



Escola de Engenharia
Universidade do Minho

Carlos Manuel Rodrigues Machado

Sistema Inteligente para Auto-parametrização em Tempo Real de Serra Circular para Corte de Tubos Metálicos

Guimarães, 2003

Sistema Inteligente para Auto-parametrização em Tempo Real de Serra Circular para Corte de Tubos Metálicos

Carlos Manuel Rodrigues Machado

UNIVERSIDADE DO MINHO

Escola de Engenharia

Departamento de Electrónica Industrial

2003

Carlos Manuel Rodrigues Machado

**Sistema Inteligente para Auto-parametrização
em Tempo Real de Serra Circular para Corte de
Tubos Metálicos**

Dissertação submetida na Universidade do
Minho para a obtenção de grau mestre em
Engenharia Electrónica Industrial

UNIVERSIDADE DO MINHO
Escola de Engenharia
Departamento de Electrónica Industrial

2003

Dissertação realizada sob a orientação científica
do Doutor José de Araújo Mendes, Professor
Auxiliar do Departamento de Electrónica
Industrial da Universidade do Minho

à minha família

RESUMO

A crescente necessidade do aumento de produtividade e da eficiência nas máquinas e nos processos industriais, impulsiona a adaptação de técnicas cada vez mais sofisticadas, sendo possíveis graças a tecnologias de controlo por computador.

No corte por arranque de apara, usando um controlo em tempo real, é possível adaptar os parâmetros de corte para obter mais produtividade, eficiência e qualidade de corte. É neste contexto que se apresenta o trabalho efectuado no âmbito desta dissertação, orientado ao estudo e implementação de um sistema de auto-parametrização em tempo real de serra circular para corte de tubos metálicos.

As máquinas tradicionais de corte por arranque de apara de tubos metálicos usam uma velocidade constante de corte. Este modo de funcionamento, em conjunto com os diferentes perfis de tubos, expõe a serra de corte a forças variáveis. Estas forças variáveis contribuem para uma má qualidade de corte e um maior desgaste na serra. Assim, o processo é parametrizado tendo em conta as piores condições que ocorrem na serra e na máquina.

Usando um algoritmo de controlo, de forma a ajustar a velocidade de corte em função do esforço da serra, é possível obter um corte mais rápido e eficiente.

A solução proposta baseou-se na implementação, num serrote automático, de um sistema de corte inteligente, controlado por um autómato industrial, com o objectivo de se obter um sistema de imediata comercialização.

Foi ainda implementado um sistema de monitorização do processo corte, usando *LabView* e OPC (Object Linking and Embedding – for Process Control).

ABSTRACT

The growing need in machines and industrial processes' increasing productivity and efficiency leads to the appliance of more sophisticated techniques, which are possible due to computer control technologies.

In the shred extract cutting-off, using a real time control, it is possible to adapt the cutting-off parameters, in order to obtain more productivity, more efficiency and a better cutting-off quality. This is what this dissertation is actually about, which is oriented to the study and to the implementation of an auto-parameterization system, in real time, of the circular saw cutting-off for metallic tubes.

The traditional shred cutting-off machines for metallic tubes use a constant cutting-off velocity. This mode of operation, combined with different tube profiles, exposes the cutting saw to variable forces. These variable forces contribute to a bad quality in the cutting-off process and also to a greater saw worn-out. This way, the parameterization is set in the worst cases which both occur in the saw and in the machine.

Using a control algorithm, in order to adjust the cutting-off velocity to the saw strain, it is possible to get a more efficient and faster cutting-off.

The proposed solution was based on the implementation of an intelligent cutting-off system in an automatic cutting-off machine, controlled by an industrial programmable logic controller, in order to obtain a system of immediate commerce.

A cutting-off process monitor system has also been implemented, using *LabView* and OPC (Object Linking and Embedding – for Process Control).

AGRADECIMENTOS

O autor deseja manifestar o seu mais sincero agradecimento a todas as instituições e pessoas que, com a sua valiosa colaboração, contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível.

Ao Eng.º Barbosa Ferreira, pela disponibilidade e por ter posto ao dispor recursos materiais e humanos da empresa Maquisis, que permitiram a elaboração e conclusão do trabalho realizado nesta dissertação.

Ao Doutor Jaime Fonseca, agradeço a colaboração e apoio prestados durante as várias fases deste trabalho e as suas sugestões.

Ao Doutor José de Araújo Mendes, tenho a agradecer a orientação científica, o incentivo, as sugestões e discussões sempre tão oportunas, a confiança e o apoio constantes ao longo de todo o trabalho. Tenho ainda a agradecer-lhe as sugestões feitas durante a escrita da dissertação e revisão final.

À minha família que me apoiou serenamente.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABELAS	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Definição do problema	2
1.2 Corte com serra de disco	4
1.3 Estado de Arte	6
1.4 Objectivos e Abordagem	8
1.5 Organização da Dissertação	9
2 MODELOS E CONTROLADORES	10
2.1 Modelos do processo de corte	10
2.1.1 Modelo do corte de perfil circular	12
2.1.2 Modelo do corte de perfil quadrado	13
2.2 Modelo “template” para teste dos controladores	14
2.3 Simulações	15
2.3.1 Velocidade constante (sem controlador)	16
2.3.2 Controlador proporcional	17
2.3.3 Controlador PI	19
2.3.4 Controlador Fuzzy	22
2.3.5 Resultados das simulações	24
3 IMPLEMENTAÇÃO	26
3.1 Serrote automático MAQUISIS	26
3.1.1 Características técnicas	28
3.1.2 Disposição da máquina	28
3.1.3 Descrição do <i>hardware</i> da máquina	29
3.2 Software implementado	34
3.2.1 Módulos de <i>Software</i> da máquina	35
3.2.2 Requisitos de funcionamento dos módulos	35

3.3	Corte Inteligente	41
3.3.1	Sensores	43
3.3.2	Actuadores	43
3.3.3	Cálculos de <i>Setup</i>	44
3.3.4	Sequência de corte	46
3.3.5	Controlador	49
3.4	Monitorização do corte	51
3.4.1	Implementação do sistema de monitorização	52
4	RESULTADOS	55
5	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	60
5.1	Conclusões	60
5.2	Trabalho Futuro	62
6	BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS		A1
ANEXO 1:	Artigo apresentado na conferência ISIE2003	A2
ANEXO 2:	Manual de utilizador do serrote automático Maqisis com corte angular	A9
ANEXO 3:	Estrutura do programa do serrote automático Maqisis com corte angular	A28
ANEXO 4:	Fluxogramas da sequência de cada módulo do programa	A30
ANEXO 5:	Listagem do módulo de corte do programa do serrote automático Maqisis	A34

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Material a retirar durante o corte.</i>	4
<i>Figura 2: Corte com serra circular</i>	5
<i>Figura 3: Motor, redução mecânica e serra</i>	7
<i>Figura 4: Modelo de corte de tubo ou barra circular</i>	12
<i>Figura 5: Modelo de corte de tubo ou barra quadrada</i>	13
<i>Figura 6: Modelo do template de corte</i>	15
<i>Figura 7: Corte de tubo circular com velocidade constante</i>	16
<i>Figura 8: Controlador Proporcional</i>	17
<i>Figura 9: Corte de tubo circular usando controlador proporcional (ref=120)</i>	18
<i>Figura 10: Corte de tubo circular usando controlador proporcional (ref=150)</i>	19
<i>Figura 11: Controlador PI</i>	19
<i>Figura 12: Corte de tubo circular usando controlador PI (ref=120)</i>	20
<i>Figura 13: Corte de tubo circular usando controlador PI (ref=150)</i>	21
<i>Figura 14: Corte de tubo circular usando controlador PI (ref=150) sem saturação de velocidade de avanço</i>	22
<i>Figura 15: Controlador Fuzzy</i>	22
<i>Figura 16: Corte de tubo circular usando controlador Fuzzy (ref=120)</i>	23
<i>Figura 17: Corte de tubo circular usando controlador Fuzzy (ref=150)</i>	24
<i>Figura 18: Cortes possíveis no serrote automático de corte angular Maquisis</i>	27
<i>Figura 19: Disposição do serrote automático Maquisis</i>	28
<i>Figura 20: Serrote automático MAQUISIS, pormenor do Armazém</i>	29
<i>Figura 21: Serrote automático MAQUISIS, Armazém (armazém inclinado)</i>	30
<i>Figura 22: Serrote automático MAQUISIS, Arraste</i>	31
<i>Figura 23: Serrote automático MAQUISIS – esbarro e aparadeira</i>	31
<i>Figura 24: Serrote automático MAQUISIS – Mordentes</i>	32
<i>Figura 25: Serrote automático MAQUISIS – Corte (vista traseira)</i>	33
<i>Figura 26: Rotação do ângulo de corte</i>	33
<i>Figura 27: Serrote automático MAQUISIS – Descarga</i>	34

<i>Figura 28: Esquema de controlo do corte inteligente</i>	42
<i>Figura 29: Engrenagens do cabeçote da serra</i>	43
<i>Figura 30: Sistema mecânico para o movimento do avanço</i>	44
<i>Figura 31: Sequência de corte</i>	47
<i>Figura 32: Evolução do binário da serra em vazio nos primeiros minutos</i>	48
<i>Figura 33: Esquema de controlo do processo de corte</i>	50
<i>Figura 34: Layout do sistema de monitorização</i>	52
<i>Figura 35: Diagrama principal do programa de LabView</i>	53
<i>Figura 36: Diagrama do bloco “read OPC” do programa de LabView</i>	53
<i>Figura 37: Processo de corte (dados reais)</i>	55
<i>Figura 38: Evolução da qualidade da serra no corte convencional e no corte inteligente</i>	58

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1: Gama de velocidades de corte para uma serra STARK</i>	5
<i>Tabela 2: Resultados das simulações dos vários controladores</i>	25
<i>Tabela 3: Prós e Contras dos controladores simulados</i>	25
<i>Tabela 4: Características técnicas do serrote automático Maquisis</i>	28
<i>Tabela 5: Módulos no software do serrote automático Maquisis</i>	35
<i>Tabela 6: Dados experimentais do processo de corte</i>	57

1 INTRODUÇÃO

Na indústria metalo-mecânica é necessário efectuar cortes em tubos ou perfis para obter peças que podem ser usadas na construção de caixilhos, quadros, condutas e estruturas metálicas. Essas peças são cortadas de acordo com a medida desejada, a partir de segmentos de um tamanho *standard*. Por conseguinte, torna-se necessário recorrer a máquinas de corte ou a serrotes.

O corte pode ser efectuado, usando uma máquina de corte manual ou uma de corte automático. Na máquina de corte manual, o operador define a velocidade da serra, manipulando a velocidade de avanço de acordo com a força exercida pela serra. Esta máquina é usada quando a quantidade de peças a produzir é baixa, visto que a alimentação do tubo a cortar é efectuada de uma forma manual.

A máquina de corte automático é usada quando se pretende efectuar grandes quantidades de peças, pois a alimentação dos tubos e o processo de corte são automáticos.

Tradicionalmente, as máquinas de corte automático de tubos usam velocidades de corte constantes. A velocidade de corte varia em função do tipo de serra, do material a cortar e, ainda, da forma deste. Por conseguinte, é necessário parametrizar a velocidade de corte para o pior caso. O funcionamento da máquina necessita de um operário especializado com constantes intervenções, causadas pela alteração do material a cortar, ou mesmo, devido ao desgaste da serra de corte. Uma incorrecta parametrização pode facilmente causar problemas de desgaste na máquina ou, por outro lado, afectar o rendimento da mesma.

O trabalho correspondente a esta dissertação foi efectuado na empresa Maquisis - Sistemas e Automação S.A., com o intuito de melhorar a *performance* do processo de corte de uma máquina de corte automático.

A Maquisis, S.A. foi fundada em Janeiro de 1991, para desenvolvimento e fornecimento de soluções na área da automação. Dos vários produtos disponíveis, destacam-se: máquina de corte automático de tubos e perfis metálicos, máquinas de dobragem bidimensional e tridimensional de arame e tubos, *transfers* para furação, broqueamento e roscagem automática. A Maquisis tem, também, desenvolvido uma linha completa de equipamentos *standard* (CNC para dobragem de arame, CNC para dobragem de tubo, serrotes automáticos e *transfers* CNC).

A Maquisis está preparada para resolver problemas na área da automação de indústria, de estações locais de trabalho e de linhas de montagem automáticas. Esta encontra-se munida de recursos materiais e humanos de elevado nível de formação e treino, com larga experiência e prática de engenharia no design, na construção e em serviços de pós-venda das soluções fornecidas.

A Maquisis lidera a Investigação e Desenvolvimento Tecnológico Português na área de desenvolvimento, projecto e fabrico de equipamentos para a automação industrial.

A optimização do processo de corte nas máquinas de corte automático faz com que o serrote Maquisis seja um dos mais tecnologicamente avançados do mercado.

1.1 Definição do problema

As máquinas de corte automático para corte de tubos ou perfis metálicos usam uma metodologia de corte por arranque de aparas. Esta metodologia consiste em arrancar pequenas aparas de material a cada passagem do dente da serra. A quantidade de material a retirar por dente depende da geometria deste. Em cada dente é exercida uma força proporcional ao material a retirar. A força exercida na serra é o somatório das forças exercidas em cada dente que está em contacto com a peça a cortar. A velocidade de corte define a quantidade de material a retirar em cada dente.

Com uma velocidade de corte constante, a serra sofre forças variáveis ao longo do corte. Isto deve-se ao facto de a quantidade de material a arrancar não ser constante. No caso, por exemplo, de um tubo redondo (Figura 1 (a)), a serra terá que arrancar mais material no início e no fim do corte. No momento em que se encontra no meio do tubo, esta arranca menos quantidade de material, sujeitando a serra a um menor esforço. Devido a este facto, é necessário parametrizar a velocidade de corte para o pior caso, isto é, quando a serra está a cortar o início ou o fim do tubo. Se, por um lado, o valor da velocidade de corte for excessivo, o desgaste da serra e da máquina será acentuado. Por outro lado, se a velocidade de corte for demasiado baixa, o tempo de corte será maior, reduzindo, assim, o rendimento da máquina de corte automático.

No corte por arranque de apara, a quantidade de material a arrancar está directamente relacionada com a força que a serra apresenta em cada momento [1].

Na Figura 1, pode-se ver a quantidade de material a retirar quando é efectuado o corte. Essa quantidade varia em função da forma da secção do tubo. Na Figura 1, pode-se verificar que o material a retirar no tubo (a) é completamente diferente da barra (b), apesar de terem a mesma forma exterior. No caso da barra (b), a quantidade de material a retirar é maior no centro. Em tubos quadrados, as diferenças na quantidade de material a retirar a cada momento são ainda maiores. Pode-se verificar no tubo (c) que a quantidade de material a retirar é muito maior no início e no fim, pois a serra tem que vencer as paredes da esquerda e da direita. Durante o restante espaço, a serra terá apenas que retirar o material das paredes superior e inferior do tubo quadrado. Isto implica uma grande variação de forças na serra e na máquina. Este problema pode, por vezes, ser resolvido, bastando para isso, efectuar o corte numa direcção mais favorável. Pode-se verificar que no tubo (Figura 1 (d)), a quantidade de material a retirar se mantém constante durante quase todo o corte. Se em algumas situações é possível equilibrar a quantidade de material a retirar durante o corte usando a orientação da peça a cortar, noutras, essa orientação não tem qualquer efeito. Pode-se concluir, portanto, que a parametrização da velocidade de corte depende também do formato e da espessura do tubo ou barra a cortar.

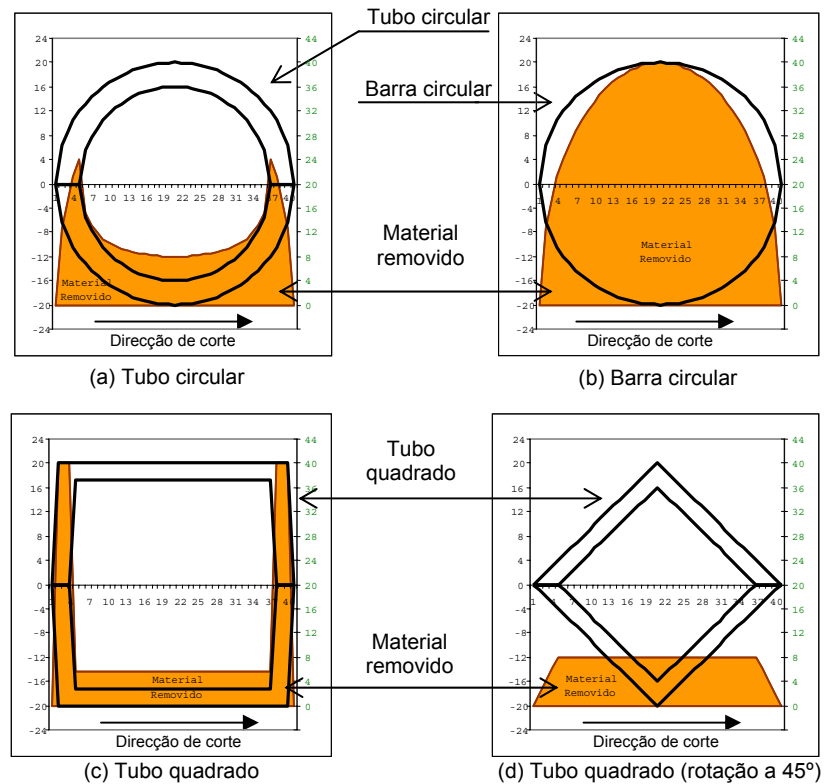


Figura 1: Material a retirar durante o corte.

1.2 Corte com serra de disco

A parametrização do corte por arranque de apara, usando uma serra de disco (Figura 2), é realizada através da regulação da velocidade da serra (velocidade tangencial) e da velocidade a que esta avança (velocidade perpendicular ou velocidade de avanço). Estes parâmetros definem a velocidade de corte, estando directamente relacionados, sendo necessária uma correcta parametrização para a obtenção de um corte de qualidade. No caso do valor da velocidade de avanço ser demasiado elevado em relação à velocidade da serra, verifica-se um arranque de material demasiado elevado por dente. Desta forma, causam-se rebarbas no material, podendo-se mesmo danificar os dentes da serra. Caso a velocidade da serra seja demasiado elevada em relação à velocidade de avanço, ocorre um efeito de polimento, o que leva ao aumento de temperatura da serra e do material a cortar e, conseqüentemente, da perda de características de corte da serra de disco.

A parametrização destas duas velocidades depende de vários factores, nomeadamente: do tipo de material a cortar, do diâmetro da serra, do número de dentes e do formato dos dentes da serra.

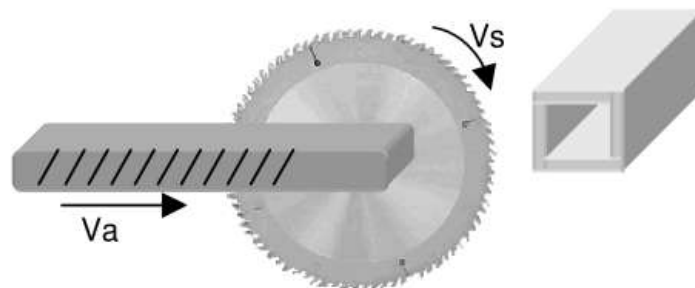


Figura 2: Corte com serra circular

Alguns parâmetros como a espessura, a resistência mecânica e a dissipação de calor do disco estão incluídos nos valores de velocidade de corte fornecidos pelos fabricantes dos discos (Tabela 1).

Os fabricantes de serras fornecem tabelas com gamas de velocidade de corte para cada tipo de material. Estas tabelas permitem calcular aproximadamente a velocidade da serra e a velocidade de avanço para o material a cortar.

Serra de Disco (d=400, Z=250) – STARK		
Tipo de Material	Velocidade de corte (V) [m.min ⁻¹]	Avanço / Dente (Az) [mm]
Aço, 500 N/mm ²	[30 .. 50]	[0,03 .. 0,06]
Aço, 800 N/mm ²	[20 .. 40]	[0,03 .. 0,04]
Aço, 1200 N/mm ²	[15 .. 25]	[0,02 .. 0,03]
Aço Inox	[10 .. 50]	[0,01 .. 0,03]

Tabela 1: Gama de velocidades de corte para uma serra STARK

A velocidade angular da serra (V_s) é determinada usando a velocidade de corte (V) e o diâmetro do disco (d).

$$V_s = \frac{V \times 1000}{d \times \pi} \quad (\text{rpm}) \quad (1)$$

A velocidade de avanço da serra (V_a) é o produto entre a velocidade angular da serra (V_s), o número de dentes da serra (Z) e o avanço por dente (A_z).

$$V_a = V_s \times Z \times A_z \quad (\text{mm.min}^{-1}) \quad (2)$$

Usando estas expressões, o operário tem uma ideia da grandeza da velocidade. Contudo, o valor tem que ser ajustado ao formato do material, sendo necessário garantir a relação entre a velocidade de avanço e a velocidade angular.

1.3 Estado de Arte

Nas máquinas de corte por arranque de apra com serras circulares são disponibilizados os controlos de velocidade da serra e do avanço. Estas parametrizações são efectuadas pelo operário. As máquinas não têm qualquer sensor que possa ser usado para o controlo das velocidades, trabalhando assim em malha aberta. Na Europa existem vários fabricantes de serrotes automáticos como por exemplo: Stark spa (Itália), BEWO BV (Alemanha), OMP di Dalla Vecchia (Itália), Adige Sala spa (Itália), Pedrazzoli IBP spa (Itália) e MAQUISIS Sistemas e Automação S.A.. Destas empresas, a Adige é a que apresenta o serrote com maior avanço tecnológico, tentando minimizar a intervenção do operador. Esta solução é baseada num autómato programável que permite à máquina, autonomamente, auto-parametrizar os parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço de corte e alimentação da barra de metal a cortar). Este processo de decisão é realizado com base nas características do material a cortar e nas da serra introduzidos pelo operador. Contudo, durante o corte, as velocidades mantêm-se constantes.

Tipicamente, é usado um motor de indução para mover o disco da serra, existindo uma redução mecânica entre estes. Para actuar o motor, é usado um inversor que permite a variação da velocidade. Este é necessário para permitir o corte de vários tipos de material e/ou o uso de vários tipos de serra.

Para actuar no avanço, várias soluções são usadas. Algumas usam um pistão pneumático podendo a velocidade de avanço ser regulada através da abertura da válvula de entrada de ar. Esta solução é usada com frequência, pois, o pistão permite absorver picos de binário que possam aparecer durante o avanço do corte. Outra solução é o uso de um parafuso sem fim acoplado a um motor eléctrico. Esta solução permite o controlo rigoroso da velocidade de avanço, bastando actuar no *driver* do motor.

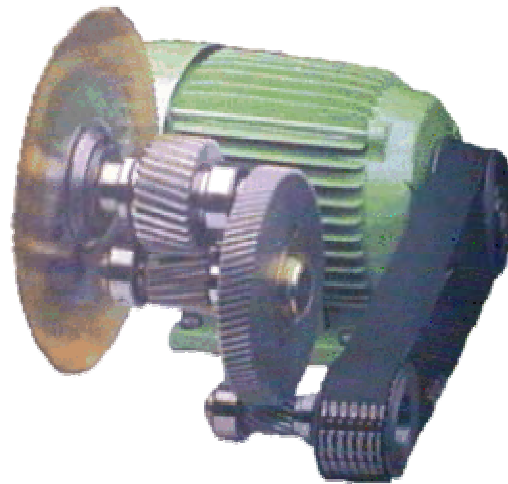


Figura 3: Motor, redução mecânica e serra

De forma a controlar o movimento de avanço, estas máquinas usam dois fins de curso. Uma usam fins de curso de contacto, outras usam fins de curso indutivos ou de feixe de luz. Em todas as máquinas, um dos fins de curso define a posição inicial da serra, tendo este que ser ajustado, sempre que é instalada uma serra com diâmetro diferente da anterior. O outro fim de curso define o avanço máximo da serra, permitindo determinar o fim do corte. Este tem que ser ajustado, sempre que o diâmetro do material a cortar é alterado. Este ajuste é bastante frequente e relativamente difícil de efectuar, devido à sua localização e à sua importância no tempo de ciclo da máquina.

As máquinas actualmente desenvolvidas não possuem nenhum sistema de decisão que permita a parametrização em tempo real dos parâmetros da serra, impedindo a respectiva correcção e optimização da velocidade de corte em tempo real. Consequentemente, os sistemas actuais dependem dos parâmetros introduzidos pelo operador e efectuem o corte com uma velocidade constante, necessitando de ajustes de fins de curso para a detecção de início e fim de corte.

1.4 Objectivos e Abordagem

Os objectivos desta dissertação incluem o estudo e implementação de um sistema inteligente para auto-parametrização em tempo real da serra circular para o corte de tubos ou barras metálicas. Este sistema tem como objectivo permitir o ajuste de parâmetros durante o processo de corte, otimizando assim o corte por arranque de apara. Esta optimização é conseguida, mantendo o binário constante num valor nominal na serra durante todo o processo de corte. Assim, as velocidades da serra e do avanço são ajustadas em tempo real durante o corte, controladas pela máquina, baseando-se na informação adquirida através do binário desenvolvido pela serra.

Tendo em vista os objectivos apresentados, pretende-se tornar o corte independente das diferentes secções de tubos ou barras, mantendo-se sempre nas condições ideais de funcionamento. Pretende-se, também, eliminar a necessidade do ajuste dos fins de curso e permitir diminuir o tempo de configuração da máquina.

A implementação da solução proposta nos objectivos foi efectuada num serrote automático de corte angular de tubos metálicos MAQUISIS. A respectiva programação foi orientada para um autómato (PLC) de baixo custo, o que permitiu a imediata comercialização da aplicação industrial.

Para cumprir os objectivos acima descritos, efectuou-se uma pesquisa das máquinas automáticas, com o objectivo de analisar as várias técnicas adoptadas no processo de corte, pelas várias marcas. Posteriormente, fez-se uma observação do processo de corte em máquinas manuais e automáticas, com o objectivo de verificar o funcionamento da metodologia de corte por arranque de apara e de tornar possível a implementação de um modelo que permitisse simular o processo de corte. As simulações do processo de corte foram efectuadas com o objectivo de seleccionar o controlador a adoptar. Após a escolha do controlador, foi necessário alterar o serrote automático Maquisis, munindo-o de sensores e actuadores necessários e remodelando todo o seu *software*, criando assim um protótipo funcional. Um sistema de monitorização foi criado para permitir visualizar os parâmetros do processo de corte, facilitando a parametrização e verificando, assim, o desempenho do controlador usado.

1.5 Organização da Dissertação

Com o objectivo de enquadrar o tema desta dissertação, o capítulo 1 constitui uma introdução ao trabalho realizado, indicando os seus objectivos, bem como o contexto em que foi realizado.

O capítulo 2 apresenta o estudo do processo de corte, por meio de simulações, e do desempenho de alguns algoritmos de controlo, com o objectivo de se adquirir um conhecimento mais profundo do processo.

O capítulo 3 descreve em pormenor o trabalho realizado, descrevendo o serrote automático de corte de tubos, o *software* implementado e o controlador de corte inteligente. Neste capítulo, é ainda descrito o sistema de monitorização do processo de corte.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos no processo de corte com a máquina, já em ambiente industrial.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho, sendo apontadas algumas sugestões para trabalho futuro, podendo estas ser efectuadas sobre o trabalho já desenvolvido.

2 MODELOS E CONTROLADORES

De forma a testar várias estratégias de controlo do processo de corte, foram desenvolvidos modelos de corte e testados vários controladores. Estes modelos permitiram simular o processo de corte em várias situações, facilitando a implementação na máquina industrial.

O Matlab/Simulink foi a ferramenta usada para a implementação e simulação dos modelos desenvolvidos.

O Matlab é uma linguagem de alto nível, orientada para o desenvolvimento de aplicações científicas e de engenharia. Esta linguagem tem sido desenvolvida há mais de dez anos, tornando-se popular, flexível, potente e simples de usar. As versões recentes focam-se em gráficos orientados por objectos, o que levou a um enriquecimento da interface com o utilizador (GUI).

O Simulink foi desenvolvido para operar no Matlab. Esta ferramenta disponibiliza um ambiente interactivo para o desenvolvimento de modelos e simulações de uma grande variedade de sistemas dinâmicos, incluindo, também, sistemas lineares, não lineares, discretos no tempo, contínuos no tempo e híbridos.

Foram construídos dois modelos para simular o corte de tubos circulares e quadrados. Outro modelo foi igualmente desenvolvido, de forma a ser usado como *template* entre os vários controladores a estudar.

2.1 Modelos do processo de corte

Os modelos do processo do corte foram baseados na observação do corte de tubos e barras numa máquina de corte convencional. Nas observações, chegou-se à conclusão de que, o binário instantâneo está directamente relacionado com a quantidade de material a retirar em cada instante.

No corte por arranque de apara com serra circular ou lâmina, é necessário definir a velocidade tangencial e a velocidade de avanço. Estes parâmetros, bem como as definições do perfil a cortar, são os únicos parâmetros de entrada dos modelos do processo de corte.

Devido ao formato dos dentes da serra, a velocidade tangencial terá sempre o mesmo sentido. Os modelos apenas permitem velocidade tangencial positiva, caso contrário, os valores que retornam são incorrectos.

A velocidade de avanço pode tomar valores positivos e negativos. No caso de valores positivos, estes indicam que a serra está a avançar pelo perfil. No caso de valores negativos, a serra está a recuar, isto é, a afastar-se do perfil.

Os modelos têm como saídas: o binário da serra; os valores da geometria do perfil do tubo e a determinação do fim do corte.

O binário de saída é calculado através do integral da área do perfil do tubo em função do deslocamento da serra. O deslocamento é calculado em função das velocidades que entram no modelo. No caso da velocidade de avanço ser negativa, o binário da serra é igual a zero, não sendo, portanto, considerado o atrito do tubo na parte lateral da serra. O perfil é definido por duas funções de superfície ($S_e(x)$ -superfície exterior; $S_i(x)$ -superfície interior). Subtraindo a superfície exterior à interior, calcula-se o material a retirar. Este cálculo é efectuado apenas numa das partes, sendo necessário multiplicar por dois para se obter o valor total de material. Esse valor é então convertido para binário através da constante K_t .

$$B = K_t \times 2 \int S_e(x) - S_i(x) dx \quad (3)$$

As saídas de valores de geometria permitem desenhar o perfil do tubo, quando as velocidades de entrada são constantes. Desta forma, é possível validar a geometria do tubo no modelo.

A determinação do fim de corte permite efectuar a simulação apenas durante o tempo necessário.

2.1.1 Modelo do corte de perfil circular

Neste modelo (Figura 4), pode-se simular o corte de tubo circular ou de barão de perfil circular. Este modelo usa a equação da circunferência, calculando apenas a parte positiva da raiz.

$$x^2 + y^2 = raio^2 \quad (4)$$

$$S_e = \sqrt{(Raio)^2 - x^2} \quad (5)$$

$$S_i = \sqrt{(Raio - Espessura)^2 - x^2} \quad (6)$$

Este modelo necessita do valor do raio do tubo e do valor da espessura da parede do tubo. No caso do valor da espessura do tubo ser igual ao valor do raio do tubo, é possível simular o corte de barões circulares.

