 3
	Vermelho	Fim de Curso 1.1 e 1.2 Comum	Fins de Curso 1	3A - Pino 4	3B - Pino 4
	Amarelo	Encoder 1 - Sinal B	Encoder Eixo 1	3A - Pino 5	3B - Pino 5
	Castanho	Encoder 1 - Sinal A	Encoder Eixo 1	3A - Pino 6	3B - Pino 6
	Branco	Encoder 1 - Sinal Z	Encoder Eixo 1	3A - Pino 7	3B - Pino 7
	Violeta	(Livre)	—————	3A - Pino 14	3B - Pino 14
	Transparente	(Livre)	—————	3A - Pino 15	3B - Pino 15
	Rosa	Encoder 1 - 0 V	Encoder Eixo 1	3A - Pino 17	3B - Pino 17
	Cinza	Encoder 1 - 5 VDC	Encoder Eixo 1	3A - Pino 18	3B - Pino 18
	Preto	(Livre)	—————	3A - Pino 19	3B - Pino 19
3B	Verde	Fim de Curso 1.1 (NC)	3A - Pino 1	3B - Pino 1	X02-2B
	Azul/Vermelho	(Livre)	3A - Pino 2	3B - Pino 2	—————
	Azul	Fim de Curso 1.2 (NC)	3A - Pino 3	3B - Pino 3	X02-3A
	Vermelho	Fim de Curso 1.1 e 1.2 Comum	3A - Pino 4	3B - Pino 4	X02-2A
	Amarelo	Encoder 1 - Sinal B	3A - Pino 5	3B - Pino 5	Amplificador 8
	Castanho	Encoder 1 - Sinal A	3A - Pino 6	3B - Pino 6	Amplificador 9
	Branco	Encoder 1 - Sinal Z	3A - Pino 7	3B - Pino 7	Amplificador 10
	Violeta	(Livre)	3A - Pino 14	3B - Pino 14	—————
	Cinza/Rosa	(Livre)	3A - Pino 15	3B - Pino 15	—————
	Rosa	Encoder 1 - 0 V	3A - Pino 17	3B - Pino 17	X02-1B
	Cinza	Encoder 1 - 5 VDC	3A - Pino 18	3B - Pino 18	X02-1A
	Preto	(Livre)	3A - Pino 19	3B - Pino 19	—————
4	1	Alimentação monit. RM1	X02-13B	A1	X1:15B (Banca)
	2	Atuação RM2/3 - Ref. Autómato	X02-10A	A2	RM2
	3	Atuação RM4 - Enable	X02-10B	A3	
	4	Atuação RM5 - Válvulas Pneumáticas	X02-11B	A4	
	5	Encoder 2 - Sinal A	X02-18A	A5	X1:19C (Banca)
	6	Encoder 2 - Sinal B	X02-19A	A6	X1:20A (Banca)
	7	Encoder 2 - Sinal Z	X02-20A	A7	X1:20B (Banca)
	8	Encoder 1 - Sinal A	X02-18B	A8	X1:20C (Banca)
	9	Encoder 1 - Sinal B	X02-19B	A9	X1:21A (Banca)
	10	Encoder 1 - Sinal Z	X02-20B	A10	X1:21B (Banca)
	11	Fim de Curso 2.1 (NC)	X02-3B	B1	X1:16B (Banca)
	12	Fim de Curso 2.2 (NC)	X02-4A	B2	X1:16C (Banca)
	13	Consola Manual - Ventosas	X02-6A	C1	X1:21C (Banca)
	14	Consola Manual - Eixo 0 (-)	X02-7A	C2	X1:22A (Banca)
	15	Consola Manual - Eixo 1 (-)	X02-8A	C3	X1:22B (Banca)
	16	Consola Manual - Eixo 2 (-)	X02-9A	C4	X1:22C (Banca)

Cabos de Ligação

Cabo	Fio Cor/ID	Função	Início	Ficha	Término
4	17	Consola Manual - Monitorização	X02-4B	C5	X1:23A (Banca)
	18	Consola Manual - Segurança	X02-5B	C6	X1:23B (Banca)
	19	Consola Manual - Ação	X02-6B	C7	X1:23C (Banca)
	20	Consola Manual - Eixo 0 (+)	X02-7B	C8	X1:24A (Banca)
	21	Consola Manual - Eixo 1 (+)	X02-8B	C9	X1:24B (Banca)
	22	Fim de Curso 1.1 (NC)	X02-2B	D1	X1:15C (Banca)
	23	Consola Manual - Eixo 2 (+)	X02-9B	C10	X1:24C (Banca)
	24	Fim de Curso 1.2 (NC)	X02-3A	D2	X1:16A (Banca)
	Cinza	Ref. Auto. Eixo 1	X02-12A	B3	RM2
	Amarelo	Ref. 0 Eixo 1	X02-14A	B4	RM3
	Laranja	Ref. Auto. Eixo 2	X02-12B	B5	RM2
	Violeta	Ref. 0 Eixo 2	X02-14B	B6	RM3
	Rosa	(Livre)	_____	D3	_____
	Bege	(Livre)	_____	D4	_____
	Azul	Monit. Bot. Emergência	X02-16B	D5	X1:17A (Banca)
	Branco	(Livre)	_____	D6	_____
	Verde	(Livre)	_____	D7	_____
	Vermelho	24 VDC Digital	X02-15A	D8	X1:28A (Banca)
	Castanho	(Livre)	_____	D9	_____
	Preto	0 VDC Comum	X02-16A	D10	X1:27A (Banca)
5	Azul/Vermelho	Consola Manual – Ação	Consola Manual	Pino 1	X02:6B
	Branco	Consola Manual – Monitorização	Consola Manual	Pino 2	X02:4B
	Branco/Verde	Consola Manual – Eixo 1 (-)	Consola Manual	Pino 3	X02:8A
	Castanho	Consola Manual – Eixo 2 (+)	Consola Manual	Pino 4	X02:9B
	Verde	Consola Manual – Eixo 2 (-)	Consola Manual	Pino 5	X02:9A
	Castanho/Verde	(Livre)	_____	Pino 6	_____
	Amarelo	Consola Manual – Eixo 0 (+)	Consola Manual	Pino 7	X02:7B
	Cinza	Consola Manual – Ventosas	Consola Manual	Pino 8	X02:6A
	Malha	_____	_____	Pino 9	_____
	Violeta	Consola Manual – Eixo 0 (-)	Consola Manual	Pino 10	X02:7A
	Cinza/Rosa	Consola Manual – Eixo 1 (+)	Consola Manual	Pino 11	X02:8B
	Azul	(Livre)	_____	Pino 12	_____
	Vermelho	Consola Manual – 24VDC	Consola Manual	Pino 13	X02:5A
	Preto	Consola Manual – Segurança	Consola Manual	Pino 14	X02:5B
	Rosa	(Livre)	_____	Pino 15	_____