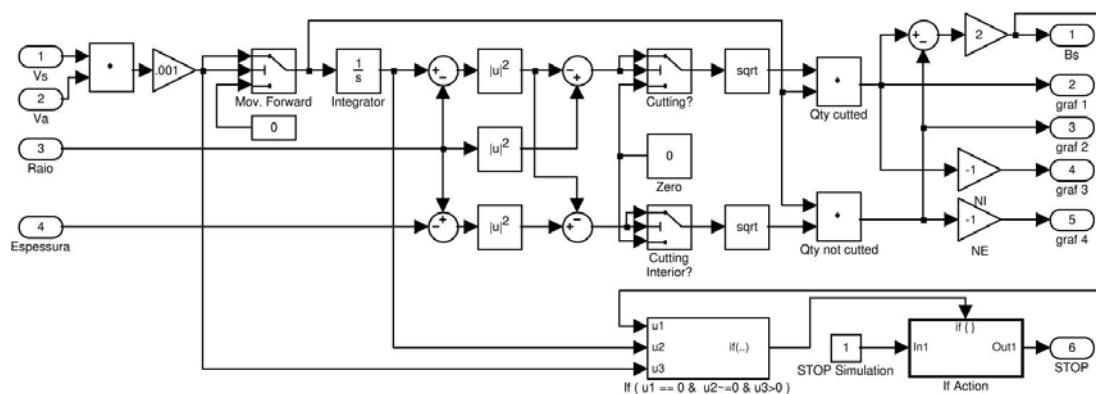


Figura 4: Modelo de corte de tubo ou barra circular

Usando o raio do tubo, é calculado o valor da área até ao contorno exterior, usando a equação da circunferência. Subtraindo a espessura do tubo ao raio, obtém-se a área até ao contorno interior. Subtraindo a área do contorno exterior à do contorno interior, obtém-se o material retirado na parte superior do tubo. É necessário, posteriormente, multiplicar por dois, de forma a obter o material retirado nas partes superior e inferior do tubo.

2.1.2 Modelo do corte de perfil quadrado

O modelo do perfil quadrado simula o corte de tubo quadrado ou de barão de perfil quadrado.

$$y = \pm \begin{cases} se \left| \frac{x}{2} \right| > \left(\frac{lado}{2} \right) & = 0 \\ se \text{ não} & = \left(\frac{lado}{2} \right) \end{cases} \quad (7)$$

$$S_e = \begin{cases} se \left| \frac{x}{2} \right| > \left(\frac{lado}{2} \right) & = 0 \\ se \text{ não} & = \left(\frac{lado}{2} \right) \end{cases} \quad (8)$$

$$S_i = \begin{cases} se \left| \frac{x}{2} \right| > \left(\frac{lado-espessura}{2} \right) & = 0 \\ se \text{ não} & = \left(\frac{lado-espessura}{2} \right) \end{cases} \quad (9)$$

Neste modelo, é necessário definir o valor do lado do quadrado e a espessura das paredes do tubo. No caso da espessura ser igual à metade do lado, é possível simular o corte de barões de perfil quadrado.

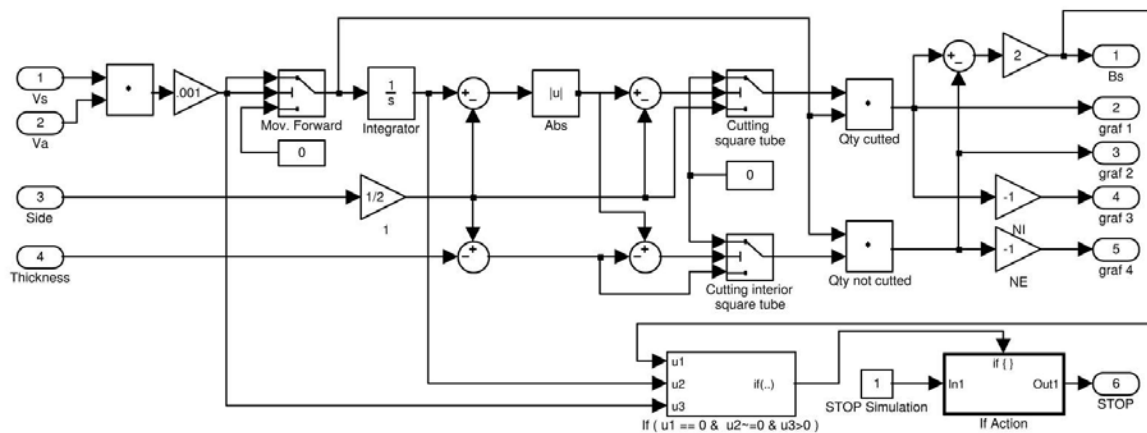


Figura 5: Modelo de corte de tubo ou barra quadrada

Para o cálculo do material retirado a cada momento, é necessário calcular a posição onde se encontra o corte. Dependendo da posição, o valor do material retirado é igual ao lado do quadrado. No caso do corte se encontrar no interior do tubo, o valor é igual à espessura do lado. São necessárias duas comparações, as quais identificam cada uma das situações. O cálculo é efectuado para metade do tubo, sendo, por isso, necessário multiplicar por dois, para obter o valor correcto de binário da serra.

2.2 Modelo “*template*” para teste dos controladores

O modelo “*template*” para teste dos controladores tem como objectivo criar uma plataforma que permita comparar os vários desempenhos de cada tipo de controlador.

Este modelo faz a ligação entre os controladores e o processo de corte, permitindo visualizar os parâmetros mais relevantes do processo de corte, tais como: o binário da serra, o binário de referência, a velocidade da serra e a velocidade de avanço.

É, ainda, neste modelo que se definem as condições de simulação, como por exemplo: a geometria, as dimensões do tubo ou do barão, o binário de atrito do cabeçote da máquina, as gamas de velocidade da serra e do avanço e, por fim, o binário de referência pretendido.

Este modelo simplifica o controlo deste processo, para que os controladores tenham apenas uma entrada e uma saída. Deste modo, o modelo calcula o erro de binário que será usado como entrada para os controladores. A saída dos controladores é um ajuste de velocidade que será somado aos valores médios das velocidades da serra e do avanço. Este modelo garante que os parâmetros da velocidade da serra e da velocidade de avanço se encontrem sempre nos limites correctos.

O tempo de corte pode ser visualizado de imediato, podendo, também, visualizar-se toda a evolução do processo de corte.

Com o objectivo de simular diferentes controladores, basta alterar o bloco “*control method*” para o controlador que se pretende estudar, como, por exemplo: PID, Fuzzy.

De forma a simular cortes em perfis com geometria diferente, altera-se o bloco do processo de corte, ajustando depois os parâmetros de geometria.

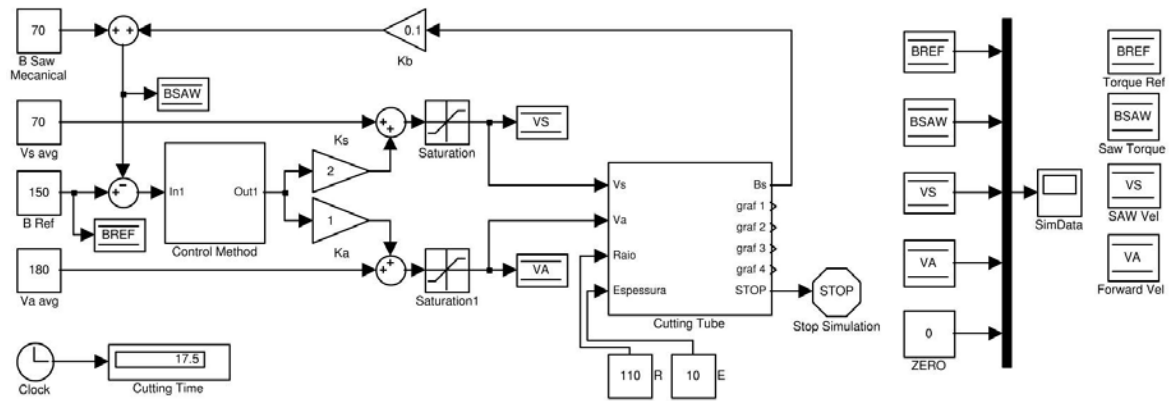


Figura 6: Modelo do *template* de corte

O valor do binário é convertido, somando-se, posteriormente, o binário de atrito da parte mecânica do cabeçote da serra. De seguida, é calculado o valor do erro em relação à referência de binário pretendida. Esse valor entra no bloco do controlador. Na sua saída, temos o ajuste de velocidade que sofre uma conversão que deve ser mais amplificada na velocidade da serra do que na velocidade de avanço. Isto garante uma alteração real do binário de corte. Caso as duas velocidades fossem alteradas de igual modo, o binário da serra, teoricamente, não sofreria alterações. De seguida, os ajustes são somados com as velocidades (velocidade de avanço e velocidade da serra) que contêm os valores médios para as condições de corte. Antes das velocidades entrarem no modelo de corte, passam por um bloco limitador, o qual garante que as velocidades tenham sempre valores dentro da tolerância para o corte a efectuar. Os valores dos limites do bloco de saturação são calculados ao mesmo tempo que é definido o valor médio das velocidades e a referência de binário.

2.3 Simulações

As simulações têm como objectivo a verificação do desempenho de vários métodos de controlo. Este desempenho é tanto melhor, quanto menor for o tempo de corte e menor for o binário máximo atingido durante o processo de corte.

Por vezes, a serra e a máquina sofrem maior desgaste, caso o binário seja superior ao valor nominal.

De seguida, serão apresentados gráficos que representam o comportamento de vários controladores durante o processo de corte. As condições simulam um corte de um tubo circular de 110 mm de raio e de 10 mm de espessura. Considera-se que a serra e a máquina deverão trabalhar com um binário da serra numa gama de 150 Nm \pm 20%, para garantir o melhor rendimento.

Em cada simulação serão analisados os valores do binário da serra e o tempo de corte.

2.3.1 Velocidade constante (sem controlador)

Nesta simulação, o bloco do controlador não tem qualquer ligação, resultando num corte com uma velocidade constante. Os valores das velocidades da serra e do avanço têm o valor médio calculado em função dos limites admissíveis de variação de cada velocidade.

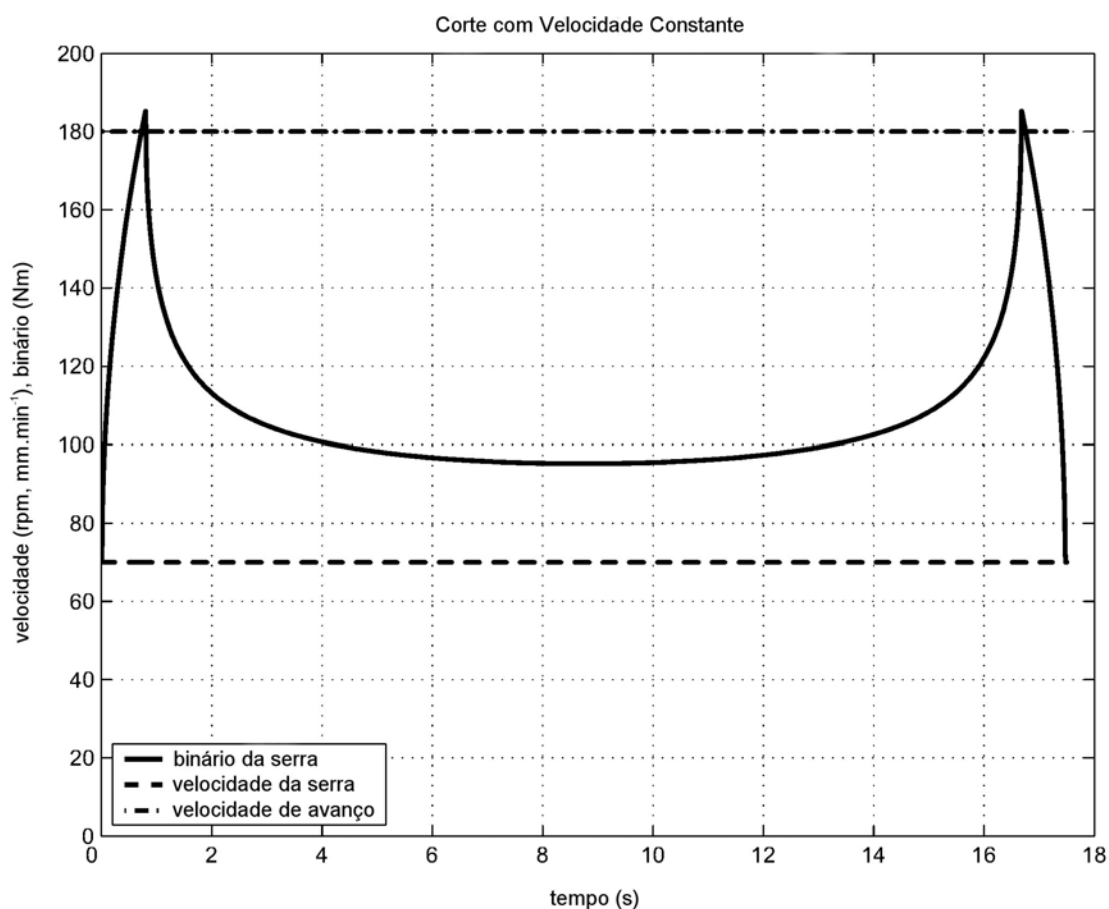


Figura 7: Corte de tubo circular com velocidade constante

No corte de um tubo circular, o binário da serra apresenta dois picos. Estes picos identificam a entrada e a saída da serra no tubo, pois é nessa altura que a serra tem que retirar maior volume de material. O valor do binário da serra apresenta um valor máximo de 185.2 Nm, ultrapassando os 20% do valor pretendido e causando assim, um maior desgaste da serra e da máquina. Por outro lado, o valor mínimo do binário é abaixo de 100 Nm durante muito tempo, causando um baixo rendimento da máquina. O resultado desta grande variação prejudica o tempo de corte que tem o valor de 17.51 segundos.

2.3.2 Controlador proporcional

Usando o controlador proporcional, as velocidades são ajustadas para que o binário da serra seja constante. Efectuaram-se duas simulações com diferentes binários de referência.



Figura 8: Controlador Proporcional

Com o controlador proporcional, as velocidades da serra e do avanço são ajustadas em função do binário da serra. No gráfico, pode-se ver na Figura 9 esse ajuste para uma referência de 120 Nm. O binário máximo da serra tem o valor de 139.2 Nm e o corte é efectuado em 14.22 segundos. Verifica-se, assim, um corte mais rápido e com um binário máximo menor.

No entanto, não se está a aproveitar o potencial da máquina, pois o binário de referência encontra-se abaixo do pretendido.

Passando o binário de referência para 150 Nm (Figura 10), obtém-se um corte com valores mais próximos dos nominais.

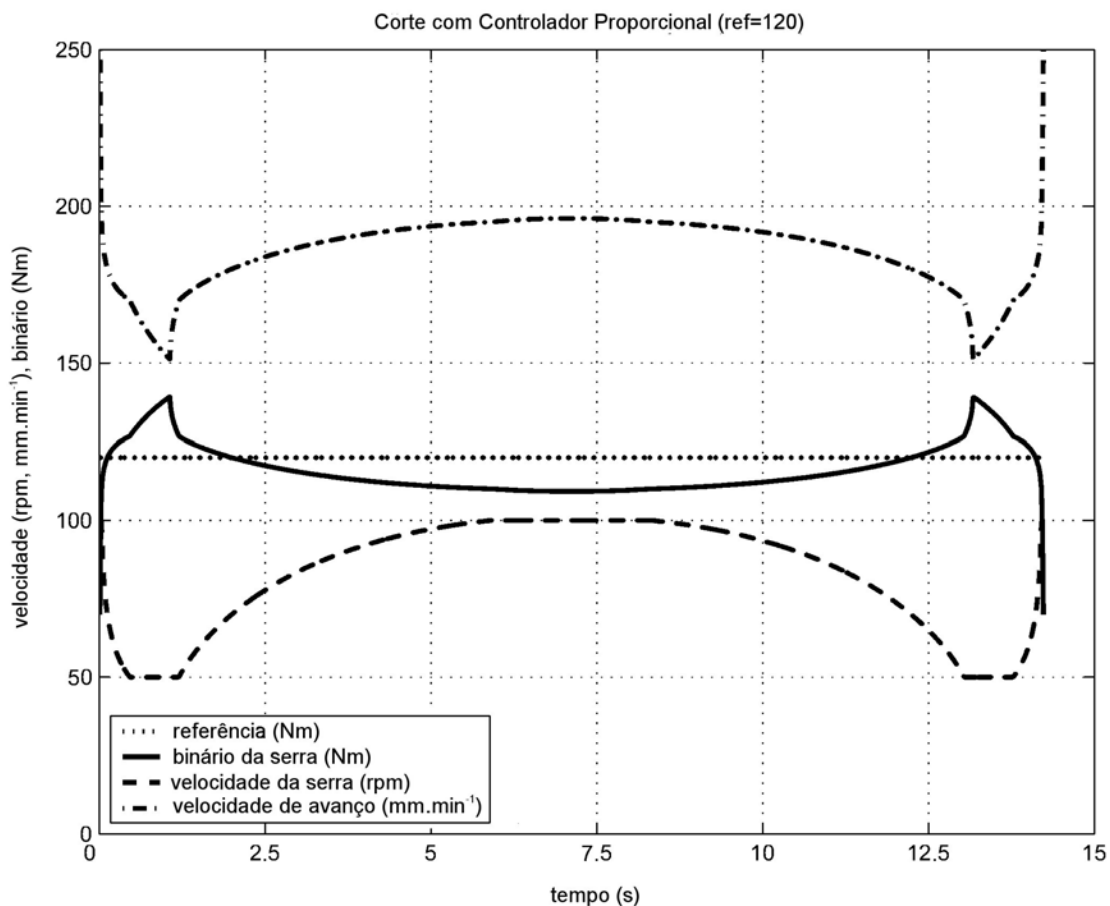


Figura 9: Corte de tubo circular usando controlador proporcional (ref=120)

O binário máximo da serra apresenta o valor de 155.3 Nm, sendo o corte efectuado em 11,10 segundos. Pode-se verificar que o binário registado na altura em que o corte se encontrava no meio do tubo é bastante baixo. Esse facto deve-se à saturação do ajuste da velocidade da serra, que dessa forma impediu o seguimento com menor erro da referência. A saturação da velocidade da serra é necessária para impedir o efeito de polimento provocado por uma velocidade da serra elevada. Contudo, a limitação da velocidade pode ser também causada devido às próprias limitações da máquina.

Pode-se concluir que, quanto maior for o valor do binário de referência, menor será o tempo de corte.

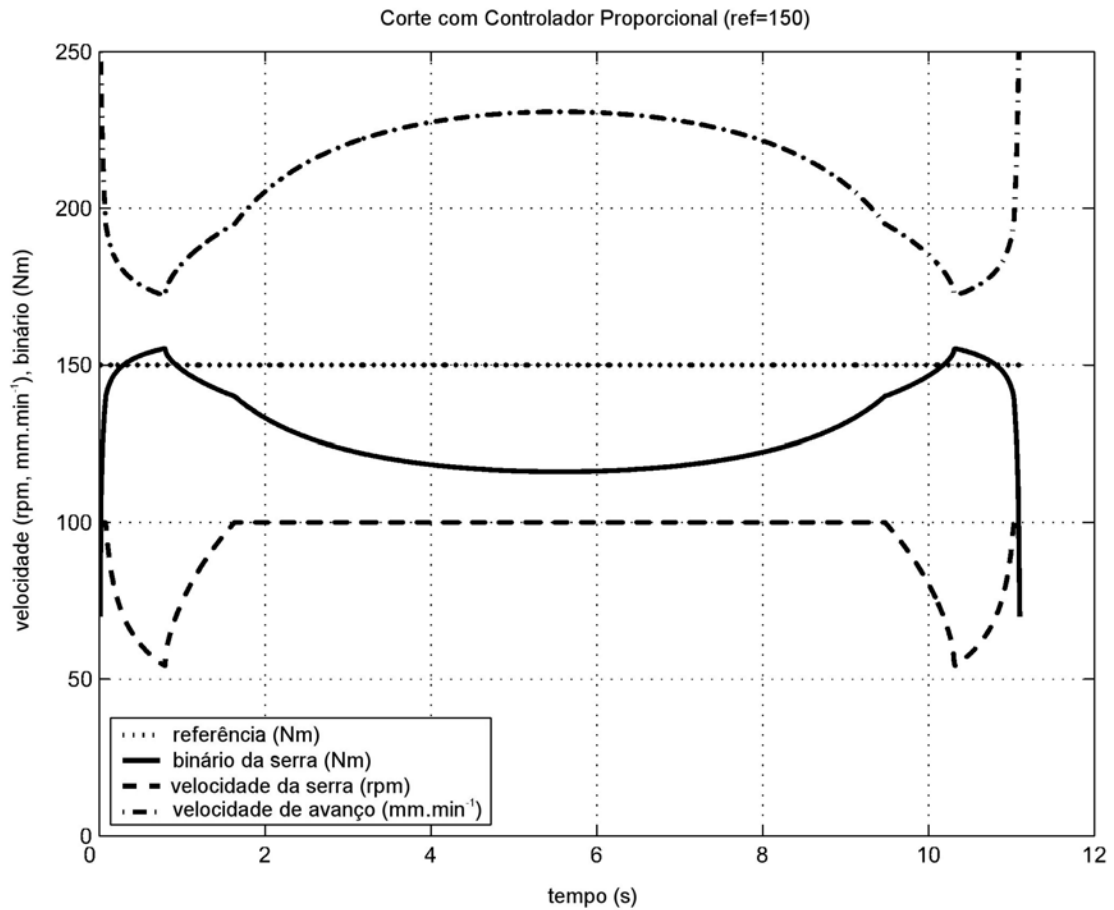


Figura 10: Corte de tubo circular usando controlador proporcional (ref=150)

2.3.3 Controlador PI

Usando o controlador PI, pretende-se obter ainda melhores resultados do que um simples controlador proporcional.

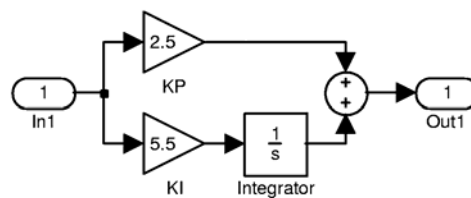


Figura 11: Controlador PI

Na Figura 11, pode-se verificar o desempenho do controlador PI com a referência de 120 Nm. O seguimento da referência é favorável, resultando num tempo de corte de aproximadamente 13,16 segundos. Pode-se verificar o ajuste que a velocidade de avanço efectua durante o tempo em que a velocidade da serra está saturada. Este ajuste é provocado pela parte integrativa do controlador, obrigando a velocidade de avanço a aumentar, para que a serra tenha sempre o mesmo binário. O binário máximo não ultrapassa os 132 Nm.

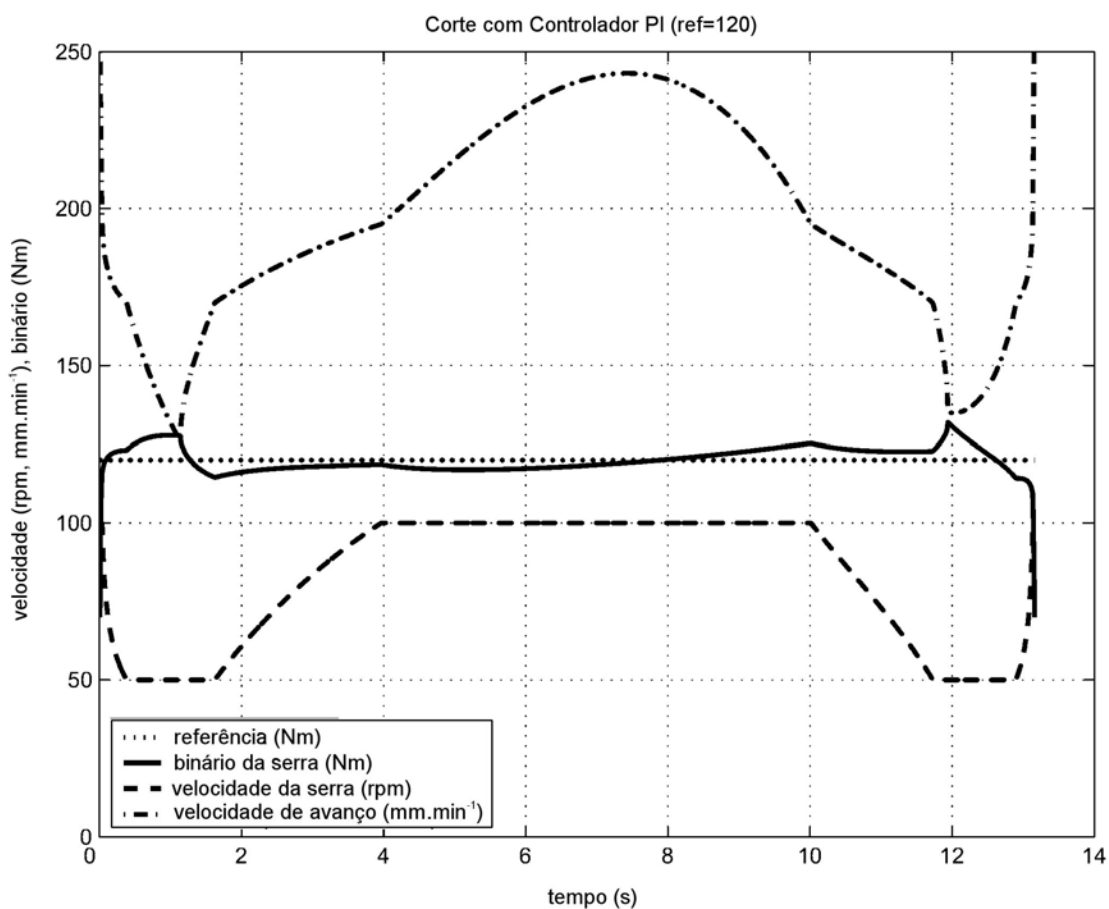


Figura 12: Corte de tubo circular usando controlador PI (ref=120)

Contudo, o controlador PI apresenta um problema grave aquando da saturação do actuador. Este problema é ainda maior, se a grandeza a controlar inicia uma alteração rápida após um longo período de saturação, como, por exemplo, no fim do corte. Este problema é bem evidente na Figura 13.

Na Figura 13 a referência passou para 150 Nm. De início, o controlador PI começou a compensar o erro, mas logo de seguida, tanto a velocidade da serra como, à *posteriori*, a velocidade de avanço saturaram. O erro manteve-se durante alguns segundos e quando o corte se encontra na parte final, o controlador não foi capaz de reduzir as velocidades, provocando um pico de binário na serra que chega a 300 Nm. O tempo de corte na simulação foi de 9.52 segundos, mas caso este teste fosse efectuado na máquina real, teria tido consequências graves, podendo mesmo não terminar o corte devido à quebra da serra de disco.

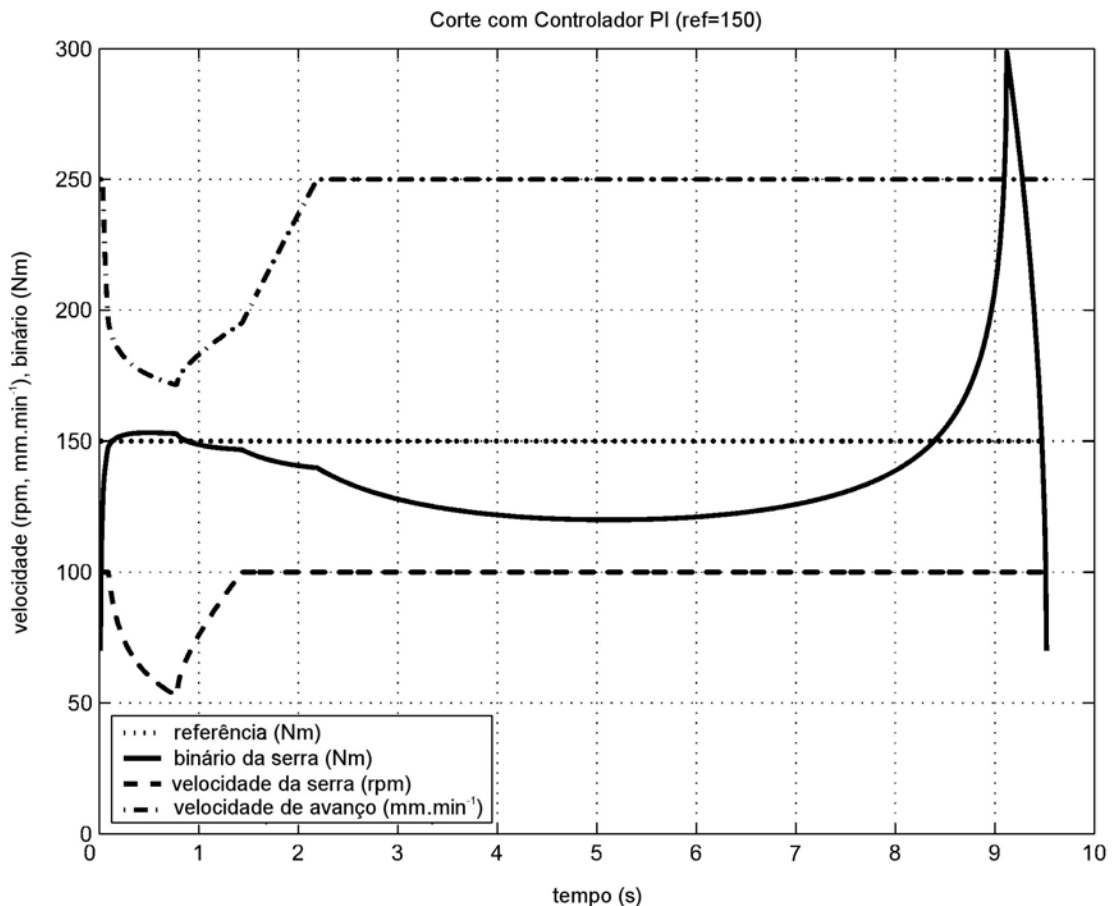


Figura 13: Corte de tubo circular usando controlador PI (ref=150)

Se for retirada a limitação de velocidade de avanço, o problema desaparece, tal como se pode verificar na Figura 14.

Na Figura 14, o corte é efectuado em 8.32 segundos devido ao binário de referência ser elevado e ao seguimento da referência ser satisfatório. O binário máximo da serra não ultrapassa os 173.4 Nm.

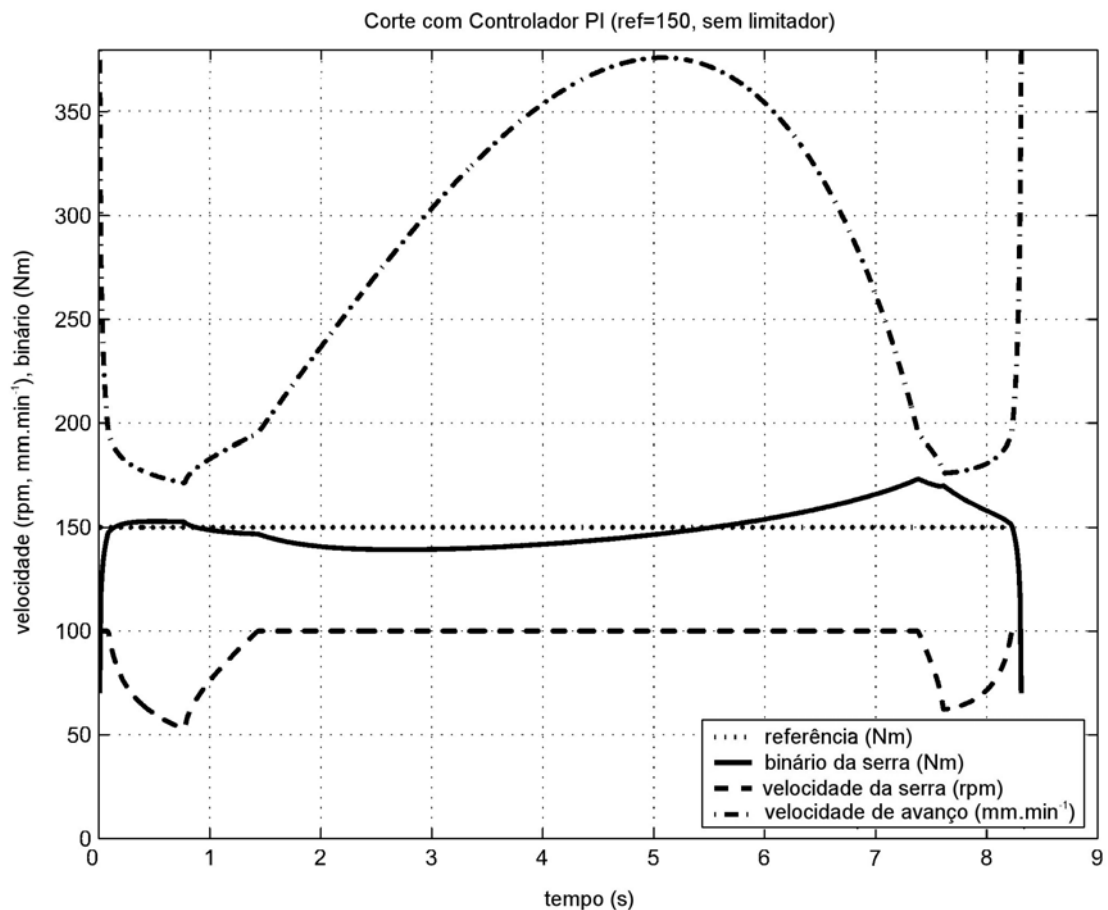


Figura 14: Corte de tubo circular usando controlador PI (ref=150) sem saturação de velocidade de avanço

2.3.4 Controlador Fuzzy

Usando um controlador Fuzzy, pretende-se obter ainda melhores resultados, tirando partido do conhecimento empírico do processo de corte.

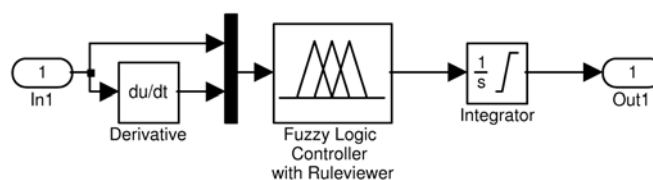


Figura 15: Controlador Fuzzy

Neste controlador, para além do erro, entra também a derivada do erro. A derivada vai ser usada para antecipar compensações. A saída do controlador é um incremento de velocidade, sendo por isso necessário o uso de um integrador para guardar o ajuste de velocidade (Figura 15).

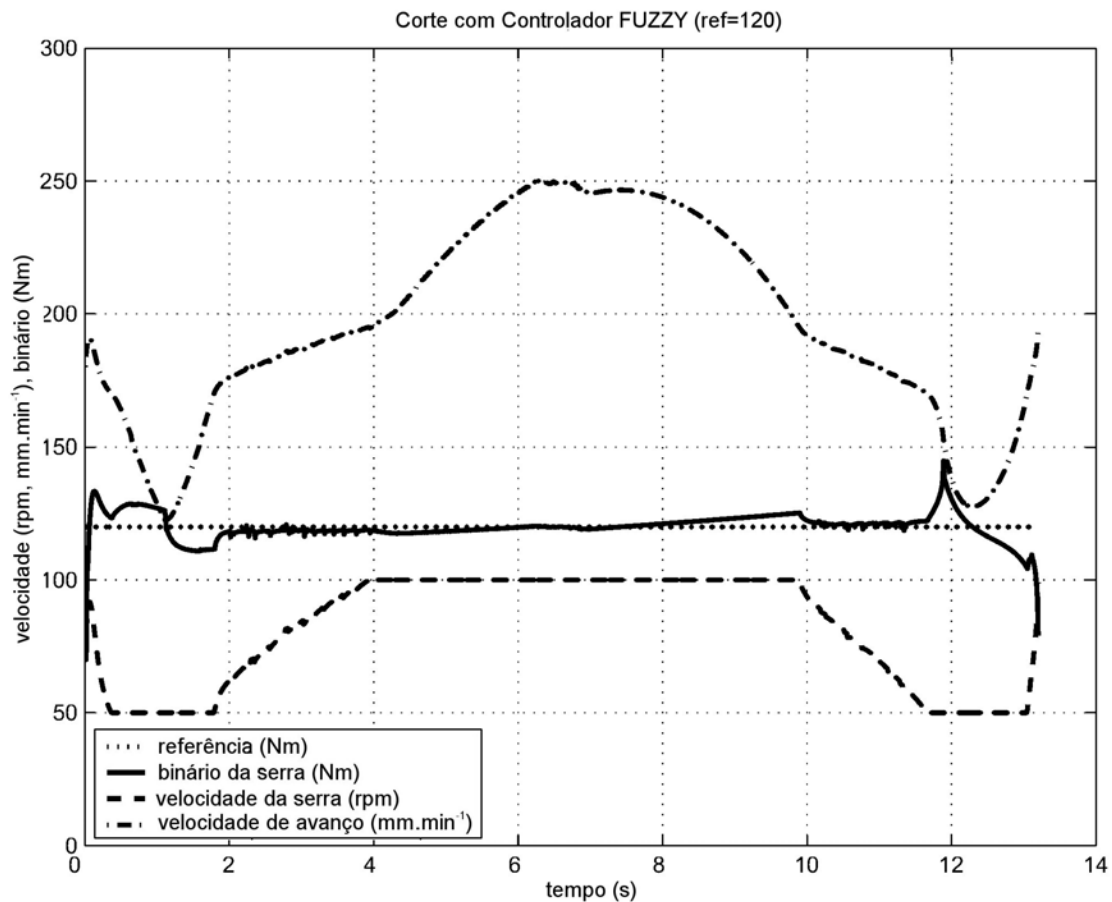


Figura 16: Corte de tubo circular usando controlador Fuzzy (ref=120)

O controlador fuzzy apresenta dificuldades na parte inicial, para seguir a referência, o que sugere a necessidade de implementação de um *soft start*. O seguimento da referência é satisfatório, fazendo um corte em 13.2 segundos, com uma referência de 120 Nm. O binário máximo da serra não ultrapassa os 145 Nm. Na parte final do corte, existe um pequeno pico de binário devido à saturação da velocidade da serra.

Com um binário de referência a 150 Nm, o comportamento é mais instável, devido à saturação das velocidades. O tempo de corte é de 10.13 segundos, apresentando um binário máximo de 179 Nm. Contudo, o binário máximo poderá ser menor, garantindo que o controlador seja apenas activado no início, quando for detectado um determinado valor mínimo de binário da serra.

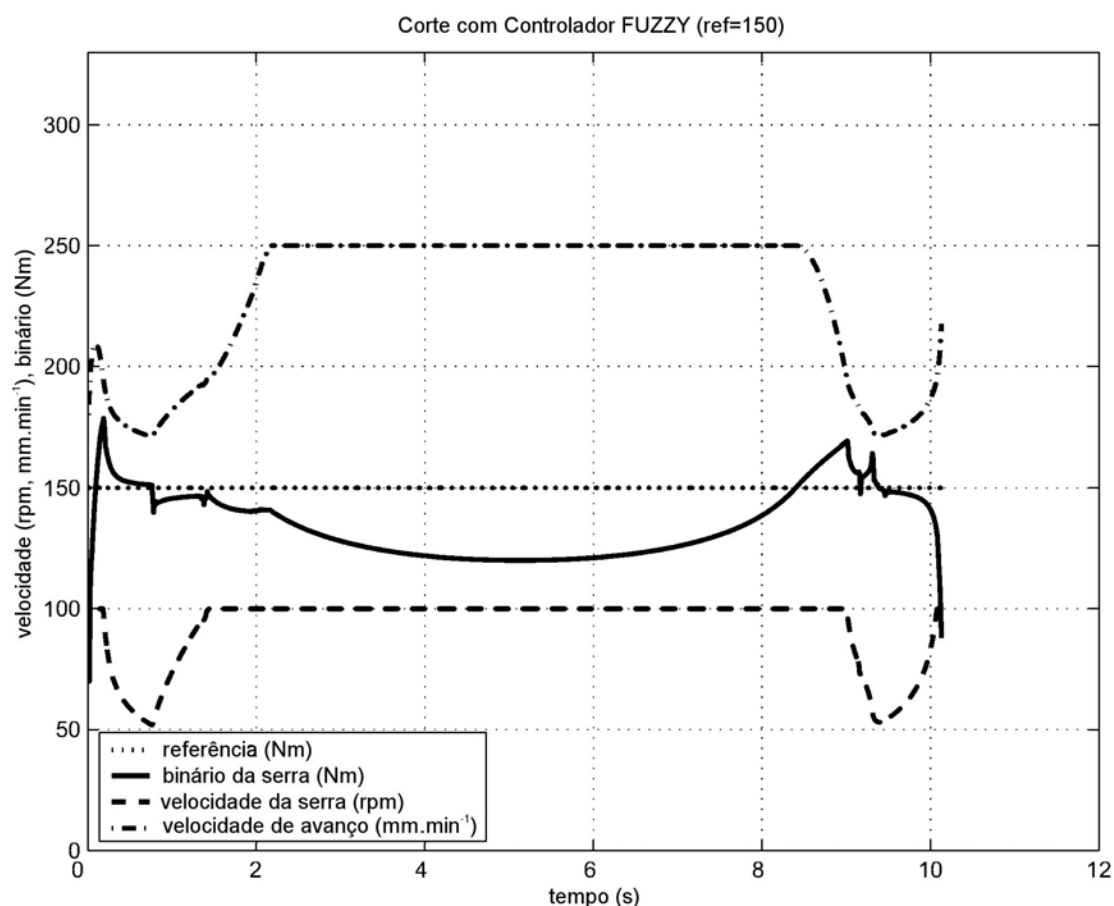


Figura 17: Corte de tubo circular usando controlador Fuzzy (ref=150)

2.3.5 Resultados das simulações

Pode-se então concluir que, quanto maior for o binário de referência, menor será o tempo de corte. Por outro lado, a serra e a máquina sofrem um maior esforço.

Quanto melhor for o desempenho do controlador, isto é, o erro acumulado for menor, melhor será a *performance* do processo de corte. Mas, nem sempre isso é possível, devido às limitações dos actuadores. Assim, a escolha do controlador a usar deve ser efectuada, não só pelo tempo de corte, mas também pelo valor máximo de binário da serra.

Verificou-se a necessidade *soft start* para evitar uma escalada de velocidade antes e durante o início do corte.

Controlador	Binário de referencia	Binário máximo atingido	Tempo de Corte (s)
Velocidade constante (sem controlador)	--	185	17.5
Controlador Proporcional	120	139	14.2
Controlador Proporcional	150	155	11.1
Controlador PI	120	132	13.3
Controlador PI (velocidade de avanço limitada)	150	300	9.5
Controlador PI (sem limitar a velocidade de avanço)	150	173	8.3
Controlador Fuzzy	120	145	13.2
Controlador Fuzzy	150	179	10.1

Tabela 2: Resultados das simulações dos vários controladores

Controlador	Prós	Contras
Controlador Proporcional	simples e previsível	<i>performance</i> Media
Controlador PI	boa <i>performance</i> e dois parâmetros	problema de saturação
Controlador FUZZY	boa <i>performance</i> e ajustável para sistemas não lineares	muitos parâmetros, de difícil manutenção e implementação

Tabela 3: Prós e Contras dos controladores simulados

O controlador proporcional é o escolhido para a implementação prática, por ser/ter:

- mais simples para uma implementação num PLC;
- mais previsível;
- menos parâmetros para ajustar;
- *performance* media;
- manutenção facilitada;

3 IMPLEMENTAÇÃO

O corte inteligente foi implementado num serrote automático MAQUISIS. A implementação foi orientada para uso comercial imediato, tendo sido dada especial atenção à estrutura do *software* e às soluções encontradas. A programação anterior da máquina foi alterada, tendo sido dividida em módulos que permitem definir as tarefas e facilitar a sua manutenção. A programação efectuou-se num autómato (PLC), tornando possível a sua utilização em ambiente industrial. Para além do corte inteligente, foi necessário implementar toda a sequência de funcionamento, bem como a *interface* com o utilizador da máquina. O modo de funcionamento seguiu o *standard* das máquinas MAQUISIS.

O controlador proporcional foi escolhido para uma implementação inicial, devido à sua simplicidade de programação num autómato (PLC) e uma fácil parametrização. O controlador proporcional mostrou, nas simulações efectuadas, um comportamento previsível e de eficiência aceitável.

3.1 Serrote automático MAQUISIS

O serrote automático MAQUISIS foi concebido para efectuar cortes com a possibilidade de alteração do ângulo de corte (Figura 18), em tubos ou perfis de vários diâmetros. Este permite, também, efectuar cortes em peças de vários comprimentos. Após ter sido definido o comprimento de corte pretendido, o serrote executa automaticamente o ciclo de corte, com rejeição das pontas iniciais e finais do tubo. Para esse efeito, dispõe de um sistema separador, que faz cair as peças boas para um dos lados da máquina (lado do operador), e as pontas de tubo para o outro lado (lado de trás da máquina). A afinação do comprimento de corte pretendido é bastante simples de se efectuar, podendo em caso de necessidade, fazer-se um ajuste fino.

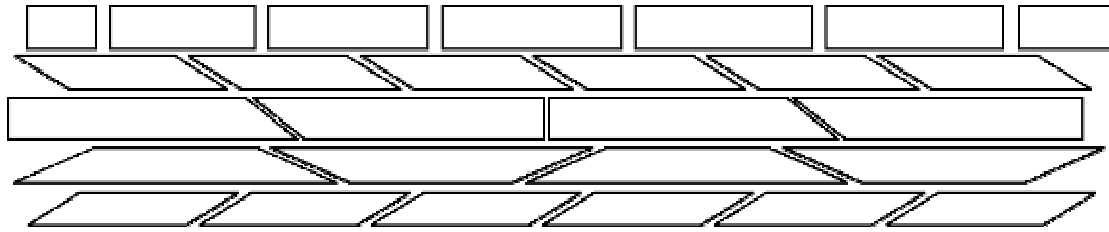


Figura 18: Cortes possíveis no serrote automático de corte angular Maquisis

O disco de serra é refrigerado e lubrificado através de um sistema de encaminhamento directo à lâmina. As limalhas resultantes do corte, bem como o fluído de corte, são encaminhados através de um esgoto directamente para o depósito da limalha. Neste depósito, a limalha é decantada e o fluído de corte passa para o depósito principal.

O armazém permite que seja carregado um atado de tubo, ficando a partir daí, preparado para funcionar em modo automático, sem necessidade de intervenção directa do operador. O serrote automático possui um painel de comando que lhe permite controlar todas as operações de funcionamento, quer seja em modo manual ou automático.

A programação dos cortes é efectuada através da consola integrada no painel de comando. Pode-se definir o número de cortes pretendidos, bem como o número de peças que se vão aproveitar em cada tubo. É possível ainda definir o comprimento da ponta inicial que vai rejeitar, caso isso seja necessário.

3.1.1 Características técnicas

As características principais da máquina são apresentadas no quadro seguinte:

Características técnicas	
Comprimento máximo dos tubos ou barras	6500 mm
Comprimento máximo das peças cortadas	4000 mm
Velocidade de alimentação do tubo	400 mm.s ⁻¹
Diâmetro máximo dos tubos	10mm a 100 mm
Ângulo de corte	-55° a +55°
Precisão das peças cortadas	± 0.15 mm
Diâmetro máximo da serra	400 mm
Diâmetro mínimo da serra	250 mm
Potência do motor da serra	4.5 kW
Capacidade do depósito de fluído de corte	150 Litros
Pressão pneumática de funcionamento	6 Bar
Peso aproximado	aprox. 3500 Kg
Dimensões	1977 x 2005 x 10516 mm
Tensão de alimentação	400V, trifásico com neutro
Potência total	6.5 kW
Corrente máxima	16A

Tabela 4: Características técnicas do serrote automático Maquisis

3.1.2 Disposição da máquina

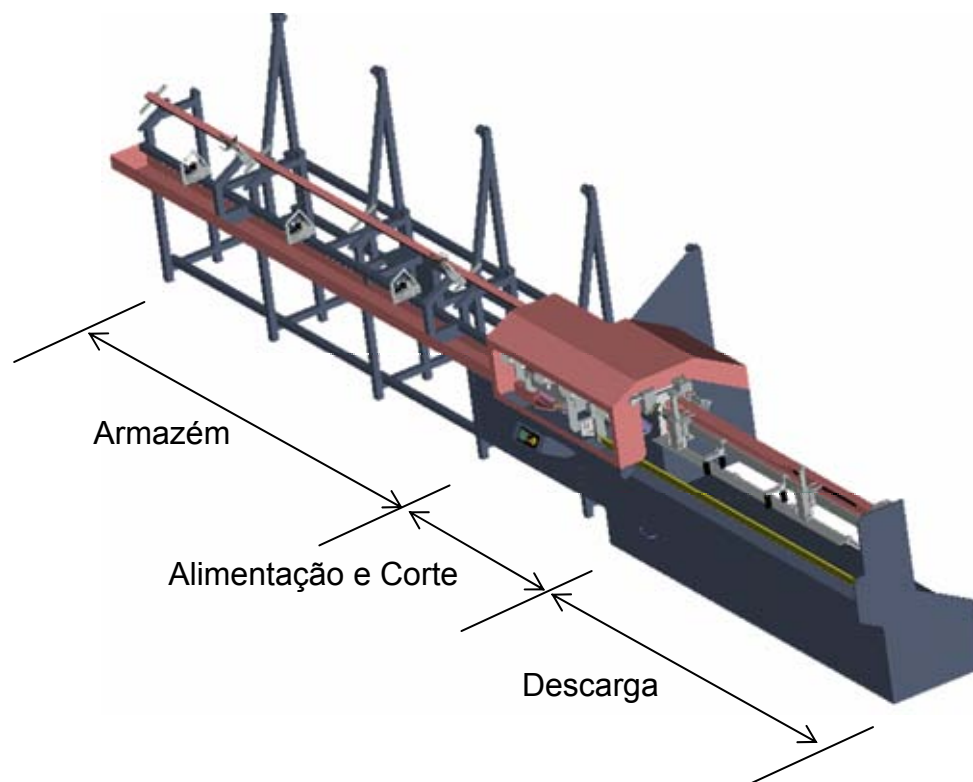


Figura 19: Disposição do serrote automático Maquisis

3.1.3 Descrição do *hardware* da máquina

O serrote automático pode ser dividido em vários módulos, tais como:

- Armazém
- Alimentação
- Corte
- Descarga

Cada um desses módulos tem uma função específica, contribuindo assim para o trabalho a efectuar pela máquina, sendo este descritos de seguida.

3.1.3.1 Armazém

No armazém da máquina é colocado um atado de tubos, sendo estes posicionados numa rampa, estando assim preparados para o arraste e corte. O seu posicionamento é conseguido através da elevação de umas cintas que fazem cair os tubos num alimentador plano.

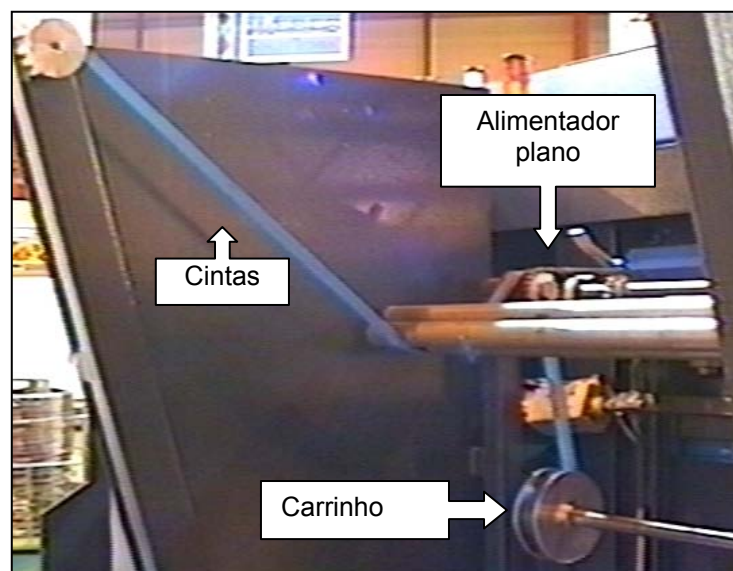


Figura 20: Serrote automático MAQUISIS, pormenor do Armazém

As cintas sobem e descem, enrolando ou desenrolando num carrinho que está acoplado a um motor, via uma corrente metálica.

Existem vários sensores indutivos que permitem verificar: a presença de tubos no alimentador plano; a detecção de tubos encravados; a presença de um tubo pronto para arrastar e a quantidade de tubos no alimentador inclinado, indicando assim se este se encontra cheio.

Como complemento, existem ainda dois fins de curso que permitem verificar as posições extremas das cintas (cintas em cima ou cintas em baixo).



Figura 21: Serrote automático MAQUISIS, Armazém (armazém inclinado)

O armazém inclinado permite armazenar alguns tubos durante o tempo necessário para efectuar a carga de um novo atado de tubos.

3.1.3.2 Alimentação

A alimentação é responsável por transportar o tubo do armazém e por posicioná-lo para efectuar o corte.

No momento em que a alavanca sobe, o tubo é retirado do armazém inclinado, caindo de seguida em cima dos cilindros de tracção.

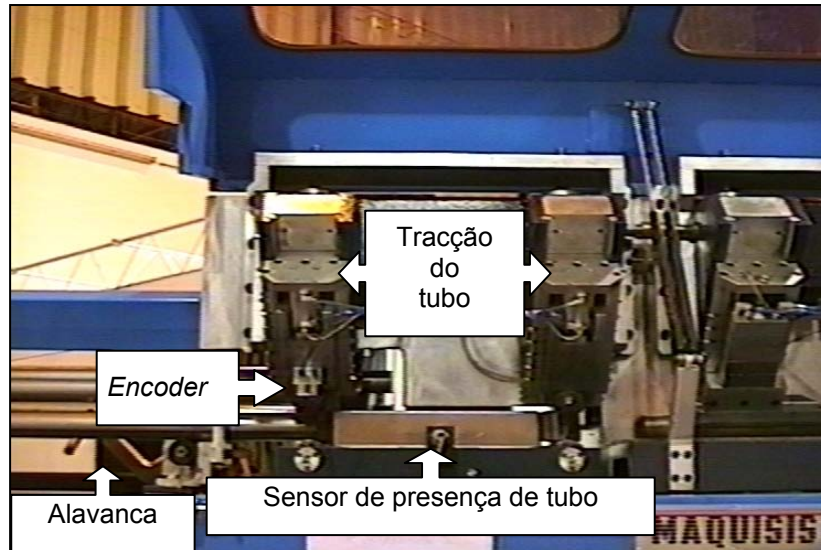


Figura 22: Serrote automático MAQUISIS, Arraste

No momento em que o tubo passa no sensor, é iniciada a contagem, fazendo *reset* ao *encoder*, o que permite determinar o comprimento da ponta inicial, bem como controlar a velocidade de arraste.

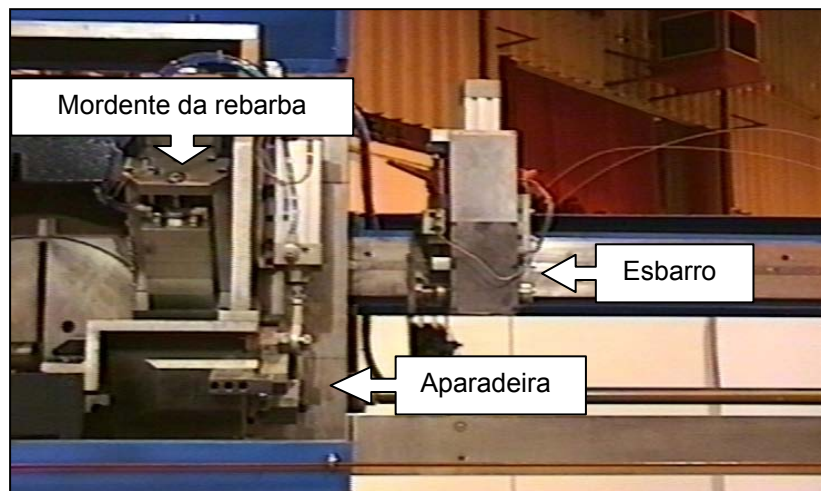


Figura 23: Serrote automático MAQUISIS – esbarro e aparadeira

O arraste é concluído quando o tubo bate no esbarro activo (em baixo). A aparadeira apoia o tubo durante o arraste e o corte.

Logo que o tubo se encontre em posição, os mordentes do tubo e da rebarba são activados, fixando-o e permitindo a máxima precisão.

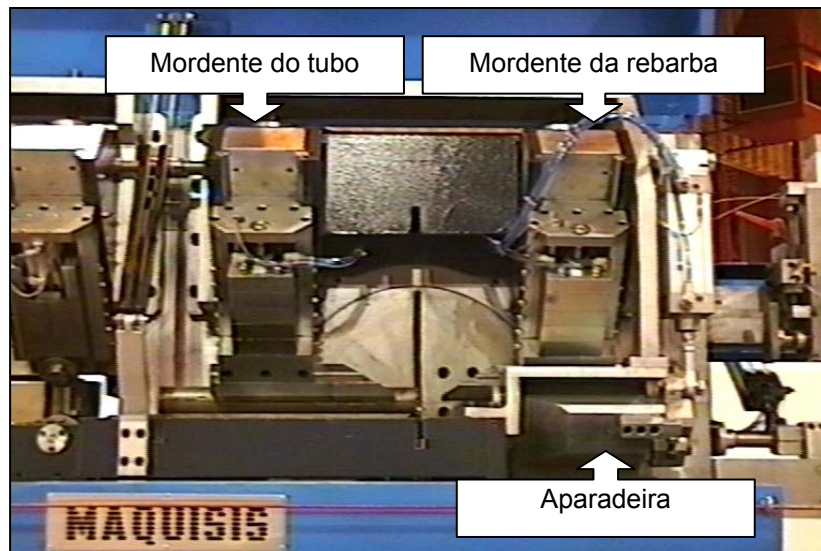


Figura 24: Serrote automático MAQUISIS – Mordentes

O serrote automático MAQUISIS está preparado para funcionar com o máximo de três esbarros, permitindo assim três tamanhos de peças por tubo.

Os mordentes têm a necessidade de ser independentes, de forma a otimizar a descarga da peça.

3.1.3.3 Corte

Para efectuar o corte com uma serra circular, é necessário um motor que movimentava a serra (motor da serra) e um motor que faça avançar a serra (motor de avanço). Foi usado um motor de indução normal para a serra, sendo por isso necessário o acoplamento de um *encoder* para tornar possível o controlo de velocidade. O motor usado para o avanço é do tipo servomotor. Este motor garante um movimento preciso, com binário nominal, mesmo a baixas rotações.

O movimento de avanço é conseguido através de um parafuso sem fim, garantindo assim rigidez e alta precisão.

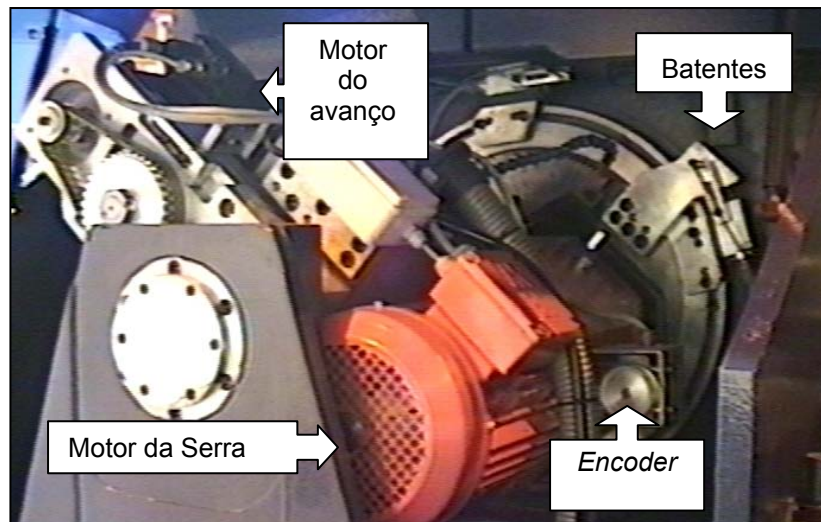


Figura 25: Serrote automático MAQUISIS – Corte (vista traseira)

Este serrote pode ainda efectuar cortes com dois ângulos. Para isso, usa dois batentes que definem o ângulo de corte. O motor da rotação angular é de indução, ligado a um inversor. Este inversor permite duas velocidades pré-programadas. Estas velocidades permitem movimentar a serra rapidamente, abrاندando na parte final do movimento.

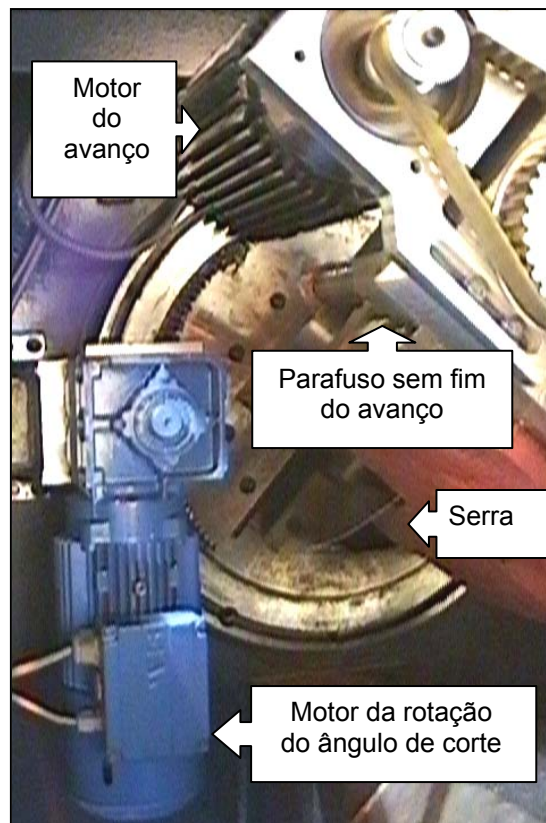


Figura 26: Rotação do ângulo de corte

3.1.3.4 Descarga

Após a conclusão do corte, o mordente da rebarba é desactivado e a aparadeira desce, efectuando-se assim a descarga da peça cortada.