ANEXO B: Esquemas Eléctricos





9

A

B

C

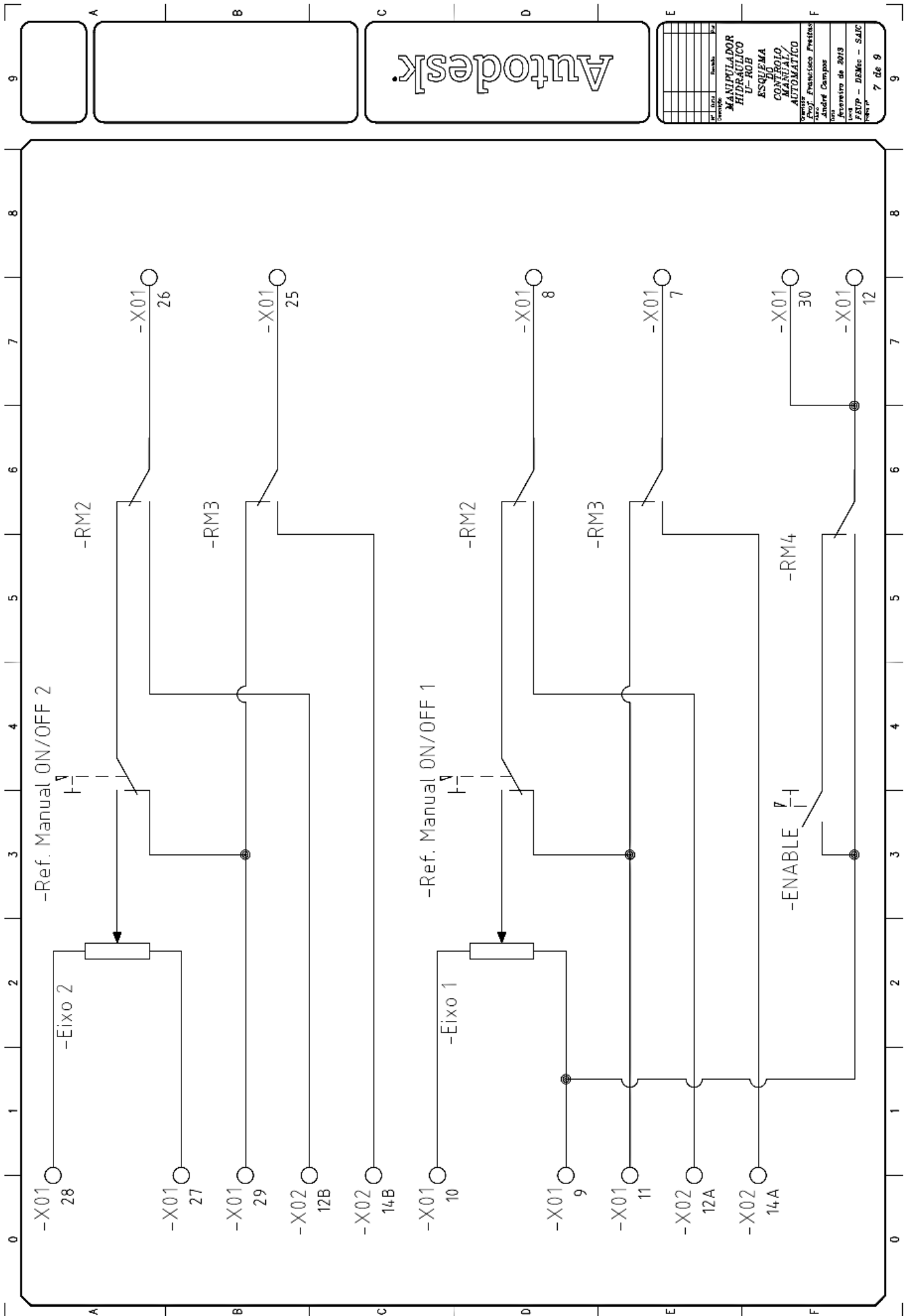
D

E

F

Data	Hora	Local	Assinatura

MANIPULADOR HIDRÁULICO U-ROB
CARTA ELETRÓNICA BOSCH PLUS E1Y02
 Desenvolvido por: Francisco Freitas
 Projeto: André Campos
 Versão: 1.0
 Setembro de 2013
 FEUP - DEEne - SAUC
 5 de 9



ANEXO C: Esquemas Hidráulico e Pneumático