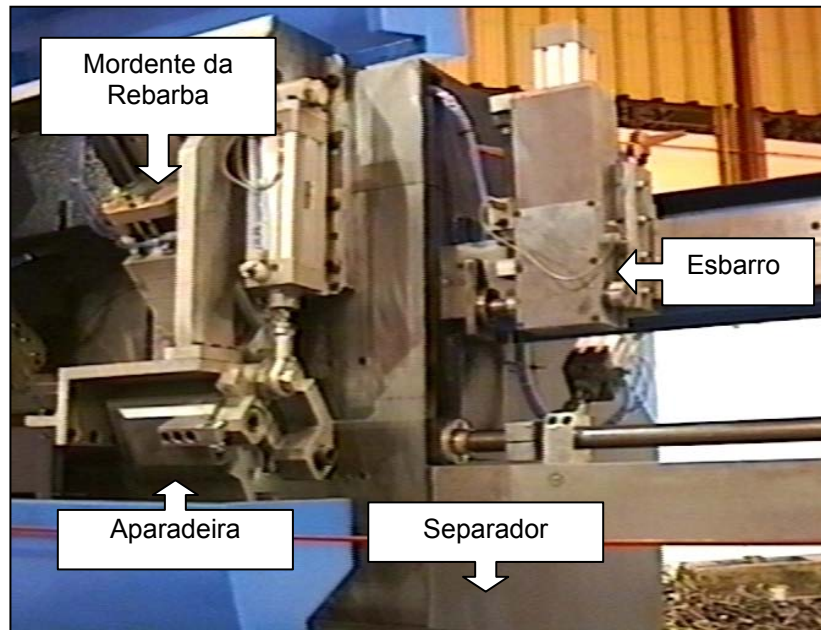


Figura 27: Serrote automático MAQUISIS – Descarga

De seguida a peças cai então para a parte da frente, ou para trás, dependendo da posição do separador de peças.

A rebarba e a ponta final caem sempre para a parte de trás, sendo também possível configurar o destino das restantes peças.

3.2 Software implementado

Todo o software necessário para a máquina foi implementado em diagrama de escada para o autómato OMRON modelo CQM1H. Este software inclui toda a sequência de funcionamento da máquina, as funções de segurança e as funções manuais para todas as operações.

3.2.1 Módulos de *Software* da máquina

De forma a facilitar a compreensão do programa, a sua manutenção, a inserção de novas opções e a permitir o desenvolvimento por uma equipa de programadores, foi necessário efectuar uma divisão em módulos.

Nesta divisão, dividiu-se a máquina (Serrote automático) em pequenas partes, que constituem em si máquinas mais simples. Desta forma, também se simplifica a programação, aquando da necessidade de operações distintas e em simultâneo.

Após a divisão da máquina em módulos, obtiveram-se os seguintes módulos:

Módulo	Descrição	Referência
ARMAZÉM	Trata-se do módulo que efectua todas as operações relacionadas com o armazém de tubos. Este é responsável por controlar as cintas e o alimentador plano e por informar a presença de tubos	ARM
ALIMENTAÇÃO	Trata-se do módulo que efectua o ciclo principal da máquina. Este controla os mordentes, os batentes, a aparadeira, o separador de peças e o arrastador de tubo.	ALIM
CARGA	Trata-se de um sub-módulo da alimentação. Este é responsável por colocar o tubo do armazém no arrastador. Assim, controla as alavancas e a tracção do tubo. Este está directamente relacionado com a alimentação.	CARG
CORTE	O módulo de corte efectua o corte inteligente e toda a sequência necessária. Este controla a serra, o avanço, a rotação angular e a refrigeração.	CORT
CONSOLA	Neste módulo é efectuado o <i>interface</i> com o utilizador da máquina.	CON
DIAGNOSTICOS	Este módulo tem como função verificar as entradas de falhas, bem como centralizar a informação de diagnóstico efectuada em cada módulo.	DIAG

Tabela 5: Módulos no software do serrote automático Maquisis

3.2.2 Requisitos de funcionamento dos módulos

Os requisitos apresentados definem as funções que cada módulo deve efectuar.

Os requisitos estão divididos em 3 categorias: Modo Automático, Modo Manual e Emergência.

3.2.2.1 Armazém

O módulo do armazém controla as cintas e o alimentador plano. Sendo responsável por indicar ao módulo de Alimentação/Carga a presença de tubo, a fim de ser carregado. Este deve, ainda, verificar se o armazém está vazio e detectar quando os tubos encravam, não sendo possível, assim, efectuar a alimentação.

Os requisitos do módulo do armazém são os seguintes:

Em modo automático:

- Avançar o alimentador plano, sempre que não existam tubos no armazém inclinado;
- Subir cintas, sempre que não haja tubos no alimentador plano;
- Descer cintas e recuar o alimentador plano por algum tempo (20 segundos), sempre que detecte tubos ao alto (encravados);
- Parar de subir as cintas, sempre que exista um tubo no alimentador plano ou tenha chegado a uma extremidade do movimento (cintas em cima ou cintas em baixo);
- Parar o alimentador plano, sempre que o armazém inclinado esteja cheio ou não hajam mais tubos no armazém;
- Indicar a existência de tubo no armazém inclinado;
- Indicar se o armazém está vazio;
- Indicar falha aquando da impossibilidade de desencravar tubos no armazém;
- Permitir subir ou descer cintas por ordem do operador, durante o modo automático.

Em modo manual:

- Permitir subir e descer cintas, sem a necessidade de manter a tecla pressionada;
- Permitir avançar ou recuar o alimentador plano.

Em emergência:

- Parar os motores das cintas e do alimentador plano.

3.2.2.2 Alimentação

O módulo da alimentação tem como funções a alimentação dos tubos, a preparação do tubo para o corte e a descarga de peças. Assim, este módulo controla o arraste, a tracção, os mordentes, os esbarros, a aparadeira e o separador de peças sendo também responsável por efectuar as contagens de peças e de tempos.

O módulo de alimentação contém o sub-módulo CARGA, que é responsável pela carga do tubo.

Os requisitos do módulo da alimentação são os seguintes:

Em Modo automático:

- Activar a tracção, sempre que exista um tubo na célula de corte;
- Desactivar a tracção e parar o arraste, apenas quando não exista um tubo na célula de corte durante algum tempo (0.5s);
- Permitir arrastar o tubo para efectuar o corte da ponta inicial ou arrastar o tubo para corte de peças;
- Permitir o arraste do restante tubo, usando o novo tubo;
- Não arrastar o tubo, caso um dos mordentes se encontre em baixo e a tracção em cima;
- Não arrastar, caso o esbarro activo não se encontre em posição;
- Descer o esbarro activo antes do arraste;
- Permitir até três esbarros;
- Permitir subir, caso seleccionado, o esbarro durante o corte;
- Parar o arraste, sempre que o tubo atinja o esbarro ou chegue à posição pretendida (via *encoder*);
- Durante o arraste e antes do corte, subir a aparadeira após algum tempo do início do arraste ou na detecção do início do tubo;
- Durante o arraste e antes do corte, subir de imediato a aparadeira, caso algum esbarro seja atingido ou se vá efectuar o último corte da última peça do tubo;
- Activar o mordente do tubo, logo que este atinja o esbarro activo ou o deslocamento pretendido, e activar também durante o corte;
- Activar o mordente da rebarba, caso a aparadeira se encontre em cima e o mordente do tubo esteja activado;

- Durante o corte, movimentar o separador de peças para a posição correcta;
- Permitir seleccionar a zona de descarga das peças para cada tamanho;
- A rebarba cai sempre para a parte de trás da máquina;
- Descer a aparadeira, apenas quando o disco recuou completamente e o separador de peças se encontra na posição correcta;
- Contar, no tubo corrente, o total de peças cortadas e por tamanho;
- Calcular o tempo de corte e o tempo de ciclo;
- Contar as peças totais cortadas e o número de cortes efectuados pela serra;
- Indicar a falta de tubo na célula de corte;
- Indicar a ordem de início de corte, após verificar que a aparadeira se encontra em cima e os mordentes em baixo;
- Indicar falha, caso encrave num estado durante algum tempo (1 min);

Em Modo Manual:

- Permitir o controlo manual do arraste, dos mordentes, da aparadeira, dos esbarros e do separador de peças;

Em Emergência:

- Parar o motor do arraste;
- Manter todo os actuadores pneumáticos no mesmo estado;

3.2.2.3 Carga

Este módulo está directamente relacionado com o módulo de alimentação e tem como função retirar o tubo do armazém e colocá-lo na célula de corte.

Os requisitos do sub-módulo da carga são os seguintes:

Em modo automático:

- Desactiva o arraste, no caso de falta de tubo na célula de corte durante algum tempo (0.5s);
- No caso de tubo novo, e tubo presente no armazém sobe a alavanca e mantém esta em cima durante 0.1 segundos;
- Activa tracção, após descida da alavanca;

Em modo manual:

- Permitir o controlo manual das alavancas e da tracção do tubo;

Em emergência:

- Manter todo os actuadores pneumáticos no mesmo estado;

3.2.2.4 Corte

O módulo de corte tem como função efectuar a sequência de corte de tubo ou de perfil. Este módulo é responsável por controlar o ângulo de corte, bem como de activar a refrigeração da serra.

Os requisitos do módulo de corte são os seguintes:

Em modo automático:

- Ter sempre o motor da serra em funcionamento (velocidade mínima para o corte configurado);
- Iniciar o corte com a velocidade média do avanço e fazer o recuo com a velocidade máxima de avanço permitida pelo actuador;
- Ter a refrigeração activada, sempre que a serra esteja em movimento;
- Efectuar a rotação angular do corte, apenas com a serra completamente recuada;
- Iniciar o corte, apenas quando a serra se encontra com o ângulo correcto e confirmar a informação dos sensores indutivos dos batentes;
- Reduzir a velocidade da rotação angular ao aproximar-se do batente correspondente;
- Informar a posição da serra e o estado do corte (parado, a cortar, a recuar);
- Garantir que a serra se encontra atrás, sempre que entra em modo automático;
- Efectuar o corte com o controlador de velocidades;

Em modo manual:

- Permitir o controlo manual da rotação angular, da refrigeração e das velocidades da serra e avanço;

Em emergência:

- Parar os motores: de avanço, da serra, da refrigeração e da rotação angular;

3.2.2.5 Diagnósticos

Este módulo é responsável por verificar as entradas dos disjuntores dos motores, bem como as variáveis de diagnóstico fornecidas pelos restantes módulos, desactivando o respectivo módulo ou toda a máquina, dependendo do tipo de avaria. Este permite codificar a avaria, para posterior apresentação na consola da máquina. As luzes de informação da máquina são também controladas neste módulo.

Este módulo está sempre activo, pois trata-se do módulo que controla o estado da máquina (automático, manual, emergência). A programação deste módulo não necessita de sequências, sendo programado usando apenas combinações, devido as todas as saídas dependerem apenas das entradas.

Requisitos das saídas deste módulo:

- Toda a máquina deve ser desactivada, sempre que é pressionado o botão de emergência;
- O módulo do armazém deve ser desactivado, em caso de falha no motor das cintas ou do alimentador plano;
- O módulo de alimentação deve ser desactivado, no caso de falha na pressão pneumática ou falha do motor de arraste de tubo;
- O corte deve ser desactivado no caso de falhas nos motores: da serra, do avanço, da rotação e da refrigeração;
- No caso de *overflow* do *watch dog* de um módulo, o respectivo módulo deve ser também desactivado;
- A luz verde deve estar acesa, se a máquina está em funcionamento automático, piscando (1s) quando a máquina está pronta para iniciar o ciclo automático de produção;

- A luz amarela deve ficar acesa, quando não existem mais tubos no armazém. Esta deve também piscar, se a produção da série chegou ao fim.
- A luz vermelha deve acender, sempre que o botão de emergência é activado e deve piscar, no caso de ser detectada alguma anomalia na máquina.
- A saída do autómato (PLC OK) deve ser desactivada, aquando da detecção de um problema interno do autómato (bateria da eeprom baixa, erro no tempo de ciclo, memória corrompida, *run-time error*);
- Activar a saída de falha e codificá-la para posterior informação;

3.2.2.6 Consola

Este módulo é responsável por fazer o *interface* com o utilizador. Assim, a navegação dos menus, as validações dos dados introduzidos, bem como os cálculos necessários na altura da introdução de dados, são efectuados neste módulo. Alguns dados são também calculados para permitir a sua correcta visualização.

As mensagens de avaria são de imediato apresentadas, não dependendo do menu onde se encontra o utilizador.

O utilizador pode navegar por todos os menus, estando estes organizados em menus de função manual (máquina em modo manual) e menus de função automática (máquina em modo automático). Em modo manual, o utilizador pode actuar em todos os movimentos da máquina, configurar as quantidades que pretende produzir e configurar o *setup* da máquina (tipo de serra, tipo de material, entre outros). Em modo automático, o utilizador pode verificar tempos de corte, peças produzidas, peças ainda por produzir e estatísticas.

3.3 Corte Inteligente

De forma a conseguir implementar o corte inteligente de tubo ou de perfis metálicos, foi necessário definir a forma de como obter os parâmetros mais relevantes do processo e definir os respectivos actuadores.

Levando em conta que a implementação do controlador é realizado por um autômato OMRON de gama baixa (modelo CQM1H), foi necessário reduzir as entradas apenas para o essencial. Desta forma, foi unicamente usada a informação do binário da serra. Contudo, o binário do avanço pode ser visualizado no sistema de monitorização.

A informação dos sensores é adquirida no autômato através de entradas analógicas, permitindo uma comunicação mais rápida. A actuação também é efectuada recorrendo a saídas analógicas.

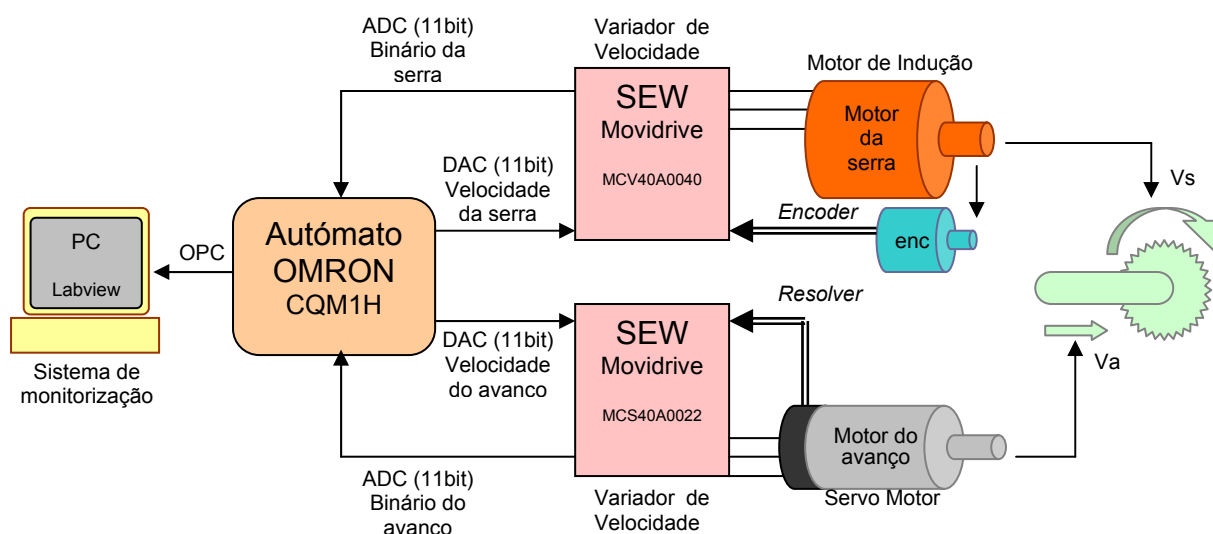


Figura 28: Esquema de controlo do corte inteligente

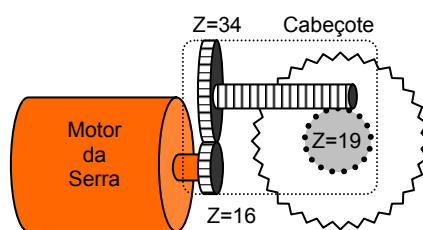
Na arquitectura usada (Figura 28) existem três malhas de controlo. A serra é controlada pelo variador de velocidade, utilizando o *encoder* que está acoplado ao motor de indução. Esta malha garante o cumprimento correcto da velocidade da serra. A velocidade de avanço é também controlada pelo variador de velocidade com controlo vectorial. Este usa a informação retirada pelo *resolver* do motor *servo*, garantindo um controlo muito preciso da velocidade de avanço. A malha principal de controlo é fechada pelo autômato através do valor de binário da serra. Esse valor é fornecido pelo variador de velocidade do motor da serra.

O sistema de monitorização foi usado apenas para o estudo e validação do controlador do processo de corte. A informação adquirida pelo sistema de monitorização é apresentada de imediato, o que permite o ajuste do controlador de todo o sistema.

3.3.1 Sensores

Os variadores de velocidade permitem configurar uma saída analógica com um dos seus vários parâmetros internos. Um dos parâmetros disponíveis é o binário que o motor está a exercer em cada momento. Essa informação é calculada através da potência de saída e da velocidade de rotação. No caso do motor da serra, a velocidade de rotação é obtida através de um *encoder*. No caso do motor de avanço, a informação é obtida através de um *resolver* do *servo* motor. O valor das saídas é actualizado em cada 2 ms.

3.3.2 Actuadores



$$\text{Total: } i=40,375$$

Figura 29: Engrenagens do cabeçote da serra

O motor da serra está acoplado a uma engrenagem de rodas dentadas. A roda motora tem 16 dentes e a roda movida tem 34. Acoplado à roda movida, encontra-se um parafuso sem fim e uma roda de coroa com 19 dentes. Este cabeçote apresenta uma relação de transmissão de 40.375.

O motor da serra é trifásico de indução com 4kW de potência, com uma velocidade nominal de 1420 rpm e alimentado a 230/400V 50Hz. Este motor é controlado por um inversor SEW que garante o controlo de velocidade e permite o funcionamento do motor, a uma velocidade superior à nominal, com menores binários.

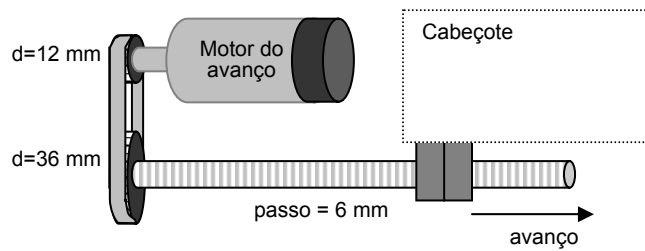


Figura 30: Sistema mecânico para o movimento do avanço

O motor de avanço está acoplado a um sistema de polia, com uma roda motora de 12mm e uma roda movida de 36mm, resultando numa relação de 3 para 1. Um fuso com um passo de 6 mm está acoplado à roda movida. Neste sistema, a cada 3 rotações do motor, o cabeçote da serra avança 6 mm. O motor do avanço é do tipo servo motor com 2,2kW de potência e uma velocidade nominal de 3000 rpm.

3.3.3 Cálculos de Setup

Os cálculos de *setup* são efectuados sempre que algum parâmetro de corte é alterado. Isso acontece quando é alterado o tipo de serra (marca, número de dentes, diâmetro) ou o tipo de material a cortar (aços de dureza diferente, aço inoxidável, materiais sintéticos, ferro gusa, bronze, cobre, latão, alumínio, etc).

As velocidades médias e os limites máximo e mínimo do avanço e da rotação da serra são calculados em função do tipo de material a cortar e da serra instalada na máquina. Para isso, é usada uma tabela de valores de referência para um dado tipo de material e uma dada serra (ver Tabela 1).

Os valores são calculados e convertidos, levando em consideração as engrenagens do cabeçote e o número de *bits* do DAC. Desta forma, é reduzido o número de cálculos por ciclo, quando o controlador do corte está activo. Essa conversão é efectuada através de duas constantes: K_{cs} (conversão da serra) e K_{ca} (conversão do avanço). Estas constantes são dimensionadas, para que os valores possam ser representados em 16 *bits*, permitindo o uso directo das funções matemáticas do PLC.

A constante de conversão para a velocidade de rotação da serra de disco é calculada da seguinte forma:

$$K_{cs} = \frac{1000}{\pi} \times \frac{CabI}{DacRs} = 8773$$

$$CabI = 40,375$$

$$DacRs = 1,4648 \text{ (rpm/bit)}$$

$$CabI \rightarrow \text{Relação das engrenagens do cabeçote}$$

$$DacRs \rightarrow \text{Rotações da serra por cada bit}$$
(10)

O valor da constante de conversão para a velocidade de avanço da serra é invertido, sendo calculado da seguinte forma:

$$K_{ca} = \frac{100 \times CabI \times pa}{MavI} \times \frac{DacRs}{DacRa} = 8075$$

$$MavI = 3$$

$$pa = 6 \text{ (mm)}$$

$$DacRa = 14648 \text{ (rpm/bit)}$$

$$MavI \rightarrow \text{Relação da polia do motor de avanço}$$

$$pa \rightarrow \text{Passo do fuso do avanço}$$

$$DacRa \rightarrow \text{Rotações do motor de avanço por bit}$$
(11)

Para a serra, são calculados três valores que representam o valor do DAC da serra para a rotação mínima e máxima, que permitem a implementação do limitador da saída e o valor médio de rotação, sendo este usado no início do corte.

Os valores dos limites da serra são calculados através dos valores guardados na tabela de velocidades (ver tabela 1), usando as fórmulas seguintes:

$$VsDACmin = \frac{Vmin \times Kcs}{d}$$
(12)

$$VsDACmax = \frac{Vmax \times Kcs}{d}$$
(13)

$$VsDACmed = \frac{\left(\frac{Vmin \times Vmax}{2}\right) \times Kcs}{d}$$
(14)

As velocidades guardadas na tabela são velocidades tangenciais, sendo necessário utilizar o diâmetro do disco da serra (d), de forma a converter para rotações do motor.

Para a velocidade de avanço, é necessário saber o número de dentes do disco da serra, bem como a velocidade de rotação da serra. De notar que, a constante Kcs está invertida.

Os valores dos limites do avanço são calculados, usando os valores dos limites da serra e dos limites que se encontram guardados na tabela, utilizando as seguintes fórmulas:

$$VaDACmin = \frac{AZmin \times Z \times VsDACmin}{Kca} \quad (15)$$

$$VaDACmax = \frac{AZmax \times Z \times VsDACmax}{Kca} \quad (16)$$

$$VaDACmed = \frac{\left(\frac{AZmin \times AZmax}{2}\right) \times Z \times VsDACmed}{Kca} \quad (17)$$

O valor da velocidade de avanço é calculado em função: do avanço por dentes (A_z), do número de dentes (z) e da velocidade de rotação da serra. A constante converte todas as unidades, de forma a obter o valor do DAC.

3.3.4 Sequência de corte

Na sequência de corte é implementada a activação do controlador de corte inteligente, bem como a determinação do fim do corte. A sequência implementa o *softstart* para o corte e, assim, evita picos de binário no início do corte. Estes picos podem ser verificados nas simulações efectuadas onde a sequência de corte não foi implementada. Para a implementação da detecção do fim do corte, são também importantes todos os estados da sequência do corte, de forma a permitir calcularem os *thresholds* dinamicamente. Isso é necessário, pois o binário resistente do cabeçote altera-se ao longo do tempo, devido ao desgaste mecânico ou mesmo à temperatura do óleo de lubrificação das engrenagens.

No *softstart*, a velocidade do motor da serra e do avanço são colocadas no valor médio correspondente, em função dos parâmetros de *setup*. Essas velocidades mantêm-se fixas até que o binário da serra (B_s) suba acima de um valor que activará o controlador do corte (B_{cc}). Desta forma, evita que o controlador comece a acelerar, devido à ausência de material a cortar.

A detecção do fim do corte evita a necessidade de ajustar um fim de curso, diminuindo o tempo de *setup* da máquina e, assim, aumentar a produtividade. Permite também maximizar o tempo de corte, aquando de cortes com ângulos diferentes e alternados, pois nesta situação, a serra terá que avançar, mais ou menos, dependendo do ângulo de corte. A detecção do fim do corte é conseguida através da leitura e comparação entre o binário da serra e um *threshold* de fim do corte (B_{fc}). Caso o binário da serra esteja abaixo do binário do fim do corte durante mais de 1 segundo, o corte está concluído. A temporização de 1 segundo é necessária para evitar falsas detecções do fim do corte.

Os *thresholds* dinâmicos são calculados, usando dois *thresholds* fixos e o valor do binário da serra em vazio. Esse cálculo é efectuado no primeiro estado da sequência de corte (corte parado).

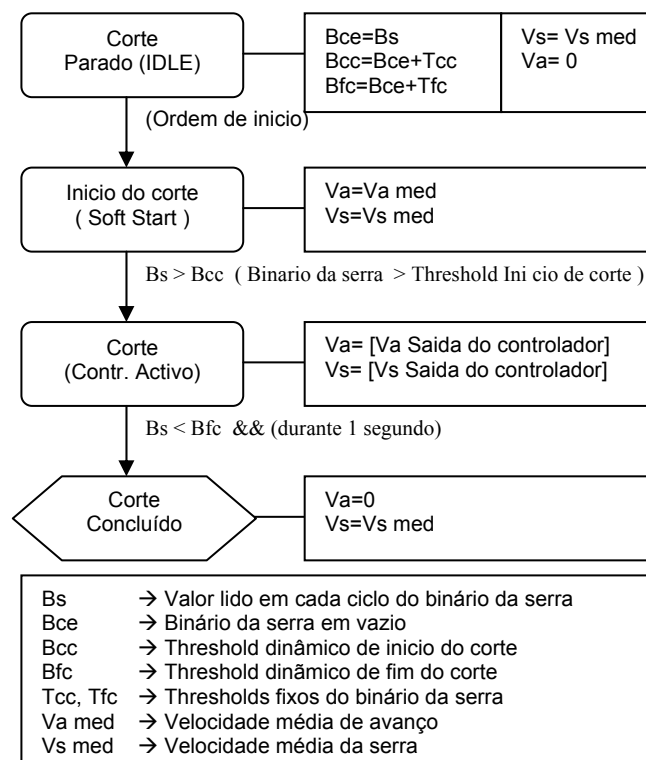


Figura 31: Sequência de corte

No estado “corte parado”, a serra é posta em funcionamento à velocidade média para os valores de *setup*, sendo assim lido o seu binário (Bce). Este valor de binário representa o binário necessário para vencer o atrito mecânico das roldanas do cabeçote e do óleo de lubrificação. O binário da serra em vazio pode variar mais de 100% nos primeiros 10 minutos, após o início do funcionamento, devido ao aumento da temperatura do óleo. O desgaste das roldanas afecta também o binário, o qual diminui nos primeiros dias de funcionamento e aumentará quando o desgaste começa a acumular-se nas roldanas.

No momento em que a peça se encontra bem fixa, é dada a ordem de corte, passando para o estado “Início de corte”. Neste estado, a serra roda à velocidade média, avançando à velocidade média definida no *setup*. Estas velocidades são fixas.

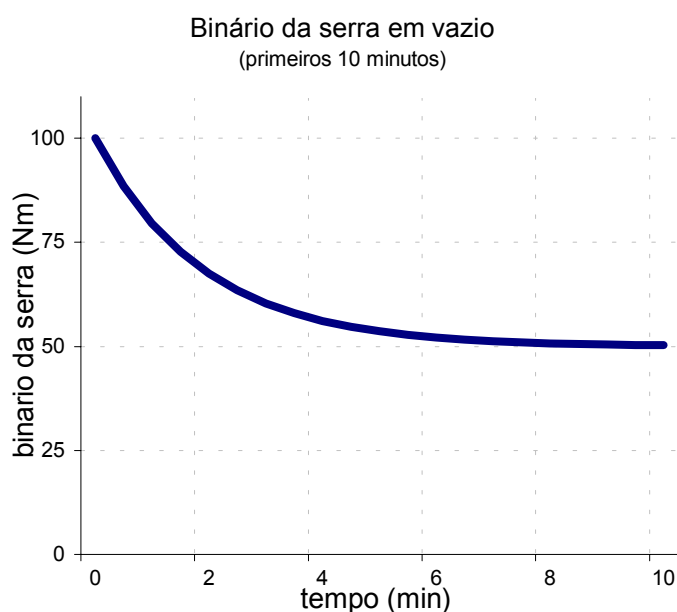


Figura 32: Evolução do binário da serra em vazio nos primeiros minutos

A serra é posicionada o mais próximo possível do material a cortar. Contudo, se o controlador do corte fosse de imediato activado, a serra apresentaria um binário muito baixo, o que provocaria um aumento imediato da velocidade de corte. A geometria circular da serra é também um factor para a implementação deste estado, pois o corte inicia-se sempre por um pequeno ponto e, por consequência, por um baixo binário da serra.

O controlador do corte é activado, quando o binário da serra apresenta um valor superior ao valor de binário em vazio (Bce), somado a um valor predefinido (Tcc). Isto é, o binário da serra terá que apresentar um valor superior ao *threshold* dinâmico de início de corte (Bcc).

No estado “corte”, as velocidades da serra e do avanço são controladas através do controlador de corte, baseando-se na informação de binário do motor da serra.

O fim do corte é detectado, quando o binário do motor da serra fica menor que o *threshold* dinâmico do fim de corte (Bfc) durante de 1 segundo. A temporização de 1 segundo foi necessário, pois o ruído do binário da serra poderia gerar uma falsa detecção de fim do corte.

No estado de “fim de corte”, é efectuado o recuo da serra, tendo em conta que a velocidade desta é colocada no seu valor mínimo.

3.3.5 Controlador

A implementação do corte inteligente foi preparada para que várias metodologias de controlo fossem facilmente inseridas. Para isso ser possível, foi necessário converter o sistema de várias entradas e de várias saídas para um sistema de uma entrada e uma saída. Nessa conversão, foi levada em conta a relação directa entre a velocidade da serra e do avanço, em função do esforço de corte.

Assim, é possível ter apenas uma referência que representa o tipo de corte que será efectuado (corte suave, corte normal e corte agressivo). Para um corte suave, o utilizador terá apenas que definir um binário de referência baixo e o controlador fará o corte com um binário baixo, acelerando ou abrandando, conforme o material a retirar. Num corte agressivo, este será efectuado com um nível mais elevado de binário, provocando um maior esforço dos componentes da máquina e do próprio disco da serra. Contudo, o tempo de corte, por sua vez, será menor.

O binário de referência será independente da metodologia do controlador implementado.

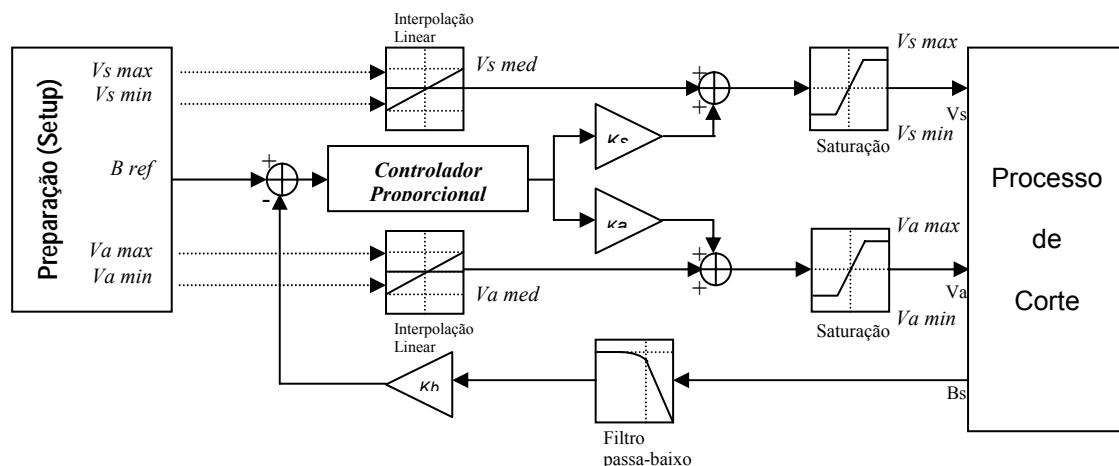


Figura 33: Esquema de controle do processo de corte

Após o estudo em simulação das várias metodologias, escolheu-se o controlador proporcional. Este obteve resultados razoáveis, tendo apenas uma constante a ajustar e sendo, assim, mais prático em várias implementações do serrote automático. A sua simplicidade torna-se, também, uma vantagem na implementação num autómato (PLC) de baixa *performance*.

A informação do binário do motor da serra é adquirida através do *driver* do motor, usando uma entrada analogia que garante uma aquisição com um atraso de 2ms. Este valor contém algum ruído, o qual é eliminado através de um filtro passa-baixo, implementado no próprio PLC.

$$Bs_n = (1 - Kf) \times Bs_{n-1} + Kf \times Bs_n \quad (18)$$

A informação de binário é então convertida através da constante (K_b), sendo, de seguida, calculado o erro de binário em relação à referência.

Este erro entra no controlador, sendo, neste caso, multiplicado pela constante proporcional.

A saída é, então, multiplicada pela constante da velocidade da serra (k_s), representando, assim, o ajuste de velocidade em relação à velocidade média da serra. A velocidade de avanço sofre, de igual forma, o ajuste, sendo a saída multiplicada pela constante de velocidade de avanço (k_a). A constante do avanço é maior do que a constante da serra, para garantir que, quando o valor da serra diminui devido ao binário, o avanço diminua ainda mais e, assim, efectue uma verdadeira redução no binário de corte. O mesmo acontece quando é necessário aumentar a velocidade.

As velocidades calculadas passam por um bloco limitador parametrizado no *setup*, o qual garante que os parâmetros de corte nunca tenham valores fora dos valores ideais do material a cortar.

A saída do controlador é, portanto, um ajuste de velocidade, tornando assim mais robusto o controlador, pois, caso os parâmetros sejam demasiado baixos, a velocidade mantém-se aproximadamente constante e igual ao valor médio. Este facto é muito importante, pois cada serrote tem as suas constantes e, por sua vez, torna o *software* mais simples e facilmente parametrizável.

3.4 Monitorização do corte

O sistema de monitorização do processo de corte tem como objectivo visualizar, em tempo real, as principais variáveis do processo de corte, permitindo, assim, analisar o comportamento do controlador e permitir ajustar, posteriormente, os parâmetros.

Os parâmetros monitorizados são: o binário do motor da serra, o binário do motor do avanço, a velocidade do disco da serra e a velocidade de avanço. O sistema de monitorização está também preparado para analisar a temperatura do disco da serra, caso o sensor esteja instalado.

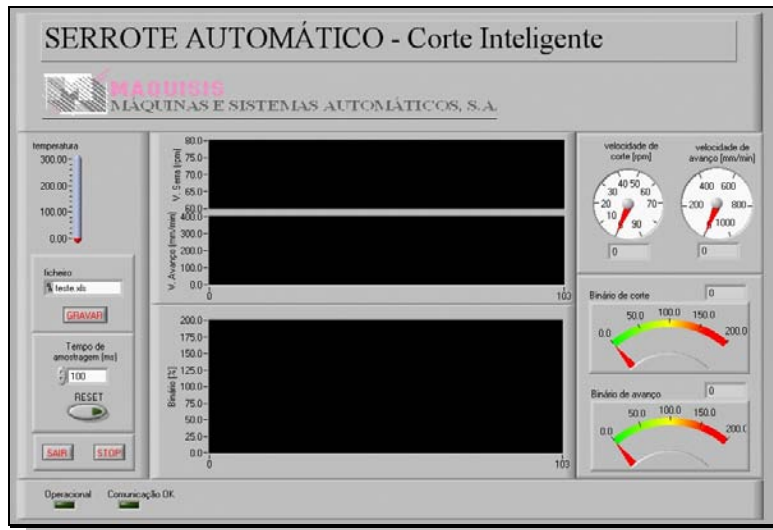


Figura 34: Layout do sistema de monitorização

O sistema de monitorização permite visualizar o valor instantâneo de cada variável por meio de um indicador de ponteiro, registando também o progresso num gráfico de tempo. O tempo de amostragem pode também ser definido, podendo ser ajustado desde 10ms até alguns segundos.

Os valores apresentados são filtrados de forma a eliminar o ruído da leitura e permitir uma melhor visualização dos dados.

O sistema de monitorização permite, também, registar em ficheiro o progresso do corte nas últimas 1000 amostras. Desta forma, é possível posteriormente analisar e comparar vários cortes.

3.4.1 Implementação do sistema de monitorização

O sistema de monitorização foi implementado, usando o *LabView* 6.1 e tirando partido do servidor OPC. Esta implementação permite que o programa de monitorização possa aceder ao servidor OPC, via rede, permitindo, assim, uma monitorização remota do processo de corte.

No programa *Ladder* são definidas as variáveis a exportar, sendo estas enviadas pelo autómato (PLC), via RS232, em cada 10ms, para o servidor OPC.

O programa em *LabView* abre uma ligação ao servidor OPC, actualizando o valor das variáveis a monitorizar.

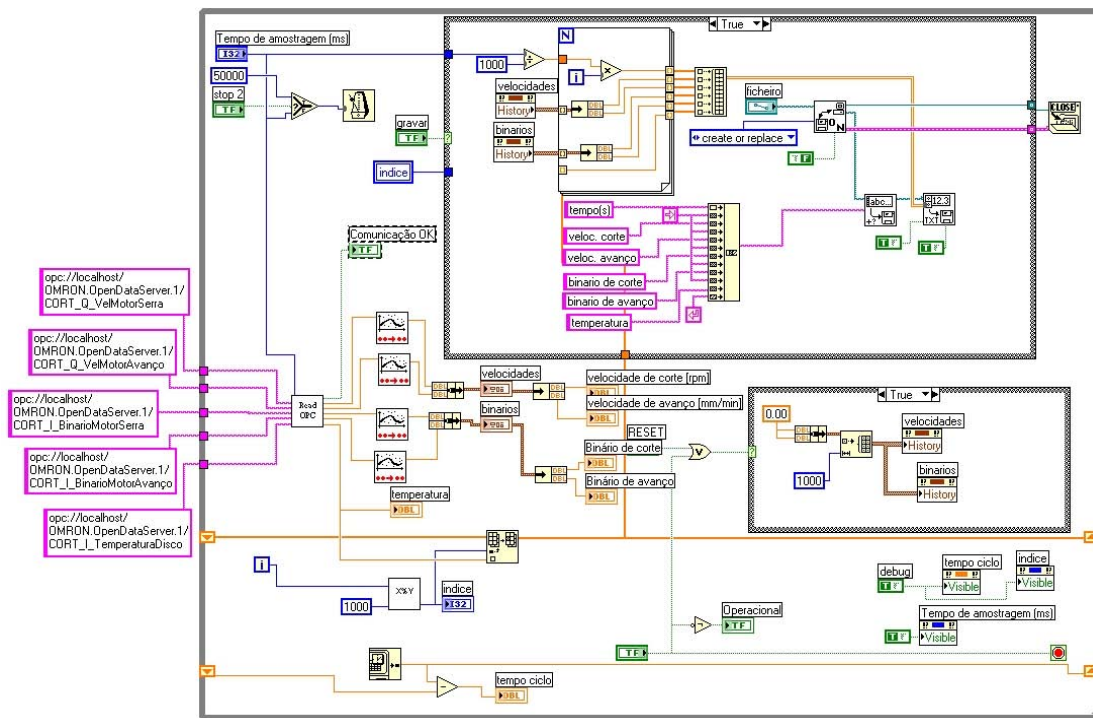


Figura 35: Diagrama principal do programa de *LabView*

Esta topologia pode ser usada também para actuar directamente nas variáveis internas do autómato, podendo, assim, intervir directamente no processo.

No diagrama pode-se verificar a definição das “strings” de ligação ao servidor OPC. Estas entram num bloco de leitura do servidor OPC e de conversão de valores.

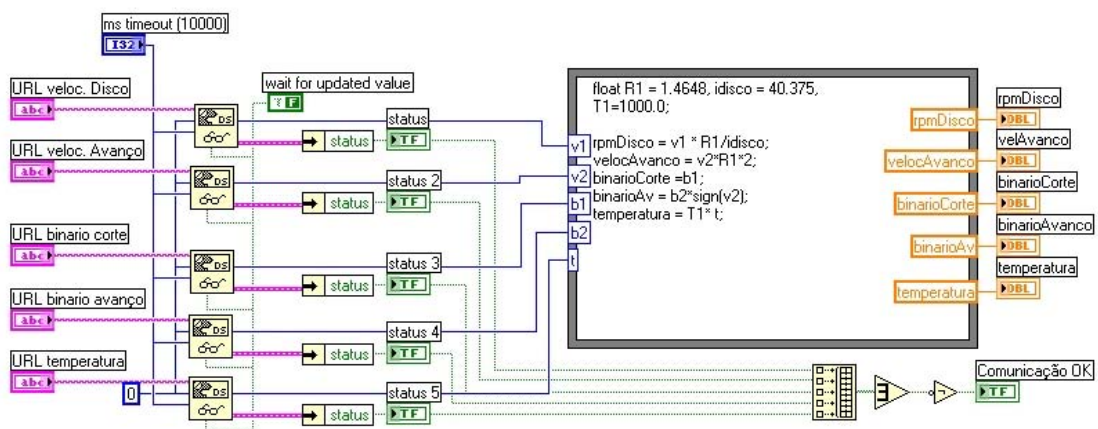


Figura 36: Diagrama do bloco “read OPC” do programa de *LabView*

Os dados são, de seguida, filtrados, sendo, de imediato, apresentados nos indicadores e gráficos.

O bloco “read OPC” é responsável por abrir a ligação ao servidor e pela conversão dos valores para as unidades respectivas. Isso é necessário, pois os valores exportados pelo autómato, são retirados directamente dos registos dos DAC e dos ADC. A exportação dos valores já convertidos não é possível, pois estes não estão disponíveis no autómato.

4 RESULTADOS

Os resultados experimentais foram obtidos com a máquina em funcionamento, em ciclo automático, num ambiente industrial. Assim, o processo de corte foi testado durante a produção normal efectuada pela máquina.

A máquina é colocada em funcionamento automático após terem sido ajustados os mordentes, os esbarros, e ter sido carregado o armazém da máquina com um atado de tubos. A máquina pára, quando chega ao limite de peças a produzir ou caso não existam mais tubos no armazém. O armazém pode ser, contudo, carregado durante o funcionamento da máquina, pois é possível que os tubos no armazém inclinado não se esgotem antes do carregamento do armazém principal da máquina.

A serra de disco é trocada, sempre que não se encontra em perfeitas condições, podendo o estado ser avaliado pela qualidade do corte efectuado ou pelo aumento de tempo de corte.

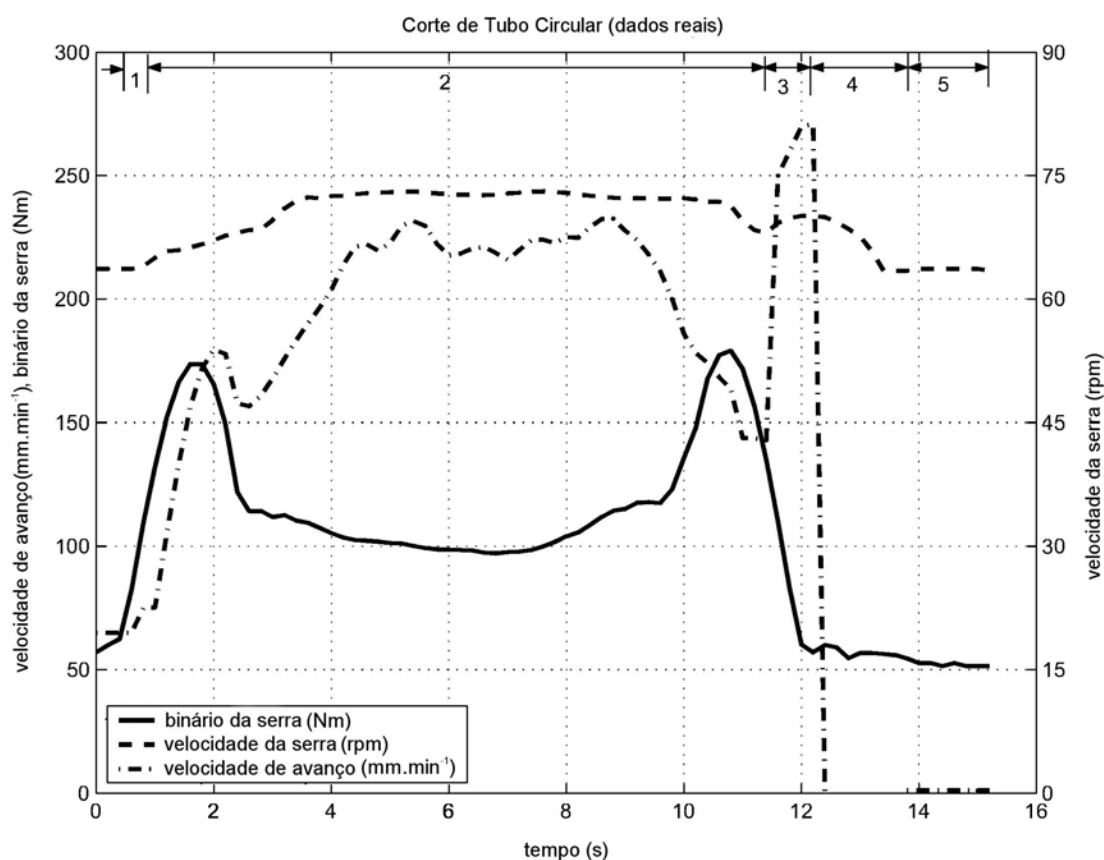


Figura 37: Processo de corte (dados reais)

Um corte com boa qualidade não tem rebarbas e apresenta uma superfície prateada, com uma cor uniforme, o que indica também que o corte foi efectuado a uma temperatura constante.

O sistema de monitorização foi usado para retirar a informação dos parâmetros mais importantes durante o corte.

O binário da serra, bem como as velocidades do disco e do avanço, foram registadas, sendo apresentado na Figura 37 um ciclo de corte completo. Nesta figura, pode-se ver o progresso do corte e a *performance* do controlador proporcional durante o corte. Pode-se, também, identificar os estados da sequência do corte: início do corte, corte, fim do corte, recuo da serra e em espera.

No primeiro estado, as velocidades da serra e do avanço são colocadas à velocidade média do corte. Estas mantêm-se, até que o binário da serra sobe acima do *threshold* de início de corte, activando o controlador. Desta forma, é evitado um início de corte com velocidade excessivamente alta.

No segundo estado, o controlador proporcional vai ajustando as velocidades da serra e do avanço em função do binário da serra. Desta forma, quando o binário aumenta, as velocidades da serra e do avanço diminuem e vice-versa.

No terceiro estado, o corte foi concluído, o que provocou uma diminuição do binário da serra e um conseqüente aumento nas velocidades da serra e do avanço. Este estado dura apenas 1 segundo, pois o binário da serra mantêm-se menor do que o *threshold* de fim de corte.

No quarto estado, é iniciado o recuo da serra e a velocidade da serra é colocada à velocidade média.

No quinto estado, o processo de corte aguarda o posicionamento e fixação do tubo para iniciar um novo corte. Neste estado, pode-se verificar o binário em vazio da serra.

Utilizando um corte a uma velocidade constante, o corte inteligente com uma referência igual ao binário nominal da serra e uma referência menor do que o binário nominal da serra, registaram-se registrar os tempos de corte e o número de cortes até haver necessidade de trocar a serra. Os cortes foram efectuados em tubos circulares e tubos quadrados.

No corte inteligente, o tempo de corte vai variando, à medida que se vão efectuando cortes. Uma das razões para a variação do tempo de corte prende-se com as próprias variações das características do material a cortar, pois o controlador de corte vai ajustando as velocidades em função do binário, isto é, da dureza do material. Contudo, a variação do tempo de corte causada pelas características do material é aleatória. Por outro lado, o tempo de corte tem a tendência a aumentar em função da diminuição da qualidade da serra, podendo mesmo aferir-se o momento ideal para a troca da serra.

A troca da serra foi efectuada sempre que o estado da mesma se encontrava nitidamente mau ou quando a qualidade de corte não era aceitável para um corte por arranque de aparas.

Corte de Tubo	Tempo de corte (s)	Número de cortes até troca de serra
Tubo circular (R=100mm E=10mm) [Corte com velocidade constante]	25	800
Tubo circular (R=100mm E=10mm) [Corte Inteligente] (referência = binário nominal de corte)	14 .. 18	1000
Tubo circular (R=100mm E=10mm) [Corte Inteligente] (referência = baixo binário de corte)	24 .. 26	1500
Tubo Quadrado (L=60mm E=20mm) [Corte com velocidade constante]	44	300
square profile (L=60mm E=20mm) [Corte Inteligente] (referência = binário nominal de corte)	40 .. 45	900
square profile (L=60mm E=20mm) [Corte Inteligente] (referência = baixo binário de corte)	46 .. 52	1450

Tabela 6: Dados experimentais do processo de corte

Em tubos circulares, o corte inteligente consegue sempre uma maior eficácia, pois obtém-se um menor tempo de corte e uma maior duração da serra. Dependendo da referência de binário de corte, pode-se diminuir o tempo de corte (corte mais rápido) ou maximizar a duração da serra (corte mais suave). Os resultados mostram que o corte inteligente consegue sempre utilizar melhor a serra, podendo esta efectuar quase o dobro dos cortes, em comparação com o corte em velocidade constante.

Em tubos quadrados, o tempo de corte, usando o corte inteligente, não é melhorado. Contudo, a duração da serra é bastante afectada, conseguindo, desta vez, muitos mais cortes, até à troca da serra. Isto acontece devido ao grande desgaste que ocorre no início e no fim do corte, usando uma velocidade constante.

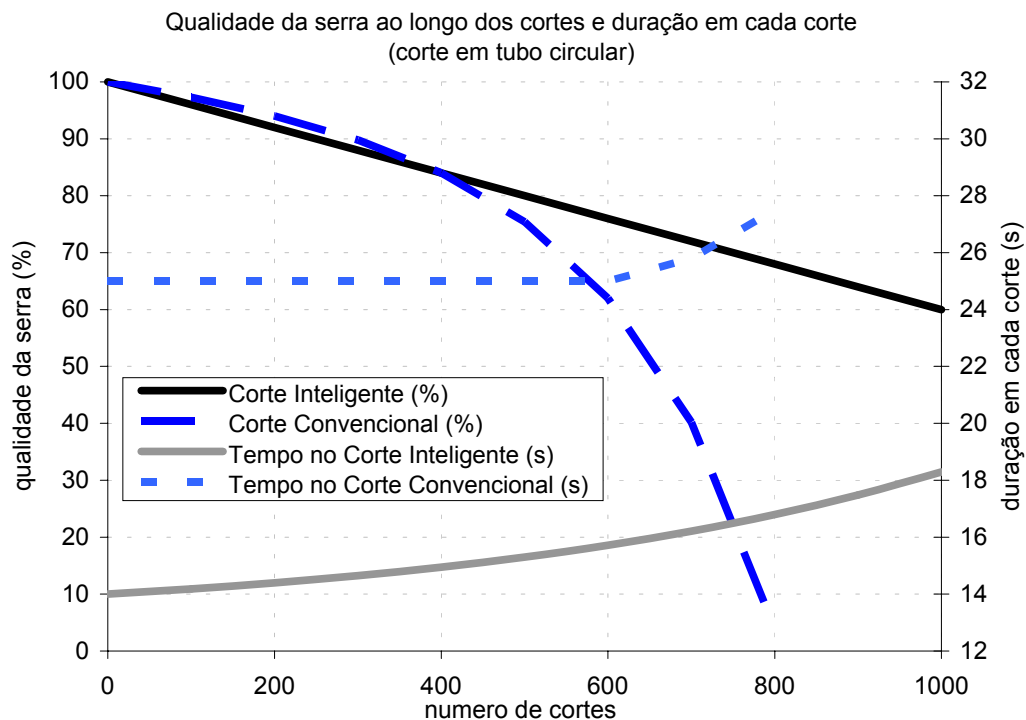


Figura 38: Evolução da qualidade da serra no corte convencional e no corte inteligente

Sendo muito difícil quantificar o desgaste de uma serra de disco, pode-se, contudo, aferi-lo indirectamente, através da qualidade de corte, do ruído que produz e pela temperatura que atinge durante o corte. Usando o corte inteligente, pode-se utilizar também o tempo de corte para quantificar o desgaste de um disco de serra, pelo aumento do tempo de corte. Com essa informação, pode-se verificar que, com o corte inteligente, o desgaste de um disco de serra é proporcional ao número de cortes. Com uma velocidade constante de corte, a velocidade de avanço obriga a serra a avançar, mesmo que esta não consiga cortar nas perfeitas condições. Isso vai provocar um desgaste exponencial, o que explica uma menor duração da serra de disco.

Na Figura 38, pode-se verificar que quando se efectua um total de 200 cortes, o corte convencional provoca menos desgaste na serra do que o corte inteligente. Isto acontece pois a velocidade de corte, no corte convencional, é parametrizada para as piores condições que apenas acontecem durante um curto período. Esta parametrização afecta directamente o tempo de corte, sendo este mais elevado comparativamente ao corte inteligente.

Quando o desgaste da serra começa a acentuar-se, o corte inteligente começa a compensar, diminuindo a velocidade de corte e, conseqüentemente, aumentando o tempo de corte. Desta forma, o desgaste que ocorre na serra no corte inteligente é proporcional ao número de cortes efectuados. No corte convencional não é efectuado ajuste de velocidade, o que provoca um desgaste exponencial na serra. Quando a serra, no corte convencional, se encontra bastante má, o tempo de corte aumenta ligeiramente. Esta situação acabará forçosamente na danificação definitiva da serra de disco.

5 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5.1 Conclusões

Os resultados comprovam, de facto, que o corte inteligente conseguiu diminuir o tempo de corte e o desgaste da serra, obtendo-se assim uma maior produtividade da máquina automática de corte comparativamente com as máquinas de corte automático tradicionais.

O trabalho realizado permitiu otimizar o processo de corte de uma máquina automática de corte de tubos e barras metálicas com serra circular. Contudo, a metodologia pode ser aplicável a qualquer máquina que utilize o corte por arranque de apara, pois o princípio de funcionamento é o mesmo, isto é, o binário que a serra apresenta é proporcional ao esforço, sendo este ajustável em função da velocidade de corte.

Com esta metodologia, é apenas necessário indicar o tipo de material a cortar e a tipo de serra, sendo automaticamente escolhidas as velocidades de corte. Durante o processo de corte, as velocidades de corte sofrem ajustes automáticos em função do esforço que a serra apresenta. Desta forma, o operador da máquina, não efectua ajustes subjectivos na velocidade de corte, pois esta adapta-se automaticamente às condições ideais de corte. Nas máquinas tradicionais, o operador teria que definir o valor das velocidades de corte também em função do formato do perfil e para as piores condições de binário que a serra apresenta, pois o corte efectuar-se-ia a uma velocidade constante.

Tirando partido da informação de binário da serra, foi possível eliminar o ajuste do limitador de avanço, determinando o fim da sequência de corte através da rápida diminuição do binário da serra. A eliminação do ajuste do limitador de avanço permitiu diminuir o tempo de preparação da máquina, aumentando assim a sua produtividade. Nas máquinas tradicionais, o operador teria que efectuar o ajuste do limitador do avanço tendo em consideração o diâmetro do perfil a cortar.

A programação do autómato foi elaborada em diagramas de escada. Esta foi dividida em módulos, facilitando a manutenção e permitindo também a sua implementação por uma equipa de programadores. Da programação efectuada destacam-se: a implementação do controlador proporcional do corte inteligente e a implementação do algoritmo de detecção do fim da sequência de corte através do binário da serra.

Os modelos usados na simulação mostraram que a aproximação efectuada foi suficiente para permitir analisar o comportamento de vários controladores. As aproximações efectuadas foram possíveis graças às malhas de controlo de velocidade da serra e da velocidade de avanço, executadas pelos variadores de velocidade dos actuadores.

Constatou-se que, usando um autómato industrial de baixo custo, foi possível implementar-se um controlo em tempo real dos parâmetros do processo de corte.

Um sistema de monitorização efectuado *LabView*, usando OPC, permitiu a aquisição das variáveis de entrada e de saída do controlador e, assim, facilitando a parametrização do mesmo. Os resultados obtidos usando este sistema de monitorização foram os esperados, verificando-se que, apesar do seguimento da referência de binário da serra não ser muito estreito, já se consegue observar melhorias consideráveis no processo de corte.

O protótipo do sistema aplicado a uma máquina industrial foi apresentado na feira EMAF'02, a qual decorreu na *Exponor*. A máquina foi vendida no decorrer da feira, sendo efectuados testes de optimização e de validação do sistema, já em ambiente industrial.

O sistema inteligente para auto-parametrização em tempo real de serra circular para corte de tubos metálicos é, agora, mais uma importante opção disponível no serrote automático de corte da empresa MAQUISIS S.A..

5.2 Trabalho Futuro

A concorrência nas máquinas automáticas de corte é bastante forte, sendo necessário manter um nível tecnológico elevado a um baixo custo. Considerando a diminuição do custo da máquina, seria interessante usar-se um motor de indução para o avanço, em detrimento do motor *servo*. Os variadores a usar poderiam ser mais simples, disponibilizando apenas a informação da corrente do motor da serra.

De forma a permitir um controlo mais sofisticado (ex: Fuzzy), cujo método possibilita um seguimento mais apertado da referência, seria importante usar um autómato mais potente. A alteração para um autómato mais recente e potente pouco afectará o preço global da máquina.

Seria também importante incluir mais funções de visualização da sequência e da produção da máquina no sistema de monitorização.

O estudo efectuado nesta dissertação aponta para formas de detectar a necessidade da troca da serra. A implementação de algoritmo que informe o operário da necessidade da troca de serra seria também útil.

Uma forma de melhorar o controlo do processo de corte por arranque de apara pode ser conseguida através da inclusão de mais parâmetros. A temperatura que a serra apresenta durante o processo de corte pode ser usada para ajustar a referência do controlador. Assim, quando a temperatura da serra aumentar, a referência do controlador deverá diminuir, para que o esforço da serra seja menor. A temperatura da serra será usada então para a proteger, tornando também, o processo de corte ainda mais independente da intervenção do operador.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] W. Velthuis, N. Brouwers, Mechatronics in Assembly Machines, Proc. Of Mechatronics 24-26 June 2002, University of Twente, 2002.
- [2] K. Astrom, B. Wittenmark, Computer Controlled Systems-Theory and Design, Prentice-Hall, ISBN 0-13-172784-2, 1990.
- [3] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun E. Mizutani. Neuro-Fuzzy And Soft Computing – A computational approach to learning and machine intelligence. Prentice-Hall Inc, ISBN 0-13-261066-3, 1997
- [4] G. Franklin, J. Powell, M. Workman, Digital Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, ISBN 0-201-33153-5, 1997.
- [5] A. Cavallo, R. Setola, F. Vasca, Using Matlab, Simulink and controlsystem toolbox: A practical approach, Prentice Hall, Europe, UK, 1996.
- [6] MATLAB: High-performance Numeric Computation and Visualization Software-Reference Guide, The Math Works Inc., April 1993.
- [7] SIMULINK: The dynamic system simulation software-user's guide, MathWorks Inc., April 1993.
- [8] A.F. Potvin, Nonlinear control design toolbox. The Math Works Inc., 1993.
- [9] Milton C. Shaw, Metal Cutting Principles, Oxford University Press, ISBN 0-19-859002-4, 1984.

ANEXOS

ANEXO 1: Artigo apresentado na conferência ISIE2003

Intelligent Cutting-off of Pipes and Bars

Carlos MACHADO¹, José MENDES², and Jaime FONSECA³

^{1,2,3} Dept. of Industrial Electronics, University of Minho, Portugal,
Phone: +351253510190, Fax: +351253510189

e-mail: {carlos.machado | jose.mendes | jaime.fonseca }@dei.uminho.pt

² Addressee for correspondence

Abstract— Traditionally, automatic cutting-off machines, of metallic pipes or bars, use a constant cutting velocity mode. This mode of operation, constant cutting velocity combined with different profiles of materials to be cut, exposes the cutting saw to variable cutting forces. Therefore, the cutting off machine is usually set for the worst expected conditions, otherwise excessive wear of the saw and machine will occur. Further, traditional cutting-off machines require the adjustment of the position of a limit switch in order to automatically detect when the cut of a piece has been completed. The aim of this paper is to study the application of control algorithms to the process of cutting-off metallic pipes or bars, with variable profiles, implemented in an industrial cutting-off machine, commercially available. The presented algorithms concern real-time cutting control and automatic detection of the cutting end. The algorithms are implemented in a low cost Programmable Logic Controller (PLC), allowing its use in industrial applications without significant increase on machine cost. All algorithms were developed having in mind safety issues relative to the operation of the cutting machine in order to prevent catastrophic failure. Also, all process related relevant parameters are monitored on a Personal Computer using OPC (Object Linking and Embedding – for Process Control).

Index Terms— Intelligent Cutting-off pipes.

I. INTRODUCTION

Traditionally, automatic cutting-off machines, of metallic pipes or bars, use a constant cutting velocity mode. This mode of operation, constant cutting velocity combined with different profiles of materials to be cut, exposes the cutting saw to variable cutting forces. Therefore, the cutting off machine is usually set for the worst expected conditions, otherwise excessive wear of the saw and machine will occur. On one hand, if the cutting velocity is too high the worn of the saw as well as the components of the machine are too high. On the other hand, if the cutting velocity is too slow the cutting time significantly increases, reducing productivity of the automatic cutting machine.

Further, traditional cutting-off machines require the adjustment of the position of a limit switch in order to automatically detect when the cut of a piece has been completed.

In this work, new control algorithms were developed and applied in order to optimize the cutting process by diminishing cutting times and maximizing duration of the saw and components of the machine. Also, a new method for automatic detection of the completion of the cutting of a piece was developed, therefore neither the limit switch nor its adjustment are any longer necessary [1].

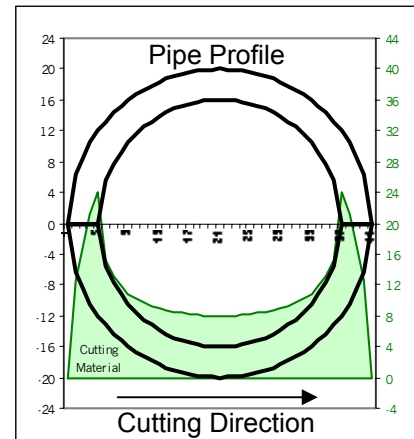


Fig1- Pipe Cutting

II. DESCRIPTION

In Figure 1 and Figure 2, respectively, the profile of a tube and a rod are shown. If materials with such profiles were to be cut, the exact amount of material that had to be removed at a specific point is also shown, assuming that cutting is performed by a linear saw.

The amount of material to be removed is closely linked to the required torque to be applied on the saw. The cutting torque requirements depend on the profile of the pipe, rod or bar, as shown in Figures 1 and 2.

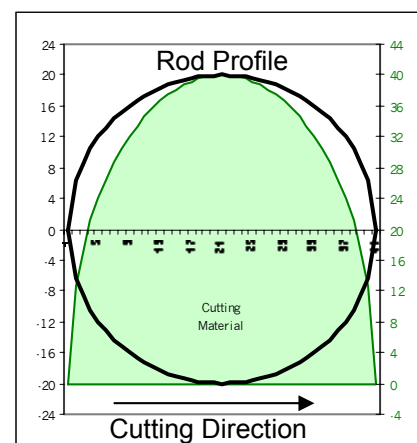


Fig2 - Rod Cutting

In Figure 1, the required cutting torque is higher at the beginning and at the end of the profile rather than in the middle of the pipe. In the middle region of the pipe, the required torque has its lowest value, because in this region

the amount of material to be removed is minimum. On the opposite, when a rod is cut, the required cutting torque in its middle region is maximum, because more material has

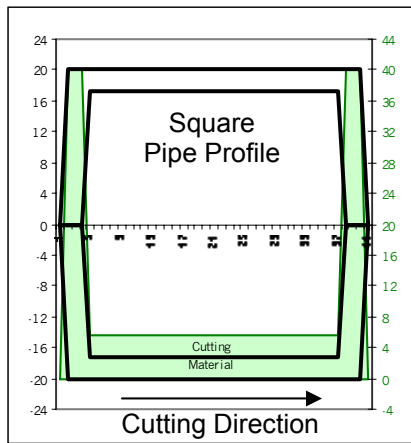


Fig 3 - Square pipe Cutting

to be removed.

The cutting of rectangular or square profiles, either hollow or not, present considerably different cutting torque requirements.

In Figure 3 and Figure 4, the same square profile is shown in two different cutting positions. The cutting torque requirements for each position are also presented. In Figure 3, the required cutting torque has two peaks, one at the beginning and another one at the end of the cut, with a middle region characterised by low torque requirements. In Figure 4, the required torque for cutting is constant. Therefore, the position of cutting of a profile is not indifferent. Actually, the position shown in Figure 4 is the most appropriate for constant velocity cutting-off. However, it is not always possible to get the optimal cutting position due to mechanical limitations of the cutting-off machine.

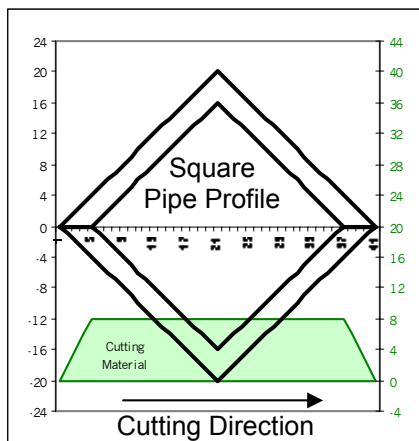


Fig 4 -Square pipe cutting at 45°

A. Cutting-off using a circular saw

The cutting-off process, using a circular saw (show in Figure 5), depends on two factors, namely, the angular saw disc velocity (tangential velocity) and forward saw disc velocity (perpendicular velocity). These two parameters are

closely related and need to be properly set-up in order to assure a good quality cutting-off. If the forward velocity is too fast relatively to the angular velocity, it will cause a too high pull-off of material by each saw tooth, which in turn causes damage to the teeth and a low quality cutting-off. On the opposite, if the forward velocity is too slow, a polishing effect is obtained. Consequently, greater heating of the pipe and saw occur, originating changes on the characteristics of the material to be cut as well as the characteristics of the circular saw.

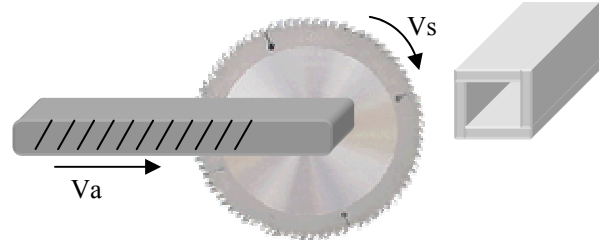


Fig 6 -Intelligent Cutting-off Controller

The set-up of these velocities depends on several factors, namely, the type of material to be cut, diameter of the circular saw, number of teeth of the circular saw and shape of the teeth of the circular saw. Saw manufacturers provide the adequate range of velocity for the saw as well as the forward velocity according to the material to be cut.

Saw Disc – STARK		
Material to cut	Saw cut velocities (V) [m/min]	Forward / Teeth (Az) [mm]
Steel, 500 N/mm ²	[30 .. 50]	[0,03 .. 0,06]
Steel, 800 N/mm ²	[20 .. 40]	[0,03 .. 0,04]
Steel, 1200 N/mm ²	[15 .. 25]	[0,02 .. 0,03]
Inox Steel	[10 .. 50]	[0,01 .. 0,03]

Table 1- Stark Saw Disc range of cutting velocities

The circular saw angular velocity (V_s) is determined from the linear cutting velocity (V) and the saw diameter (D)

$$V_s = \frac{V \times 1000}{D \times \pi} \text{ (rpm)} \quad (1)$$

The forward velocity (V_a) is the product of the saw angular velocity (V_s), the number of saw teeth (Z) and the forward displacement per teeth (A_z).

$$V_a = V_s \times Z \times A_z \quad (2)$$

The parameterization of the cutting process on the cutting-off machine demands from the user the knowledge of the saw disc trademark, diameter of the saw, number of teeth of the saw as well as the material type. The allowed velocity ranges are previously stored in a table organized by trademark and cutting material. From the combination of trademark of saw disc and material to be cut, ranges for the saw angular velocity and forward velocity are established,

thus assuring that cutting-off process runs in optimal conditions.

B. Cutting-off Automation

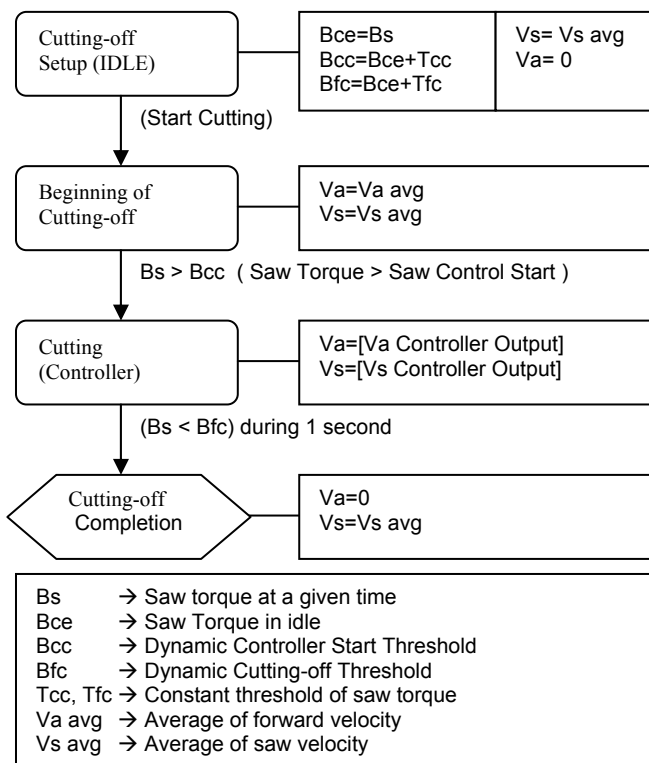


Fig 7 – Cutting-off automation flowchart

The automation cutting-off process can be divided in four main stages: 1) cutting-off set-up, 2) beginning of cutting-off, 3) cutting-off and 4) cutting-off completion. In the first stage (cutting-off set-up), the cutting-off torque of the motor that drives the saw disc (B_{ce}) is read in idle. This value is used in dynamic threshold calculations necessary for subsequent stages. This stage is very important as cutting conditions, like temperature of machine, vary throughout the day. The second stage (beginning of cutting-off) objective is a smooth beginning of the cutting-off process, i.e., the

the initial contact between saw and material velocity needs to be performed at low speed. The third stage comprises the intelligent cutting of the material according to the implemented controller (see Figure 7), which is responsible for the continuous adjustment of angular and forward velocities of the saw. Finally, the cutting-off completion stage objective is the automatic detection of when the material has been completely cut, independently of its profile.

Stage switching is achieved using two dynamic thresholds calculated from the applied torque by the motor which drives the saw disc: - Cutting-off Control Threshold (B_{cc}) and Cutting-off Completion Threshold (B_{fc}).

The torque applied by the saw disc (B_s) is filtered using a low pass filter, thus eliminating the over imposed noise generated by the contact between the saw disc teeth and the material to be cut.

Switching from the second stage to the cutting-off stage occurs as soon as the saw disc filtered torque is greater than the Cutting Control Threshold (B_{cc}). Switching from the cutting-off stage to the last stage happens when the saw disc filtered torque is lower than the Cutting-off Completion Threshold (B_{fc}) for a period of at least one second.

On the second stage, beginning of cutting-off, the initial angular velocity of the saw disc and initial forward velocity are set as the average value of the range of allowed values supplied by the saw disc manufacturer according to the type of material being cut.

C. Cutting-off Controller

In Figure 8, a template of the controller implemented in this project is shown where the “Control Method” box can include a control method like PID, fuzzy controller, or other control strategies [2, 3]. This control strategy uses a single reference, accordingly a single output is generated which in turn is used for calculation of angular and forward velocity of the saw. Also, the controller must guaranty at all times that the output values are always within the recommended range of values.

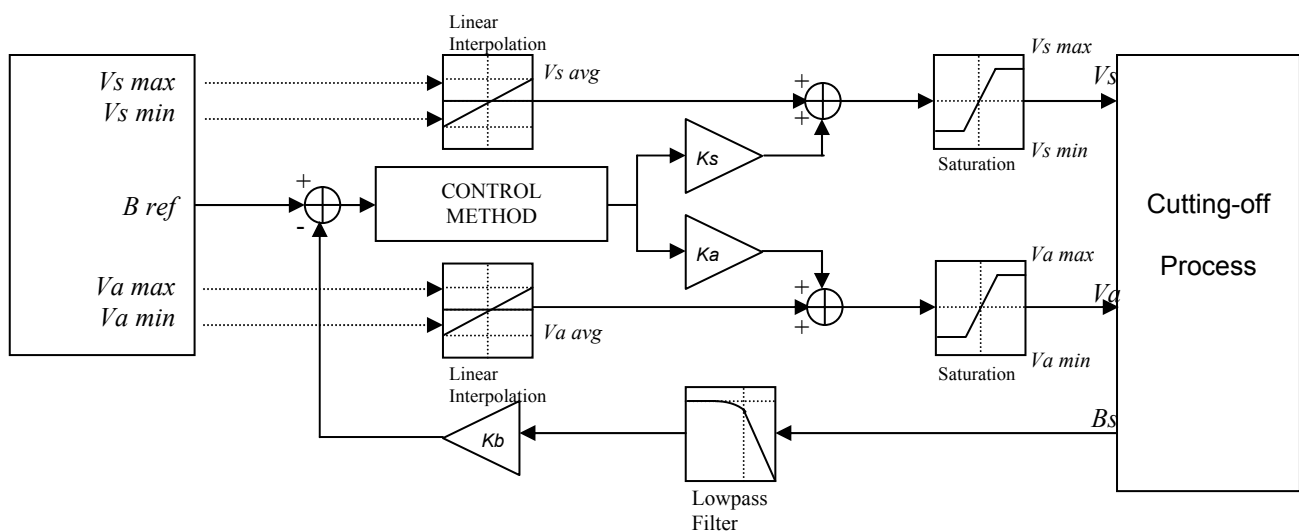


Figure 8-Intelligent Cutting-off Controller

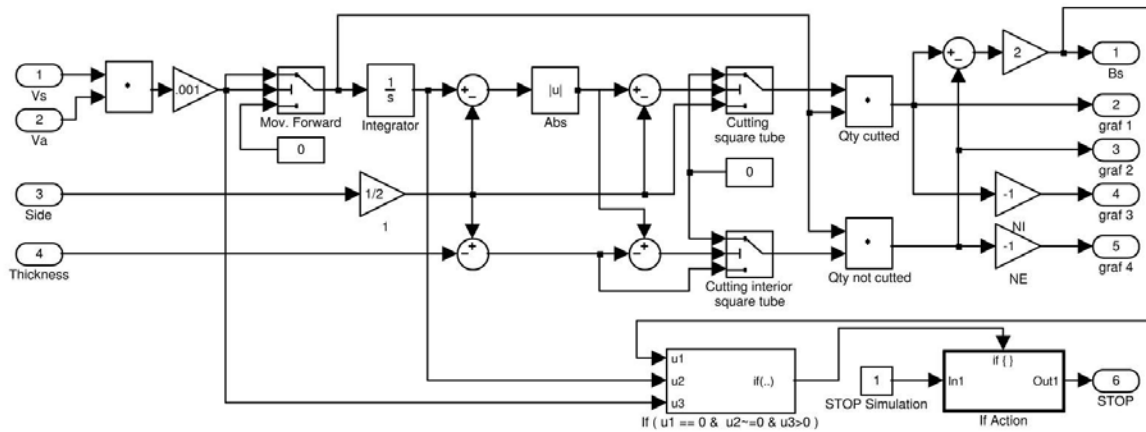


Fig 9 – Matlab/Simulink, Tube cutting-off process

The reference torque (B_{ref}) allows the adjustment of the type of cutting to be performed, i.e., a low reference torque defines a soft/slow cut, whereas a high reference torque defines a hard/fast cutting.

The average angular velocity (V_s avg) and the average forward velocity (V_a avg) are calculated using a linear interpolation. These average velocities are used as initial output values [4].

The controller input is the error between reference torque and saw disc filtered torque, and the output is generated according to the control method used.

III. CUTTING-OFF MODELS

Using Matlab / Simulink, models for the cutting process of a round tube and for the cutting controller were developed. These models were used to validate the control methods and to gain more knowledge of the cutting-off process.

In Figure 9, a Simulink model of the cutting-off of a pipe is presented.

The model has saw velocity (V_s) and forward (V_a) velocity as inputs, and it outputs the instantaneous cutting saw torque (B_s). The model also needs to know the pipe radius and thickness. If the thickness is equal to the radius we can simulate a rod cutting-off. The model also provides an output that can be used to terminate the simulation (“STOP” output).

The saw velocity must always be positive in order to get correct output values. The forward velocity input can either

be positive or negative values. In case of negative values the saw torque output is zero.

Figure 10 represents the Simulink block diagram used to simulate the cutting-off controller. In this diagram, the algorithms to detect the start and the end of cutting are not implemented. The controller to be tested must be inserted in the block “control method”.

The saturation values and the average velocities were previously calculated.

A. Simulation

Using the above presented models, several simulations were carried out using always the same simulation parameters. A simulation of a cutting-off operation of a pipe with 110mm of radius and 10mm wall was performed and its results are presented in this paper. The main objective of these simulations is the analysis of the cutting time and applied saw torque. The maximum value of the saw torque is very important because it allows the identification of the best controller. The simulation was intended for a machine with an ideal cutting saw torque of $120 \text{ Nm} \pm 20 \%$.

B. Cutting using constant velocity

Conventional cutting-off control is performed in open loop mode. These cuts are made at predefined constant velocities. Therefore, the applied saw torque variations depend on the shape, position and material to be removed [9].

In this simulation, saw torque maximum values are

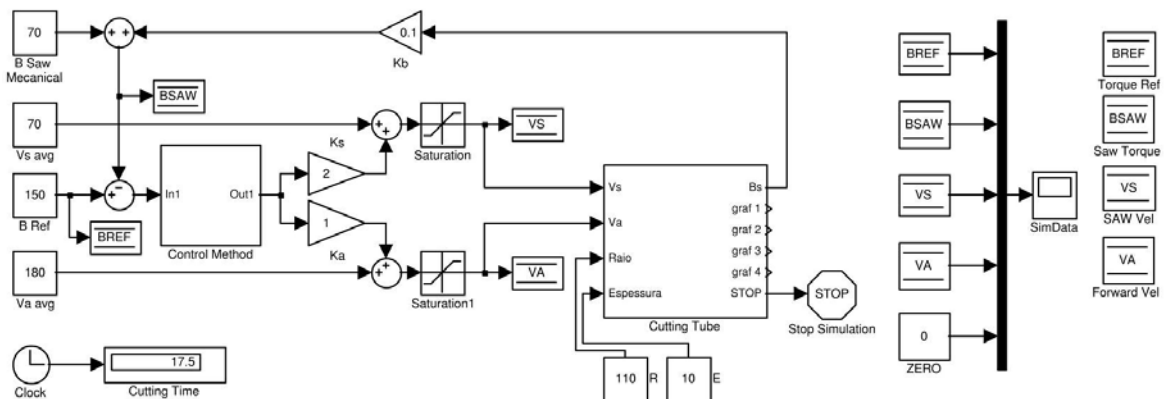


Fig 10: MatLab / Simulink model of the cutting-off controller

above 185.2 Nm, however most of the time saw torque values are quite low, around 100 Nm. The cutting time is approximately 17.5 seconds.

C. Proportional controller cutting-off

Using a Proportional controller (see Figure 12), the variations of the saw and forward velocities can be seen. With a reference torque of 120 Nm, a maximum saw torque of 140 Nm is recorded, where the saw velocity is saturated. In this case, the cutting time was of approximately of 14.2 seconds. Thus, a faster cut with a smaller maximum saw torque is obtained.

C. PI controller cutting-off

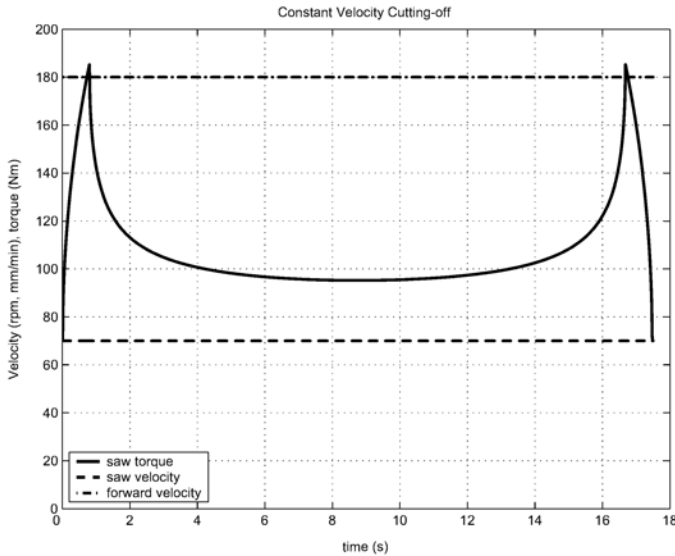


Fig 11 – Constant velocity cutting-off (circular profile tube)

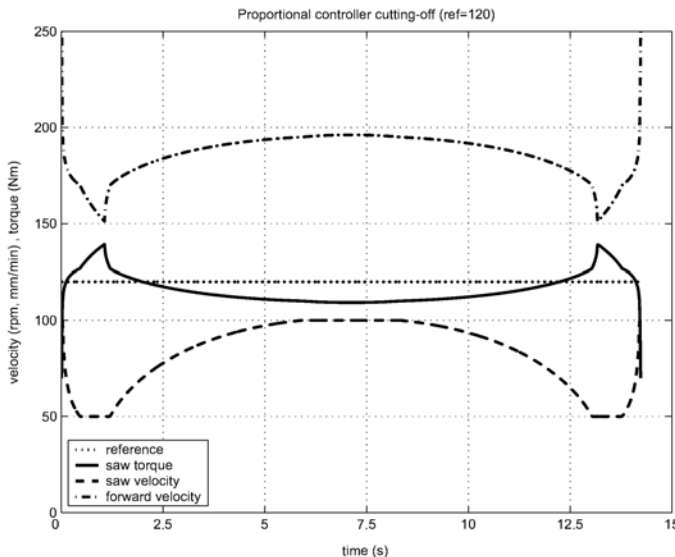


Fig 12: Proportional controller cutting-off (ref=120N.m)

In the Figure 13, the results of a PI controller with a torque reference of 120 Nm are shown. The cutting time is about 13.3" seconds. The controller can follow the reference even when the saw velocity saturates by increasing the forward velocity even more. This adjustment is the result of the PI integral part of the controller.

D. Fuzzy controller cutting-off

With a fuzzy controller an implementation of a soft-start is needed. The results are very good because cutting time is reduced to 13.2 seconds.

E. Simulation results

In Table 2 the most relevant results of different simulations are shown. Depending on the type of controller, one always get better results in close loop rather than in open loop. Actually, a reduction of about 30% cutting time can be achieved. It is also possible to control the hardness and softness of the cutting mode.

On one hand, the higher the reference torque the smaller

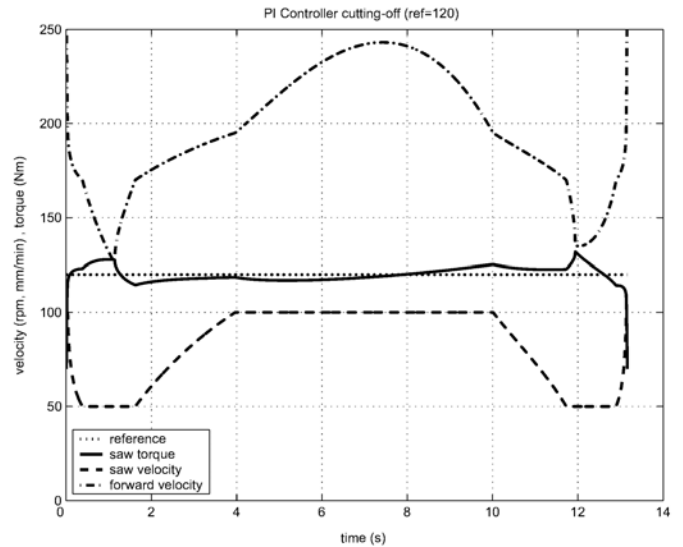


Fig 13: PI controller cutting-off (ref=120N.m)

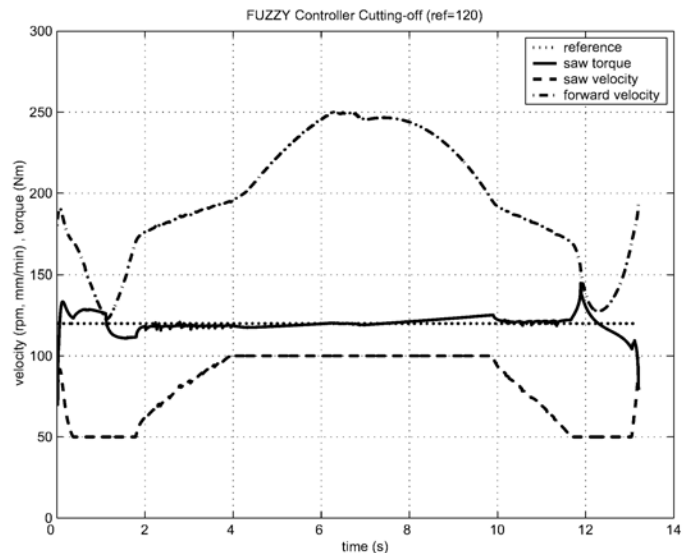


Fig 14: Fuzzy controller Cutting-off (ref=120 N.m)

the cutting time will be. On other hand, the machine and the saw get higher wear.

The accumulated error can determinate the best controller to be used. However, limitations on the actuators can limit the controller performance. Therefore, a control method must always be chosen based on the maximum

value of the saw torque.

Controller	Max Saw Torque (N.m)	Cutting Time (s)
Constant Velocity (Without controller)	185	17.5"
Proporcional Controller	139	14.2"
PI Controller	132	13.3"
Fuzzy Controller	145	13.2"

Table 2- Controller results

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

Experimental results were acquired with the machine working in automatic cutting cycle in a industrial environment.

Process monitoring is carried out using an OPC Server that permits the connection from a PLC to a personal computer PC.

The parameters downloaded were: the saw velocity, the forward velocity and the saw torque.

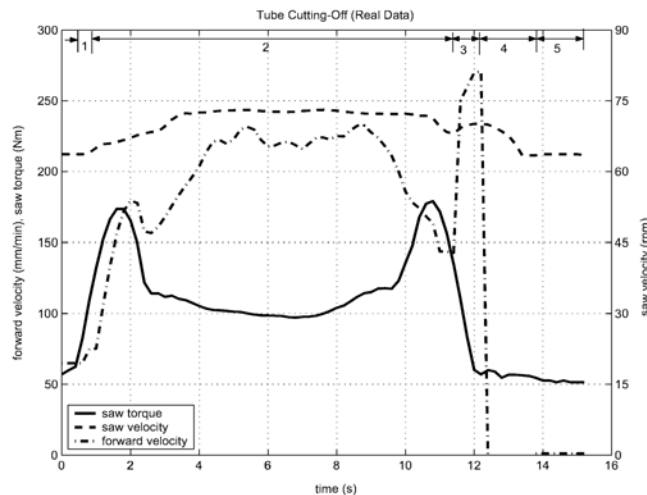


Fig 15: Cutting-off of circular profile tube (real cutting-off data)

In the downloaded data it is possible to identify all the automation process stages above described.

In figure 15, the real monitored data can be seen. It represents tube with round profile cutting-off using a circular saw, using a proportional controller. The three curves shown in the figure represent the saw disc torque, saw rotation velocity and forward velocity. It can be divided in four regions: Cutting-Start, Cutting, Cutting End, Moving backwards the Saw. In the first region the cutting start is detected when the saw torque is higher than the threshold. In the second, the cutting process occurs using a Proportional controller. In the third interval, it can be seen the detection of the completion of the cutting. The forward and saw velocities increase because there is no relevant saw torque for more than 1 second. Afterwards, the saw starts moving backward.

Tube Cutting-off	Cutting time (s)	Saw cuts per disc
circular profile (R=100mm E=10mm) [standard cutting-off]	25	800
circular profile (R=100mm E=10mm) [intelligent cutting-off] (nominal saw torque reference)	14 .. 18	1000
circular profile (R=100mm E=10mm) [intelligent cutting-off] (low saw torque reference)	24 .. 26	1500
square profile (L=60mm E=20mm) [standard cutting-off]	40	300
square profile (L=60mm E=20mm) [intelligent cutting-off] (nominal saw torque reference)	40 .. 45	900
square profile (L=60mm E=20mm) [intelligent cutting-off] (low saw torque reference)	46 .. 52	1450

Table 3- Saw cuts per saw disc

V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

This control system was implemented in a commercially available industrial cutting-off machine. The controller runs on a PLC, because cost, reliability and safety are a major issue.

With a simple Proportional-Integral (PI) controller, much better cutting quality is achieved, with lower cycle time, lower wear of the saw disc and machine. As an example, a typical cut of a hollow metal tube using a traditional cutting-off machine takes about thirty seconds. With a simple PI controller cycle times are reduced to twenty seconds, with less wear of saw disc and machine.

Further, less disc changes are required as they last longer. Also, cutting-off machine set-up time (parameters configuration) is minimized due to, among other factors, the automatic detection of when the material has been completely cut.

Process monitoring is carried out using an OPC Server.

Currently, other alternatives to the PI controller are being implemented and tested in order to compare results.

VI. REFERENCES

- [1] W. Velthuis, N. Brouwers, Mechatronics in Assembly Machines, Proc. Of Mechatronics 24-26 June 2002, University of Twente, 2002.
- [2] K. Astrom, B. Wittenmark, Computer Controlled Systems-Theory and Design, Prentice-Hall, ISBN 0-13-172784-2, 1990.
- [3] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun E. Mizutani. Neuro-Fuzzy And Soft Computing - A computational approach to learning and machine intelligence. Prentice-Hall Inc, ISBN 0-13-261066-3, 1997
- [4] G. Franklin, J. Powell, M. Workman, Digital Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, ISBN 0-201-33153-5, 1997.
- [5] A. Cavallo, R. Setola, F. Vasca, Using Matlab, Simulink and control-system toolbox: A practical approach, Prentice Hall, Europe, UK, 1996
- [6] MATLAB: High-performance Numeric Computation and Visualization Software-Reference Guide, The Math Works Inc., April 1993.
- [7] SIMULINK: The dynamic system simulation software-user's guide, MathWorks Inc., April 1993
- [8] A.F. Potvin, Nonlinear control design toolbox. The Math Works Inc., 1993
- [9] Milton C. Shaw, Metal Cutting Principles, Oxford University Press, ISBN 0-19-859002-4, 1984,

***ANEXO 2: Manual de utilizador do serrote automático
Maquisis com corte angular***

1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Características técnicas	
Comprimento máximo dos tubos	6500 mm
Comprimento máximo das peças cortadas	4000 mm
Velocidade de alimentação do tubo	400 mm.s ⁻¹
Diâmetro máximo dos tubos	10-100 mm
Ângulo de corte	-55 a +55°
Precisão das peças cortadas	+/- 0.15 mm
Diâmetro máximo da serra	400 mm
Diâmetro mínimo da serra	250 mm
Potência do motor da serra	4.5 KW
Capacidade do depósito de fluído de corte	150 litros
Pressão pneumática de funcionamento	6 bar
Peso aproximado	aprox. 3500 kg
Dimensões	1977x2005x10516 mm
Cores da máquina	Cinza escuro (RAL 5008) Cinza claro (RAL 7038) Azul (RAL xxxx) Amarelo (RAL 1021)
Tensão de alimentação	400V, trifásico com terra e neutro
Potência total	6.5 kW
Corrente máxima	16A

2. DESCRIÇÃO DA MÁQUINA

O serrote automático Maquisis foi concebido para efectuar cortes com possibilidade de corte inteligente em dois ângulos. O corte inteligente consiste no doseamento da velocidade de corte em função do binário da serra. Por conseguinte, quando o binário da serra for maior, as velocidades do avanço e da serra diminuirão. Caso contrário, se o binário da serra for menor, serão aumentadas as velocidades de avanço e da serra. Com o corte inteligente, é poupado o disco da serra, bem como se diminui o tempo de ciclo.

O armazém permite que seja carregado um atado de tubo, ficando a partir daí preparado para funcionar em modo automático, sem necessidade de intervenção directa do operador. Após ter sido definido o comprimento de corte pretendido, o serrote executa automaticamente o ciclo de corte, com rejeição das pontas iniciais e finais do tubo. Para esse efeito, dispõe de um sistema separador, que faz cair as peças boas para um dos lados da máquina (lado do operador) e as pontas de tubo para o outro lado (lado de trás da máquina).

A afinação do comprimento de corte pretendido é bastante simples de se efectuar, podendo em caso de necessidade, fazer-se um ajuste fino.

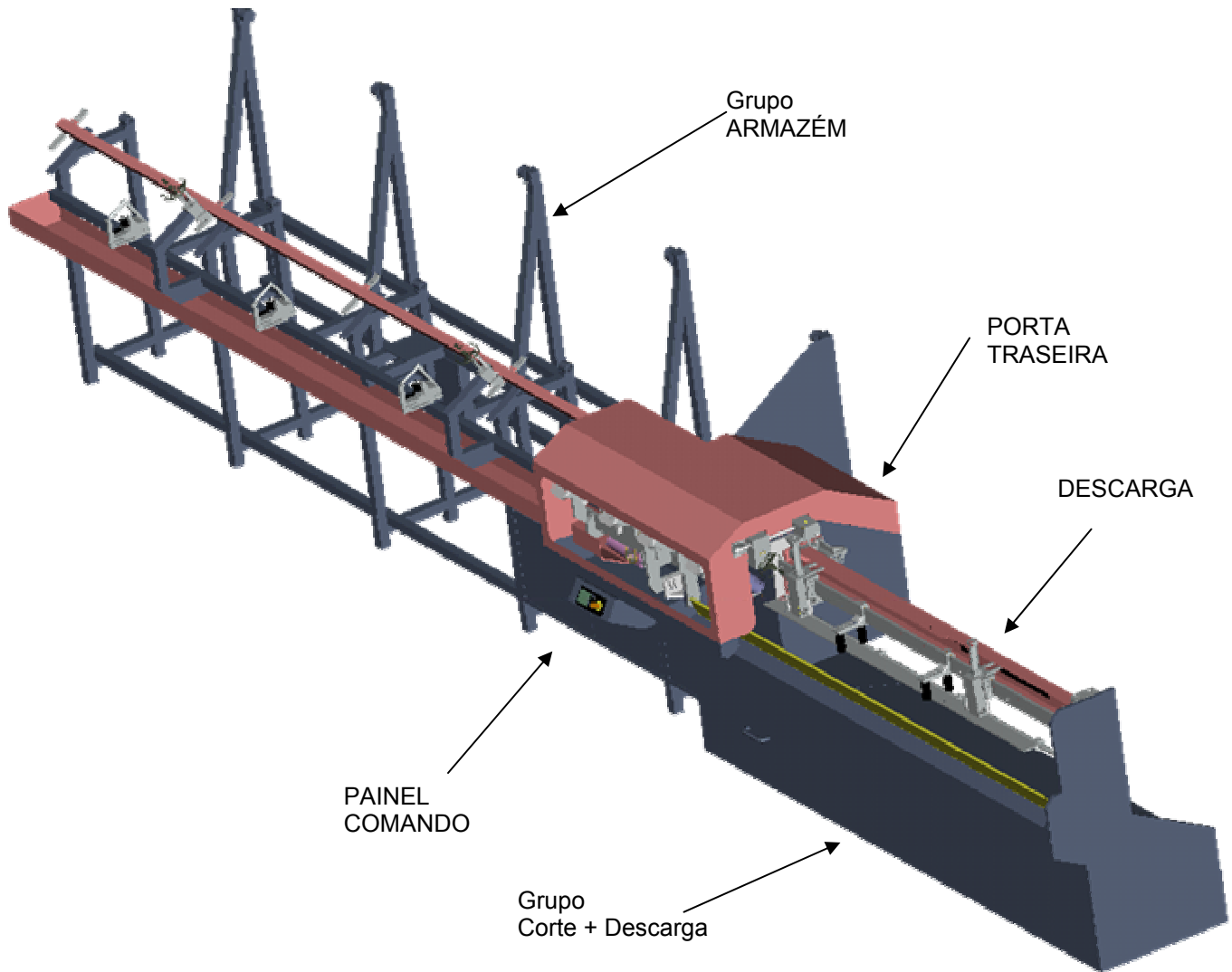
O disco de serra é refrigerado e lubrificado através de um sistema de encaminhamento directo à lâmina. As limalhas resultantes do corte, bem como o fluído de corte, são encaminhados através de um esgoto, directamente para o depósito da limalha. Neste depósito, a limalha é decantada e o fluído de corte passa para o depósito principal.

O serrote possui um painel de comando que lhe permite controlar todas as operações de funcionamento, quer seja em modo manual, quer automático.

A programação dos cortes é efectuada através da consola integrada no painel de comando. Pode-se definir o número de cortes pretendidos, bem como o número de peças que se vão aproveitar em cada tubo.

Pode-se definir ainda o comprimento da ponta inicial que vai ser rejeitada, cota essa que é um valor de aproximação. Se o valor for zero, não se efectua o corte da ponta inicial. Para cortar correctamente a ponta inicial, há que introduzir-se um valor, em que o tubo passe para além do disco. Se o valor for baixo, a ponta pode não chegar ao disco.

3. LAYOUT DA MÁQUINA



4. CUIDADOS GERAIS

- Leia atentamente este manual antes de pôr a máquina a funcionar;
- Saiba como desligar a máquina antes de a ligar;
- Não introduza as mãos ou objectos estranhos na zona de trabalho do serrote;
- Verifique que todas as blindagens de protecção se encontram correctamente fixas;
- Antes de iniciar o corte de peças, verifique a correcta parametrização do tipo de material, o tamanho da serra e o número de dentes da serra que definem a velocidade de corte e de avanço;
- Não carregue o armazém com tubos empenados, amolgados, ou com rebarbas nos topos. O sistema de tracção e o sistema de fixação para o corte poderão não funcionar nestas condições;
- Mantenha a zona circundante do serrote limpa e desimpedida. Um significativo número de acidentes é devido à manipulação de peças perto das máquinas;
- Logo que se detecte qualquer fuga de óleo, de ar ou de fluído refrigerante, aja rapidamente.
- Mantenha o disco da serra em bom estado e bem fixo, caso contrário, irá contribuir para uma mais rápida deterioração do equipamento;
- Evite choques bruscos nas caixas de controlo, bem como no resto da máquina;
- Verifique se a pressão de alimentação do ar comprimido se mantém a 6 bar.

5. SEGURANÇA

A máquina possui vários pontos que apresentam perigo para o operador, caso seja operada incorrectamente. Por isso, deve haver todo o cuidado para que não se introduza qualquer parte do corpo ou objectos estranhos ao funcionamento da máquina nas zonas móveis desta.

Assim, os pontos que apresentam maior perigo para o operador são os seguintes:

- Zona de descarga;
- Sistema de accionamento do armazém;
- Sistema de pré-alimentação do tubo (elevação do tubo);
- Sistema de aperto do tubo no arraste;
- Zona do esbarro (deslocamento do tubo na zona de descarga);
- Sistema de corte;
- Mordentes de fixação do tubo durante o corte;
- Sistema de arraste do tubo.

5.1 Protecção Contra Falhas de Tensão

Para evitar arranques intempestivos da máquina na eventualidade de uma falha ou quebra de tensão da rede, colocou-se um dispositivo que inibe o seu arranque sem a intervenção do operador. O dispositivo dispara o disjuntor de entrada, disponível no quadro eléctrico, caso exista uma falha de tensão a montante do seccionador.

Para rearmar a máquina será necessário activar o referido disjuntor.

5.2 Emergência

A máquina possui uma botoneira de emergência com encravamento, no painel geral de comando. Quando pressionada, fica encravada, devendo rodar-se para desencravar.

Na parte traseira do armazém, está localizada uma botoneira de cogumelo, destinada à paragem de emergência.

A máquina possui ainda uma emergência por cabo. Quando se puxa o cabo, a botoneira encrava e pára a máquina. Para desencravar, puxe o botão no corpo do dispositivo de disparo, colocado no extremo do cabo.

6. INSTALAÇÃO

6.1 ELEVACÃO E TRANSPORTE

Na necessidade de transportar a máquina para outro local, esta deve ser desmontada (dividir o Grupo de Corte do Grupo Armazém de Carga).

Para elevar a máquina, deve-se utilizar um empilhador que suporte cada um dos Grupos pela base. Deve-se evitar choques bruscos que provoquem o desafinamento e empeno da mesma e/ou danificação dos sistemas eléctricos / electrónicos.

6.2 LIMPEZA

A limpeza das superfícies não pintadas pode ser efectuada com um tecido embebido em petróleo (Não usar acetona, gasolina ou outro produto semelhante);
Em seguida, proteger as superfícies com um lubrificante.

6.3 LIGAÇÃO ELÉCTRICA

A máquina deve ser ligada a uma instalação de corrente alterna trifásica de 400 Volts, com fio de terra e neutro, com capacidade para 16A. A secção do fio deverá ser de 6mm.

Deve disponibilizar-se uma protecção diferencial ajusante, individual para esta máquina.

A ligação da máquina dá-se pela ligação do disjuntor de entrada e pela comutação do seccionador (lado esquerdo do painel de comando).

6.4 LIGAÇÃO DO SISTEMA PNEUMÁTICO

A ligação pneumática é efectuada através da unidade de manutenção do ar comprimido. A fonte de ar comprimido deve possuir as seguintes características:

Pressão **6 Bar**

Caudal aprox. **100 Litros/Minuto**

7. INSTRUÇÕES DE FUNCIONAMENTO

7.1 PAINEL DE COMANDO

O painel de comando é a interface de comunicação com a máquina. Localiza-se na parte frontal da máquina e encontra-se fixo através de um braço à estrutura da máquina.



Nº	Grupo	Utilização / Função.
L1 Sob Tensão	Sinalizador	Acesa: Máquina sob tensão. Apagada: Máquina desligada.
L2 Falhas	Sinalizador	Acesa: Botoneira de emergência encravada A piscar: Existem falhas.
B1 Activar máquina	Botoneira luminosa	Acesa: Máquina desactivada; Apagada: Máquina activada.
B2 Emergência	Botoneira	Quando pressionada, provoca a paragem imediata da máquina. Para desencravar, rodar para a esquerda.
F1	Botão de Função	Selecciona modo Automático/Manual
F2	Botão de Função	<u>Em Automático</u> dá Início / Fim de Ciclo
F3	Botão de Função	<u>Em Automático</u> faz Subir/Descer as cintas do armazém
F4	Botão de Função	Menu anterior (quando indicado)

7.1.1 CONSOLA NT11S

A consola disponível no painel da máquina permite executar as seguintes operações:

1. Execução de todos os comandos manuais;
2. Parametrização do ciclo automático;
3. Sinalização de falhas;
4. Contagem de peças cortadas / por cortar.

Para navegar nos menus, basta seguir as indicações que aparecem no écran, usando as teclas numéricas correspondentes (1, 2, 3 e 4).

Nos menus de introdução de valores:

- seleccione com as **teclas verdes** o campo que deseja (caso exista mais que um campo)
- introduza o valor no teclado numérico
- pressione a tecla **enter** para validar o valor
- para sair do menu pressione **F4**

7.1.2 BARREIRA SINALIZADORA



Vermelho Contínuo - Emergência encravada.

Vermelho Intermitente - Existem falhas.

Laranja Contínuo - Falta de perfis no armazém do atado

Laranja Intermitente- A quantidade de peças a cortar foi atingida.

Verde Contínuo - Bom funcionamento em modo automático.

Verde Intermitente - Significa que se está em modo automático, mas sem ter dado início ao ciclo, ou em ciclo interrompido.

7.2 Modo Manual

No menu principal pode ser seleccionada a operação automática ou manual.

Em Modo Manual, são disponíveis as seguintes operações:

- Funções Manuais
- Produção
- Configuração

Para navegar nos menus, use as teclas numéricas de 1 a 4.

7.2.1 FUNÇÕES MANUAIS

As funções manuais estão divididas em três categorias:

- Corte
- Alimentação
- Armazém

As teclas 1 e 3 seleccionam e a tecla 2 entra no sub-menu.

A tecla 4 volta para o menu anterior.

7.2.1.1 FUNÇÕES MANUAIS – CORTE

As funções manuais do corte incluem:

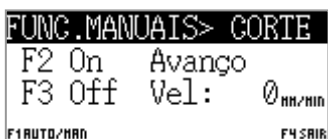
- Disco da serra
- Avanço da serra
- Refrigeração
- Rotação angular da serra



F2- Activa o motor da serra

F3- Desactiva o motor da serra

Vel: Velocidade da serra em rpm



F2-Activa o motor de avanço

F3-Desactiva o motor de avanço

Vel: Velocidade de avanço em mm/min

(valores negativos fazem recuar o avanço)

O movimento pára quando um dos fins de curso é atingido



```
FUNC.MANUAIS>CORTE
F2 Esq. Rot Angular
F3 Direita
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
```

F2-Movimenta para a esquerda (CCW)

F3-Movimenta para a direita (CW)

(Caso a serra não esteja completamente recuada, o movimento de rotação não se efectuará)

O movimento pára quando um dos fins de curso é atingido.

```
FUNC.MANUAIS>CORTE
F2 Act.Refrigeracao
F3 Desactiva
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
```

F2- Liga o motor de refrigeração

F3- Desliga o motor de refrigeração

7.2.1.2 FUNÇÕES MANUAIS - ALIMENTAÇÃO

O bloco de alimentação de tubo inclui:

- Motor de Arraste
- Mordentes de Tracção
- Alavanca de Alimentação
- Aparadeira da Rebarba
- Mordente do Tubo
- Mordente da Rebarba
- Separador de Peças
- Esbarro 1
- Esbarro 2
- Esbarro 3 (opcional)
- Motor de Afinação de Diâmetro do Tubo

```
FUNC.MANUAIS>ALIMENT
F2 Mover Arraste
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
```

F2- Mantendo-o pressionado, faz mover o motor de arraste

```
FUNC.MANUAIS>ALIMENT
F2 Activa Traccçao
F3 Desactiva
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
```

F2- Activa os mordentes de tracção do tubo

F3- Liberta os mordentes de tracção do tubo

```
FUNC.MANUAIS>ALIMENT
F2 Sobe Alavanca
F3 Desce Alavanca
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
```

F2- Faz subir a alavanca de alimentação

F3- Faz descer a alavanca de alimentação

```
FUNC.MANUAIS>ALIMENT
F2 Sobe Aparadeira
F3 Desce Aparadeira
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
```

F2- Faz subir a aparadeira da rebarba

F3- Faz descer a aparadeira da rebarba

(A aparadeira apenas se movimenta se o disco estiver completamente recuado. A ordem da aparadeira é memorizada e executada, logo que possível)

FUNC. MANUAIS>ALIMENT
F2 Activa Mord.Tubo
F3 Desactiva
F1 AUTO/MAN F4 SAIR

F2- Activa o Mordente do Tubo
F3- Liberta o Mordente do Tubo

FUNC. MANUAIS>ALIMENT
F2 Activa Mord.Reb.
F3 Desactiva
F1 AUTO/MAN F4 SAIR

F2- Activa o Mordente da Rebarba
F3- Liberta o Mordente da Rebarba

FUNC. MANUAIS>ALIMENT
F2 Separa. em Boas
F3 Separa. em Más
F1 AUTO/MAN F4 SAIR

F2- Posiciona o Separador de Peças em Boas (Peças para a frente)
F3- Posiciona o Separador de Peças em Más (Peças para trás)

FUNC. MANUAIS>ALIMENT
F2 Descer Esbarro 1
F3 Subir Esbarro 1
F1 AUTO/MAN F4 SAIR

F2- Faz descer o Esbarro 1
F3- Faz subir o Esbarro 1
(O comportamento é igual para os restantes esbarros disponíveis)

FUNC. MANUAIS>ALIMENT
F2 Apertar Afição
F3 Alargar Afição
F1 AUTO/MAN F4 SAIR

F2- Faz descer/apertar o bloco dos mordentes para permitir a afinação
F3- Faz subir/alargar o bloco dos mordentes

7.2.1.3 FUNÇÕES MANUAIS – ARMAZÉM

O armazém de tubos contém o motor do alimentador plano e o motor das cintas. O motor das cintas tem um botão de controlo por detrás do armazém que permite, em qualquer altura, descer ou subir as cintas do armazém. Desta forma, é possível carregar o armazém, sem se necessitar de parar a máquina.

As funções manuais da consola são:

FUNC. MANUAIS>ARMAZEM
F2 Subir cintas
F3 Descer cintas
F1 AUTO/MAN F4 SAIR

F2- Faz subir as cintas do armazém
F3- Faz descer as cintas do armazém
(sempre que for pressionada uma tecla com as cintas do armazém a mover, estas param)

FUNC. MANUAIS>ARMAZEM
F2 Avançar Alim Pl
F3 Recuar
F1 AUTO/MAN F4 SAIR

F2- Faz mover o alimentador plano do armazém para a frente
F3- Faz recuar o alimentador plano do armazém
(Para parar, basta carregar novamente a tecla correspondente)

7.2.2 PRODUÇÃO (PARAMETRIZAÇÃO)

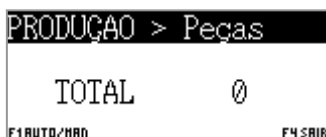
No menu de produção, a máquina é parametrizada, de forma a permitir adaptar o ciclo automático às necessidades da peça a cortar.

Sendo assim, é necessário introduzir:

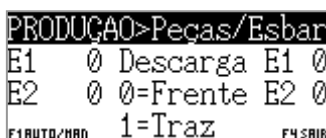
- Total de peças a produzir
- Peças a produzir e descarga da peças por esbarro
- Posições dos esbarros para permitir movimentos mais rápidos
- Comprimento da ponta inicial a aparar
- Ângulo de corte variável ou fixo
- Esbarros fixos ou móveis

Se apenas deseja voltar a produzir outra série de peças, basta fazer simplesmente o reset dos contadores.

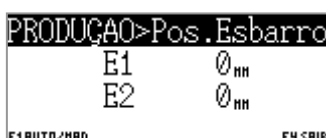
Os menus de parametrização da produção são os seguintes:



Este menu permite introduzir o número de peças que deseja produzir. A produção pára quando o número de peças produzidas for igual ao valor introduzido.



Neste menu, deve introduzir-se o número de peças pretendidas por esbarro. Pode também indicar para onde pretende fazer a descarga das peças (o tubo a cortar deve ter tamanho suficiente para efectuar os cortes aqui introduzidos).



A máquina vai utilizar estes valores para reduzir a velocidade de arraste e, assim, não bater com demasiada força nos esbarros. Desta forma, deve-se introduzir em cada esbarro a posição deste, retirando - se alguns milímetros. Deve-se descontar mais para tubos pesados e menos para tubos leves.

```

PRODUÇÃO>PontInicial
Ponta Inicial
Comprimento 0mm
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
    
```

Neste menu, deve-se introduzir o deslocamento para efectuar a ponta inicial. Este valor deve medir-se desde a célula de presença de tubo até à serra, acrescentando ainda o valor do comprimento da ponta que deseja aparar. Se não pretende aparar a ponta, introduza o valor Zero.

```

PRODUÇÃO> Angulo
F2 Sim Variavel Sim
F3 Nao Ang. Ini. 0
F1 AUTO/MAN 0=Dir 1=ESQ F4 SAIR
    
```

Este menu é definido se os cortes têm angulo variável ou fixo. Caso seja variável, é necessario indicar se o ângulo na ponta inicial é à direita (0) ou à esquerda (1).

```

PRODUÇÃO> Esbarro
F2 Sim
F3 Nao MOVEL Sim
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
    
```

Neste menu, a máquina é informada se deve subir o esbarro durante o corte.

```

PRODUÇÃO> Contadores
Peças Prod. 0
F2PecaProd F3TubProd
F1 AUTO/MAN F4 SAIR
    
```

Este menu permite fazer o *reset* dos contadores.
F2 - Limpa os contadores de peças produzidas.,
F3 - Limpa os contadores de peças no corrente tubo.

```

PRODUÇÃO 0%
Tot 0Prod 0
Tubo 0Falt 0
E1 0E2 0 F3DF0 F4 SAIR
    
```

Neste menu pode-se ver o resultado das parametrizações. Assim, pode-se ver o total de peças a produzir (Tot), o número de peças produzidas (Prod), o número total de tubos necessários para a produção (Tubo) e os tubos que ainda faltam cortar (Falt). Pode-se também ver o número de peças por cortar no tubo (E1 e E2). Estes valores podem ser ajustados após um encravamento.
F3 – Permite ter acesso ao menu de tempo de ciclo.

7.2.3 CONFIGURAÇÃO (SETUP)

Deve recorrer a este menu, sempre que deseja:

- trocar a serra de disco
- trocar de tipo de material a cortar
- parametrizar o corte inteligente
- configurar a espera para a subida da aparadeira

```

Configuracao> Serra
Diametro(d) 0000HH
Nº Dentes(z) 0000
F2-RESET Cortes F4SRIR
  
```

Sempre que o serra é trocada, deve introduzir-se o respectivo diâmetro, bem como o número de dentes, de forma a parametrizar automaticamente a velocidade ideal de corte. Deve também fazer-se *reset* ao número de cortes, de forma a verificar posteriormente a altura ideal para a troca da serra de disco.

AVISO: Se houver valores errados nestes parâmetros para a serra montada na máquina, esta pode causar má qualidade ou falta de eficiência no corte!

```

Config.> Material
F2↑ F3↓ Sel Material
TIPO:Aços até 500n/HH²
F4SRIR
  
```

Neste menu, deve-se escolher, com as teclas F2 e F3, o tipo de material que vai cortar. Este parâmetro é usado para o cálculo das velocidades ideais de corte.

```

Config.> Material
F2↑ F3↓ Sel Material
Serra [000-000]n/HH
Avanço [00-00]HH:100 F4SRIR
  
```

No fim da lista do tipo de materiais, pode-se introduzir os valores de limite de velocidade da serra e do avanço. A serra e o avanço vão garantidamente trabalhar entre estes valores. O primeiro valor é o valor mínimo, o segundo é o valor máximo. As unidades para a velocidade da serra são em metros por minuto. No avanço, são introduzidos os milímetros x 100 de avanço por dente da serra.

```

Configuracao> Corte
Binario Corte 150
Binario Recuo 20
F4SRIR
  
```

Neste menu, pode definir-se o binário de corte para efectuar cortes mais agressivos (valor mais elevado) e cortes mais suaves (valores menores). Pode-se também definir os binários de recuo que indicam a força de corte a partir da qual o recuo é efectuado.

ATENÇÃO: Se o valor de binário de recuo for demasiado elevado, o corte pode não chegar a ser efectuado. Nesse caso, dever-se-á baixar o binário de recuo.

```

Config.> Aparadeira
Tempo de espera
em baixo 6 dSeg
F4SRIR
  
```

Este menu permite definir o tempo em que aparadeira espera em baixo. Este tempo é necessário, caso o processo de descarga seja mais demorado. O valor é introduzido em décimas de segundo.

7.3 MODO AUTOMÁTICO

O modo de funcionamento automático é o utilizado durante o trabalho efectivo do serrote.

Para se colocar o serrote a funcionar automaticamente, depois de estar devidamente afinado do ponto de vista mecânico e parametrizado conforme as afinações, basta pressionar na tecla F1 em qualquer menu e dar início ao ciclo na tecla F2.

```

SERROTE MAQUISIS
ANGULAR AUTOMATICO
Corte Inteligente
[1]-AUTO [2]-MANUAL
    
```

```

AUTOMATICO MAQUISIS
Produçao 0%
CICLO EM ESPERA
INICIO DESCER
F1AUTO/MAN F2CICLO F3ARRAZEM F4SAIR
    
```

```

AUTOMATICO MAQUISIS
Produçao 0%
EM CICLO
INICIO DESCER
F1INFO F2CICLO F3ARRAZEM
    
```

Se voltar a pressionar na tecla F2, o ciclo entra em finalização e efectua uma paragem segura.

```

AUTOMATICO MAQUISIS
Produçao 0%
FINALIZANDO O CICLO
INICIO DESCER
F1INFO F2CICLO F3ARRAZEM
    
```

O modo de funcionamento automático tem acesso ao menu de informações, bastando pressionar em F1.

```

PRODUÇÃO 0%
Tot 0Prod 0
Tubo 0Falt 0
E1 0E2 0 F3INFO F4SAIR
    
```

Ao pressionar a tecla F3 no menu de informações, tem-se acesso ao menu de tempos de ciclo.

```

TEMPOS MAQUISIS
Ciclo 0020 0010seg
Corte 0015 0008seg
F4SAIR
    
```

Neste menu, pode-se ver os tempos de ciclo, bem como os tempos de corte do ciclo anterior e do actual.

No fim do processo, é apresentado o menu de produção completo.

```

AUTOMATICO MAQUISIS
PRODUÇÃO CONCLUIDA
Produzidas 0
DESCER
F1AUTO/MAN F3ARRAZEM F4SAIR
    
```

7.3.1 CONTADORES

No menu principal da máquina, tem-se acesso também aos contadores gerais de peças, aos cortes da serra, ao menu de tempos e a informações. Para isso, basta pressionar a tecla F2 ou F3.

```

CONTADORES MAQUISIS
Gr.Total 00000000Pcs
T.Cortes 00000000Crt
F1AUTO/MAN F4SAIR
    
```

Na parametrização, é inserido o número de peças que se pretende cortar. Quando o total de peças for atingido, será necessário proceder-se ao reset dos contadores. Este reset não afectará o contador geral de peças.

8. MANUTENÇÃO

8.1 MUDANÇA DO DISCO DA SERRA

Com o intuito de se proceder à substituição do disco de serra, é necessário colocar o grupo de corte na sua posição totalmente recuada e na posição angular de corte inclinado 45° (sentido anti-horário), de forma a permitir o acesso ao parafuso de fixação da serra.

Procedimento para substituição do disco:

- ◆ Colocar máquina em modo manual;
- ◆ Retirar tubo da zona de corte;
- ◆ Avançar cabeçote (Comando da Consola);
- ◆ Abrir porta traseira e afinar limite de curso “recuado”, de modo a que o cabeçote possa recuar totalmente;
- ◆ Recuar o cabeçote (Comando da Consola). O parafuso de fixação do disco fica alinhado com o furo da guia de acesso ao parafuso;
- ◆ Desligar electricamente a máquina (seccionador ON/OFF) ao lado do painel;
- ◆ Desligar alimentação de ar comprimido (válvula manual na unidade de tratamento de ar);
- ◆ Utilizando a chave específica (fornecida com a máquina), desapertar o parafuso de fixação do disco;
- ◆ Retirar parafuso e flange de encosto ao disco;
- ◆ Retirar disco;
- ◆ Montar disco novo (atenção à orientação dos furos do disco com os dois pinos na árvore e ao sentido de rotação);
- ◆ Montar a flange de encosto do disco;
- ◆ Montar e apertar o parafuso de fixação.

ATENÇÃO – Garantir que o disco fique perfeitamente centrado e fixo na árvore

- ◆ Ligar alimentação eléctrica e pneumática;
- ◆ Avançar o cabeçote;
- ◆ Afinar limite de curso “recuado” para a posição inicial;
- ◆ Introduzir o diâmetro e o número de dentes do disco na configuração da máquina;
- ◆ Fechar a porta traseira.

8.2 LUBRIFICAÇÃO

A máquina necessita apenas de:

- ◆ Guia de deslocamento do cabeçote de corte
- ◆ Sistema de inclinação do cabeçote (corte angular)
- ◆ Correntes de transmissão

O óleo recomendado é:

Óleo: **FUCHS RENEP 2**

Fornecedor: **FUCHS**

Os 3 pontos de lubrificação descritos acima, deverão ser lubrificados no início de cada turno de trabalho.

O cabeçote de corte possui um visor para verificar o nível de óleo no seu interior.

Este ponto deve ser verificado semanalmente, acrescentar fluido lubrificante, se necessário.

O óleo recomendado é:

Óleo: **VÁLVOLINA FUCHS CLP 320**

Fornecedor: **FUCHS**

8.3 FLUÍDO DE CORTE

O fluido de corte encontra-se num depósito aberto, situado por baixo da zona de queda das peças cortadas.

O fluido deve ser substituído todos os meses, ou antes, no caso de se apresentar muito degradado. Lavar o depósito com água.

A capacidade do depósito é de cerca de 150 litros. O fluido de corte aconselhado é um óleo solúvel em água (**FUCHS - RATAK MK 6**).

8.4 UNIDADE DE MANUTENÇÃO DO AR COMPRIMIDO

Esta unidade é responsável pela qualidade do ar comprimido em termos de humidade e lubrificação. Para um funcionamento sem falhas, é necessário ter em atenção os seguintes pontos:

- Efectuar a purga da água condensada sempre que necessário. Para isso, basta pressionar o pino existente no fundo do depósito de água. Esta operação pode ser realizada com a máquina em funcionamento;
- O nível de lubrificante deve ser regularmente observado, e no caso de ser necessário, acrescentado. O nível deve encontrar-se a 3/4 do depósito. Esta operação **tem que ser feita com a máquina sem pressão (na entrada da unidade)**. Para retirar o depósito, basta rodá-lo 45° para a esquerda.
- Para regular a lubrificação, existe um pequeno parafuso no topo do depósito (como indicação, 3 gotas por minuto são suficientes).
- O óleo aconselhado é um óleo fino com viscosidade de 32 cst (FUCHS - RENOLIN B 10).

8.5 INSPECÇÕES PERIÓDICAS

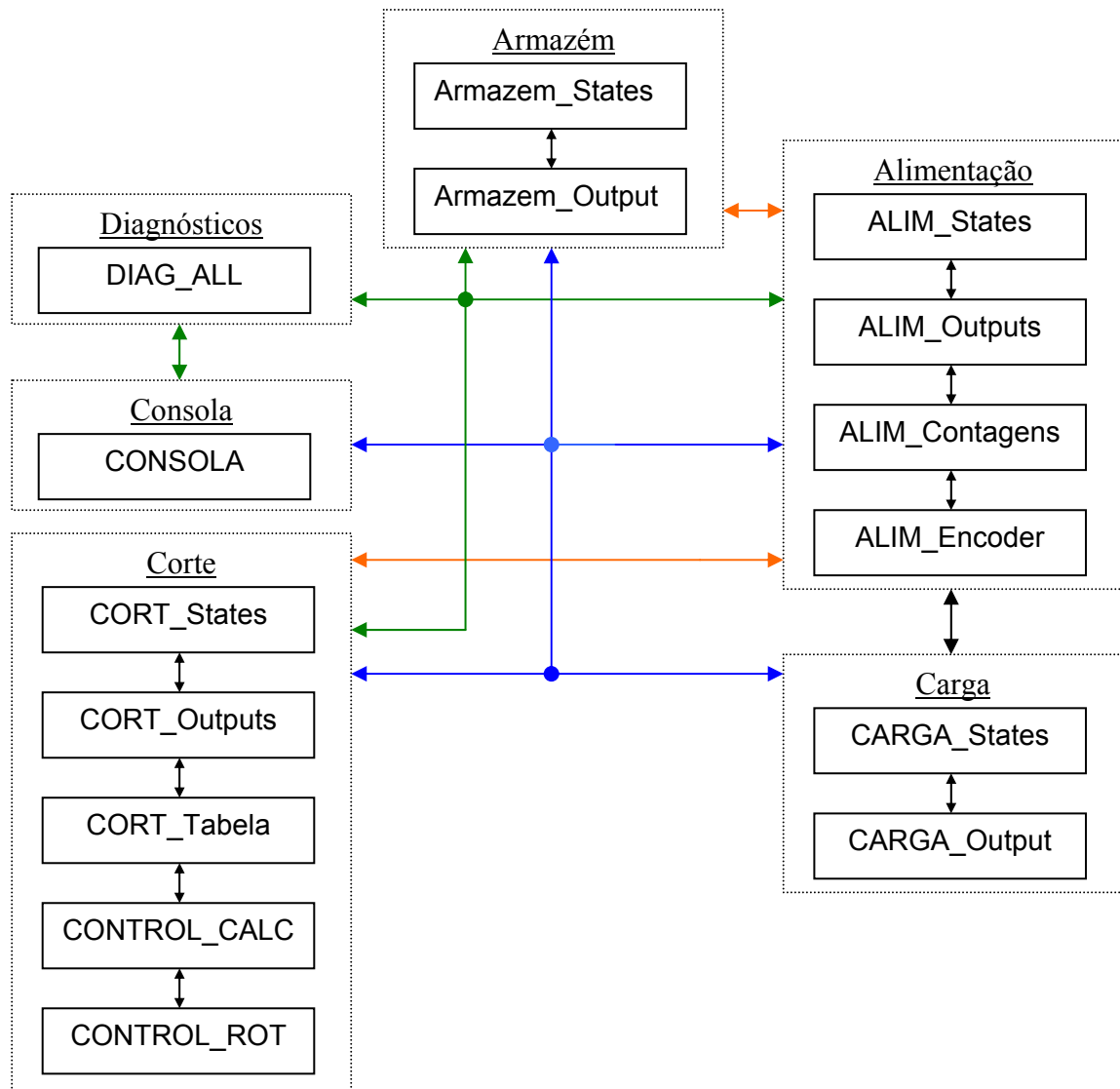
Estas inspecções têm como principal objectivo determinar o estado da máquina, evitando futuras paragens, em tempo útil, por falta de manutenção.

Os pontos que devem ser periodicamente verificados são:

- o estado dos detectores de proximidade, constatando se estes estão soltos ou a raspar em alguma peça;
- a existência de fugas no circuito de ar comprimido. Para isso, deve utilizar-se um pincel com água e sabão para as detectar. Em caso de se confirmar alguma fuga, esta deve ser reparada o mais depressa possível;
- a tensão das correntes de transmissão;
- o aperto dos parafusos nas peças móveis;
- as folgas nas guias dos carros dos rolos do sistema de tracção;
- as folgas nas guias dos mordentes.

***ANEXO 3: Estrutura do programa do serrote automático
Maquisis com corte angular***

Diagrama do programa



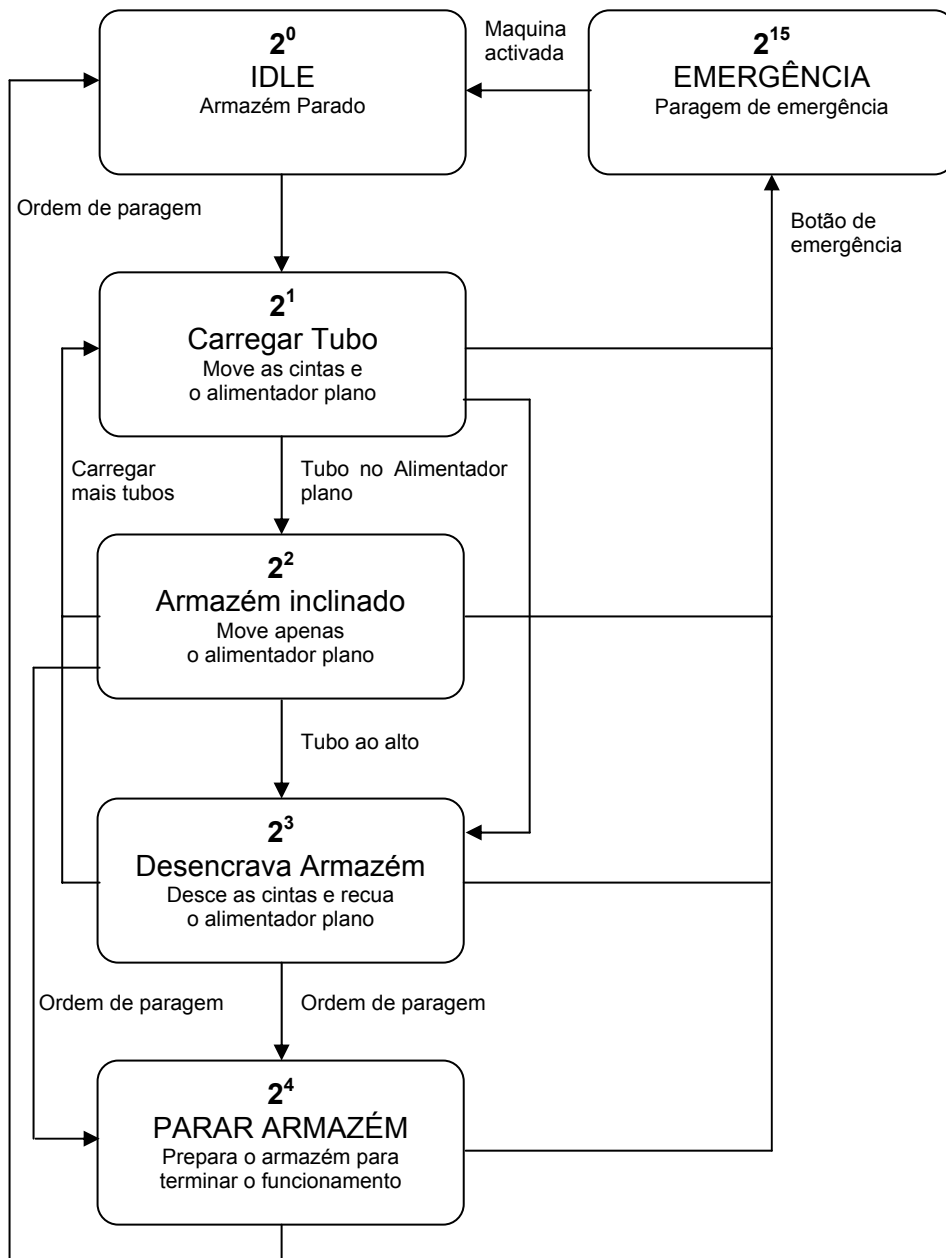
DIAG_ALL
 CONSOLA
 ARMAZEM_STATES
 ARMAZEM_Outputs
 ALIM_STATES
 ALIM_OUTPUT
 ALIM_CONTAGENS
 CARGA_STATES
 CARGA_OUTPUT
 CONTROL_CALC
 CORT_STATES
 CORT_OUTPUT
 CORT_Tabelas
 ALIM_ENCODER
 CONTROL_ROT

Diagnósticos do hardware (activa ou desactiva módulos)
 Comandos manuais e setup (cálculos de setup)
 Definição da sequência do armazém
 Cálculo das saídas relativas ao armazém
 Definição da sequência de alimentação e descarga
 Cálculo das saídas relativas à alimentação
 Contadores e cálculo das peças produzidas
 Definição da sequência de carga de tubos
 Cálculo da saídas relativas à carga
 Cálculo do controlador de corte inteligente
 Definição da sequência de corte
 Cálculo das saídas relativas ao corte
 Tabela de valores de velocidades p/ tipo de material
 Rotinas de atendimento do encoder
 Rotinas de cálculo de valores

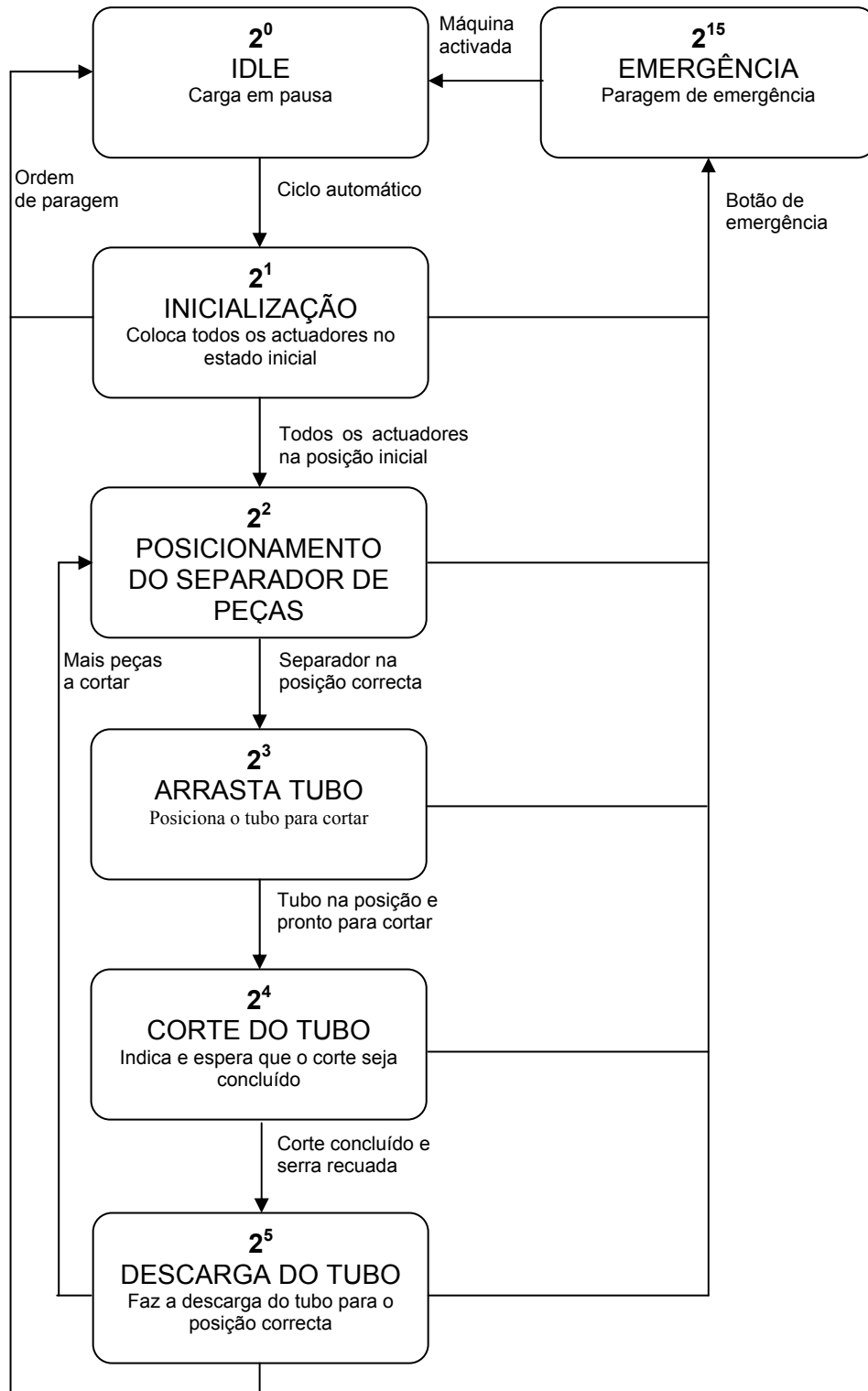
ANEXO 4: Fluxogramas da sequência de cada módulo do programa

Fluxogramas

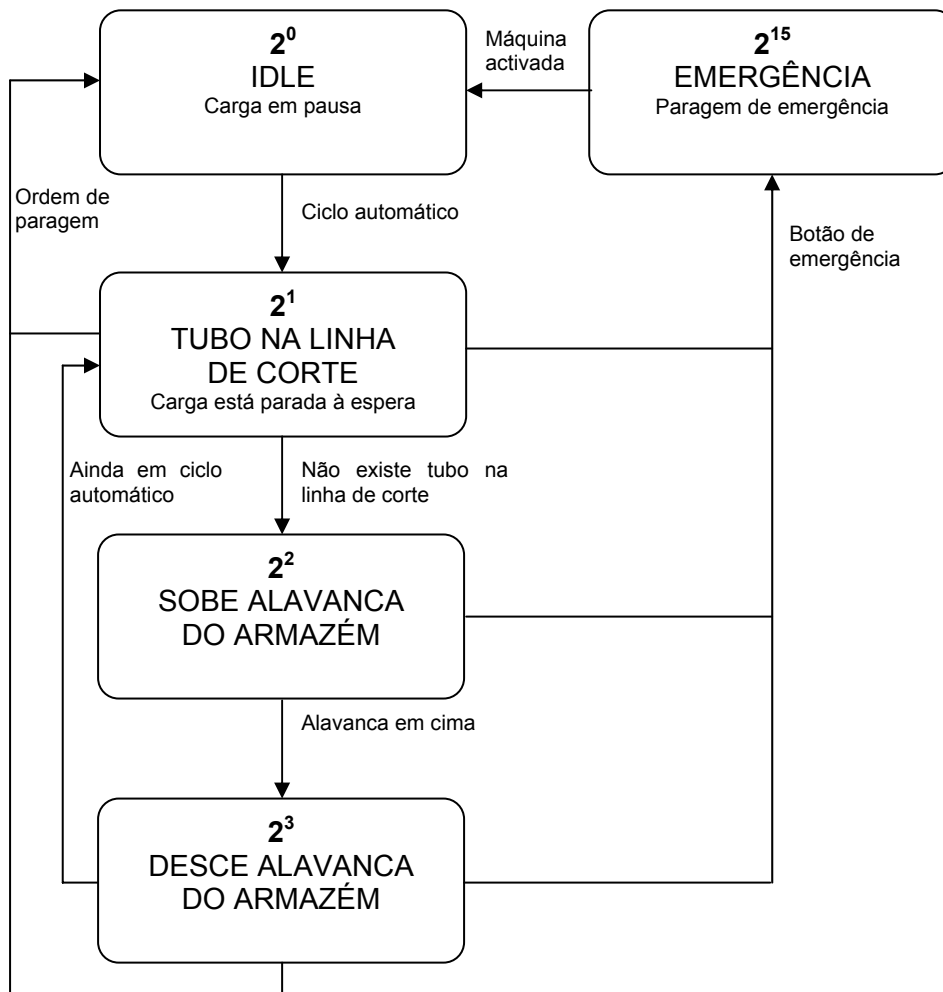
Armazém



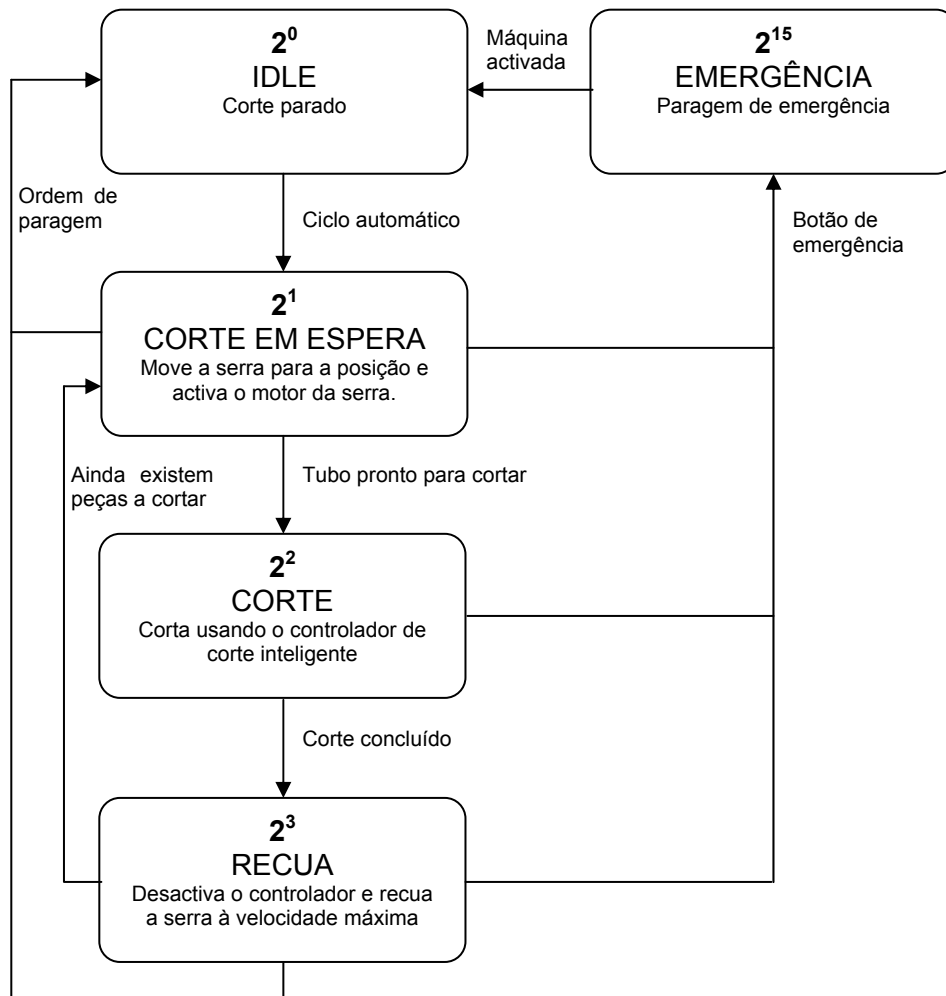
Alimentação



Carga



Corte



***ANEXO 5: Listagem do módulo de corte do programa do
serrote automático Maquisis***

Name	Type	Address / V...	Comment
ALIM_I_AlavancaBaixo	BOOL	2.02	Alavanca de alimentação em baixo
ALIM_I_AlavancaCima	BOOL	2.01	Alavanca de alimentação em cima
ALIM_I_AparadeiraCima	BOOL	2.04	Aparadeira em cima
ALIM_I_AparadeiraBaixo	BOOL	2.05	Aparadeira em baixo
ALIM_I_Deslocamento	UINT_BCD	230	Deslocamento do arrasto do tubo
ALIM_I_DeslocamentoReset	BOOL	0.00	Reset do deslocamento
ALIM_I_Esbarro1Baixo	BOOL	2.10	Indica que o esbarro 1 está para baixo
ALIM_I_Esbarro1Batente	BOOL	2.11	Indica que existe uma peça no esbarro 1
ALIM_I_Esbarro2Baixo	BOOL	2.12	Esbarro 2 em baixo
ALIM_I_Esbarro2Batente	BOOL	2.13	Peça no esbarro 2
ALIM_I_Esbarro3Baixo	BOOL	2.14	Esbarro 3 em baixo
ALIM_I_Esbarro3Batente	BOOL	2.15	Peça no esbarro 3
ALIM_I_MordenteRebarba	BOOL	2.07	Mordente da rebarba em cima
ALIM_I_MordenteTubo	BOOL	2.06	Mordente do tubo em cima
ALIM_I_SeparadorBoas	BOOL	2.08	Separador de peças na posição de boas
ALIM_I_SeparadorMas	BOOL	2.09	Separador de peças na posição de más
ALIM_I_TracaoCima	BOOL	2.00	Tracção de tubo em cima
ALIM_I_TuboNaLinhaCorte	BOOL	0.00	Tubo na linha de corte
ALIM_L_Dif	BOOL	22.12	Diferenciação!!!
ALIM_L_DifCont	BOOL	22.13	Pulso de contagem
ALIM_L_DifState04	BOOL	22.14	Entrada no estado de arraste
ALIM_L_EncoderOverflow	BOOL	231.02	Overflow do Encoder
ALIM_L_EncoderPV	UDINT_BCD	230	Contador do encoder
ALIM_L_EncoderReset	BOOL	252.00	Reset do Contador do encoder
ALIM_L_EncTable1b0	UINT	DM0	Target para arraste inicial
ALIM_L_EncTable1b1	UINT_BCD	DM1	Valor BCD para o araste inicial LOW
ALIM_L_EncTable1b2	UINT_BCD	DM2	Valor BCD para o araste inicial HI
ALIM_L_EncTable1b3	UINT	DM3	Sub-rotina para parar o arraste inicial
ALIM_L_EncTable2b0	UINT	DM4	Target para o arraste
ALIM_L_EncTable2b1	UINT_BCD	DM5	Valor BCD para o arraste LOW
ALIM_L_EncTable2b2	UINT_BCD	DM6	Valor BCD para o arraste HI
ALIM_L_EncTable2b3	UINT	DM7	Sub-rotina para parar o arraste
ALIM_L_EncZeroHI	UINT	DM9	Zero para reset do encoder
ALIM_L_EncZeroLow	UINT	DM8	Zero para Reset do encoder
ALIM_L_TIMArrasteWait	NUMBER	200	Espera até um novo tubo
ALIM_L_WDTimeOut	NUMBER	200	Time out do WDT
ALIM_L_WDTStates	UINT	24	Estado em que o WATCH DOG está a funcionar
ALIM_M_ACarregarOTubo	BOOL	22.11	Alavanca desce com tubo
ALIM_M_ArrasteConcluido	BOOL	22.05	Arraste concluido
ALIM_M_Avaria	BOOL	16.01	
ALIM_M_CicloIniDONE	BOOL	22.04	Indica que a operação está concluida
ALIM_M_CodAvaria	UINT	23	Código que identifica um erro no alimentador
ALIM_M_ComPontalIncial	BOOL	84.02	Indica que não tem ponta inicial
ALIM_M_CorteDaPontalIncial	BOOL	16.15	Indica que está a cortar a ponta inicial da peça
ALIM_M_DescargaCompleta	BOOL	84.04	Indica que a descarga foi concluida
ALIM_M_DeslActEsbarro	UINT_BCD	31	Deslocamento até ao esbarro activo
ALIM_M_EncoderNEG	BOOL	231.15	Indica que o deslocamento é negativo
ALIM_M_Esbarro1Act	BOOL	22.08	Esbarro Activo
ALIM_M_Esbarro2Act	BOOL	22.09	Esbarro Activo
ALIM_M_Esbarro3Act	BOOL	22.10	Esbarro Activo
ALIM_M_Parado	BOOL	22.02	Indica que o processo está parado
ALIM_M_PecasProd	UDINT_BCD	DM120	Número de peças produzidas
ALIM_M_PecasProdE1	UINT_BCD	DM122	Número de peças produzidas com o tamanho do Esbarro 1
ALIM_M_PecasProdE2	UINT_BCD	DM123	Número de peças produzidas com o tamanho do Esbarro 2
ALIM_M_PecasProdE3	UINT_BCD	DM124	Número de peças produzidas com o tamanho do Esbarro 3
ALIM_M_PosicaoSeparadorPecas	BOOL	84.03	Indica a posição em que o separador tem que estar 0=Boas 1=Más
ALIM_M_PosicaoESQDIR	BOOL	22.01	Indica a posição a cortar
ALIM_M_PrimeiroCorte	BOOL	22.15	Indica que está a arrastar para o primeiro corte (arraste lento)
ALIM_M_QtdPecasAtingidas	BOOL	16.00	
ALIM_M_TuboAlimentado	BOOL	22.03	Indica que o tubo está alimentado e à espera de ser cortado
ALIM_M_TuboCarregado	BOOL	22.07	Tubo carregado
ALIM_M_TuboNovo	BOOL	16.14	Indica que se está a começar a cortar um tubo novo
ALIM_M_TubosAUsar	UDINT_BCD	DM125	Tubos necessários para a execução do trabalho
ALIM_M_TubosFaltaUsar	UDINT_BCD	DM127	Tubos que ainda faltam para executar o trabalho
ALIM_M_UltimaPeca	BOOL	84.05	Indica que está a cortar a última peça
ALIM_M_VaiArrastarPontalIncial	BOOL	22.00	Vai arrastar para a ponta inicial
ALIM_M_WorkToDo	BOOL	22.06	Existe trabalho a realizar
ALIM_Q_ActivarTracção	BOOL	101.00	Activa a tracção do tubo para o arraste
ALIM_Q_ActMordenteRebar	BOOL	101.01	Activa o mordente da rebarba
ALIM_Q_ActMordenteTubo	BOOL	101.02	Activa o mordente do tubo
ALIM_Q_ArrastarLento	BOOL	101.03	Faz o arraste lento do tubo

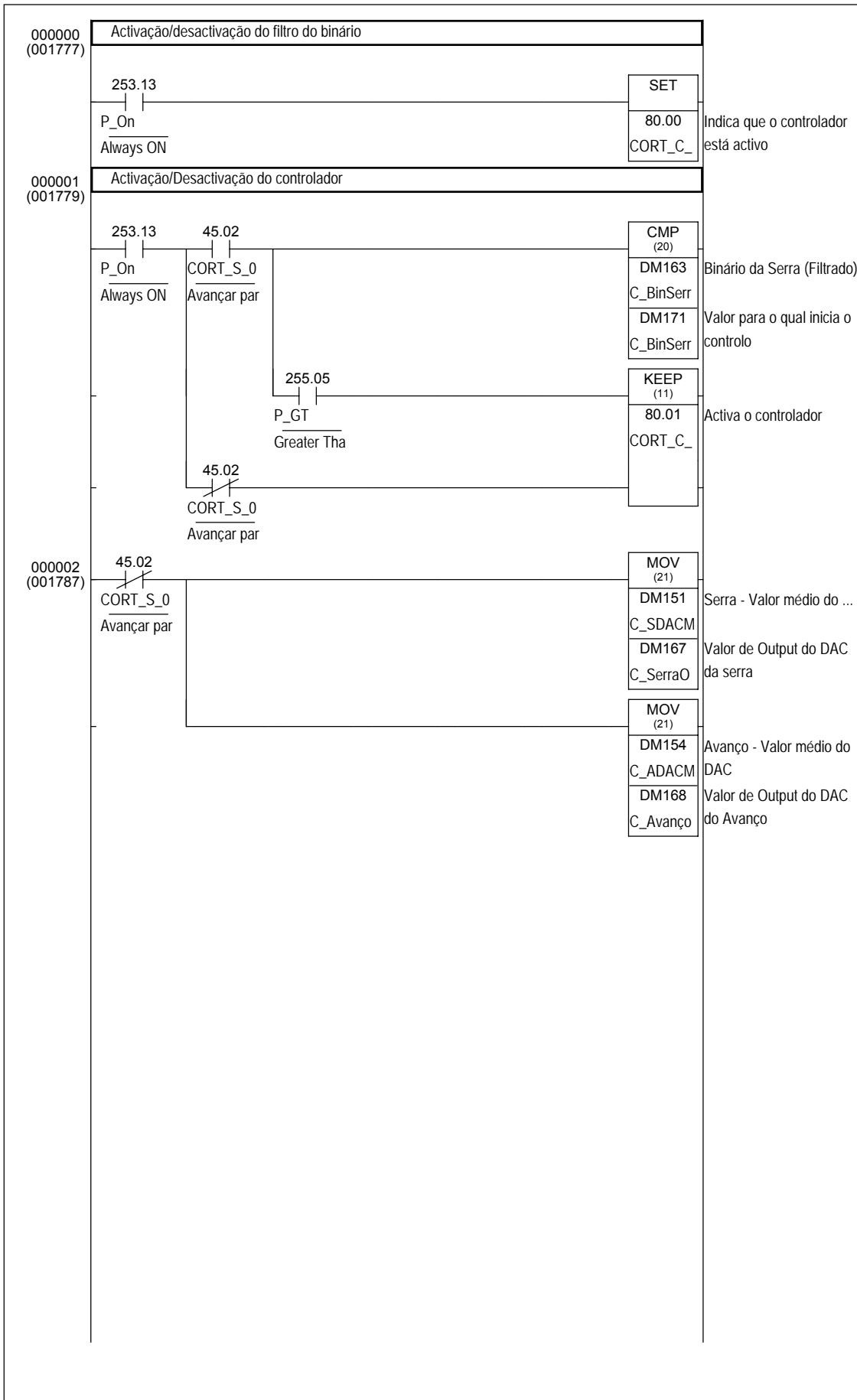
Name	Type	Address / V...	Comment
ALIM_Q_ArrastarRápido	BOOL	101.04	Faz o arraste rápido do tubo
ALIM_Q_DescerEsbarro1	BOOL	101.06	Desce o esbarro 1
ALIM_Q_DescerEsbarro2	BOOL	101.07	Desce o esbarro 2
ALIM_Q_DescerEsbarro3	BOOL	101.08	Desce o esbarro 3
ALIM_Q_MotorAjusteAlargar	BOOL	101.12	Faz apertar o ajuste
ALIM_Q_MotorAjusteApertar	BOOL	101.11	Faz apertar o ajuste
ALIM_Q_SeparadorMas	BOOL	101.09	Muda o separador para a posição das peças más
ALIM_Q_SubirAlavanca	BOOL	101.10	Sobe a alavanca de alimentação do tubo
ALIM_Q_SubirAparadeira	BOOL	101.05	Desce a aparadeira
ALIM_S_00Idle	BOOL	25.00	Máquina parada
ALIM_S_01CicloIni	BOOL	25.01	Ciclo de inicialização
ALIM_S_02notused	BOOL	25.02	Carrega o tubo do armazém
ALIM_S_03SeparaçãoDePeças	BOOL	25.03	Separação de peças
ALIM_S_04ArrastaTubo	BOOL	25.04	Arrasta o tubo para a posição do esbarro correspondente
ALIM_S_05Corte	BOOL	25.05	Corta o tubo
ALIM_S_06Descarga	BOOL	25.06	Descarrega o tubo
ALIM_S_15Emergencia	BOOL	25.15	Máquina desactivada
ALIM_S_States	UINT	25	Variável que contém os estados
ALIM_S_WD01CicloIni	BOOL	24.01	WD Ciclo de Inicialização
ALIM_S_WD02CarregarTubo	BOOL	24.02	WD Carrega o tubo do armazém
ALIM_S_WD03ArrasteInicial	BOOL	24.03	WD Arrasta o tubo para o corte inicial
ALIM_S_WD04ArrastaTubo	BOOL	24.04	WD Arrasta o tubo para a posição do esbarro correspondente
ALIM_S_WD05Corte	BOOL	24.05	WD Corta o tubo
ALIM_S_WD06Descarga	BOOL	24.06	WD Descarrega o tubo
ALIM_T_TIMArraste	BOOL	TIM011	Timer do arraste
ALIM_T_TIMArrasteN	NUMBER	11	Timer que indica o tempo de arraste
ALIM_T_TIMWDog	BOOL	TIM010	Watch Dog do alimentador
ALIM_T_TIMWDogN	NUMBER	10	Watch Dog do alimentador
ARM_B_0Desliga	BOOL	82.00	Desliga a ordem de movimento
ARM_B_1Liga	BOOL	82.01	Liga a ordem de movimento
ARM_B_State	UINT	82	Estado da ordem parar as cintas
ARM_C_TubosAlto	NUMBER	2	Contador de tentativas para endireitar tubos
ARM_I_AlimentCheio	BOOL	1.00	Detecta alimentador cheio
ARM_I_CintasCima	BOOL	1.02	Detecta cintas em cima
ARM_I_TuboAlto	BOOL	1.03	Detecta tubos alinhados ou não alinhados
ARM_I_TuboPresente	BOOL	1.04	Detecta tubos no alimentador
ARM_I_TubosNoAlimPlano	BOOL	1.15	Tubo no alimentador plano
ARM_L_WDTStates	UINT	19	Estado em que o WATCH DOG está a funcionar
ARM_M_AlimInclVazio	BOOL	TIM002	Indica que o alimentador inclinado está vazio
ARM_M_ArmazémVazio	BOOL	16.07	Informa que o armazém está vazio
ARM_M_Avaria	BOOL	16.08	Informa uma avaria
ARM_M_CodAvaria	UINT	20	Indica tipo de avaria no armazém
ARM_M_Contar	BOOL	16.03	Impulso de contagem de tentativas
ARM_M_FimTempoRecuo	BOOL	TIM001	Fim do tempo de recuo
ARM_M_FimWDT	BOOL	TIM000	Fim do tempo máximo num estado
ARM_M_RecuoAvalanche	BOOL	TIM003	Recuo para evitar uma avalanche de tubos
ARM_M_TempoRecuo	NUMBER	300	Tempo para recuar enquanto os tubos não estão direitos
ARM_M_TempoWDT	NUMBER	#4b0	Tempo máximo num estado
ARM_M_TimerRecuoActivado	BOOL	16.04	Timer do recuo activado
ARM_M_TuboPresente	BOOL	16.06	Informa que há um tubo no alimentador
ARM_M_ÚltimaTentativa	BOOL	CNT002	Contador de tentativas de alinhar tubos
ARM_M_WDTDesactivado	BOOL	16.02	WDT desactivado
ARM_O_AvançarAliment	BOOL	100.02	Avançar alimentador
ARM_O_DescerCintas	BOOL	100.01	Descer cintas
ARM_O_RecuarAliment	BOOL	100.03	Recuar alimentador
ARM_Q_SubirCintas	BOOL	100.00	Subir as cintas
ARM_S_00Idle	BOOL	18.00	Estado de Idle do armazém
ARM_S_01CarregarAlimPla	BOOL	18.01	Carregar o alimentador plano
ARM_S_02CarregarAlimIncl	BOOL	18.02	Carregar o alimentador inclinado
ARM_S_03Desencravar	BOOL	18.03	Armazém a tentar desencravar o tubo
ARM_S_04Parar	BOOL	18.04	Estado para parar o armazém
ARM_S_15Emergência	BOOL	18.15	Estado de emergência
ARM_S_States	UINT	18	Estados do armazém
ARM_S_WD01CarregarAlimPla	BOOL	19.01	WD Carregar o alimentador plano
ARM_S_WD02CarregarAlimIncl	BOOL	19.02	WD Carregar o alimentador inclinado
ARM_S_WD03Desencravar	BOOL	19.03	WD Armazém a tentar desencravar o tubo
ARM_T_TimRecuo	NUMBER	1	Timer para endireitar tubos
ARM_T_TIMWDog	BOOL	TIM000	Fim do tempo máximo num estado
ARM_T_WDT	NUMBER	0	Watch Dog do armazem
AVA_ANG_RAD	REAL	DM503	Valor do ângulo em radianos
AVA_ANGULO	INT	DM500	Ângulo a calcular

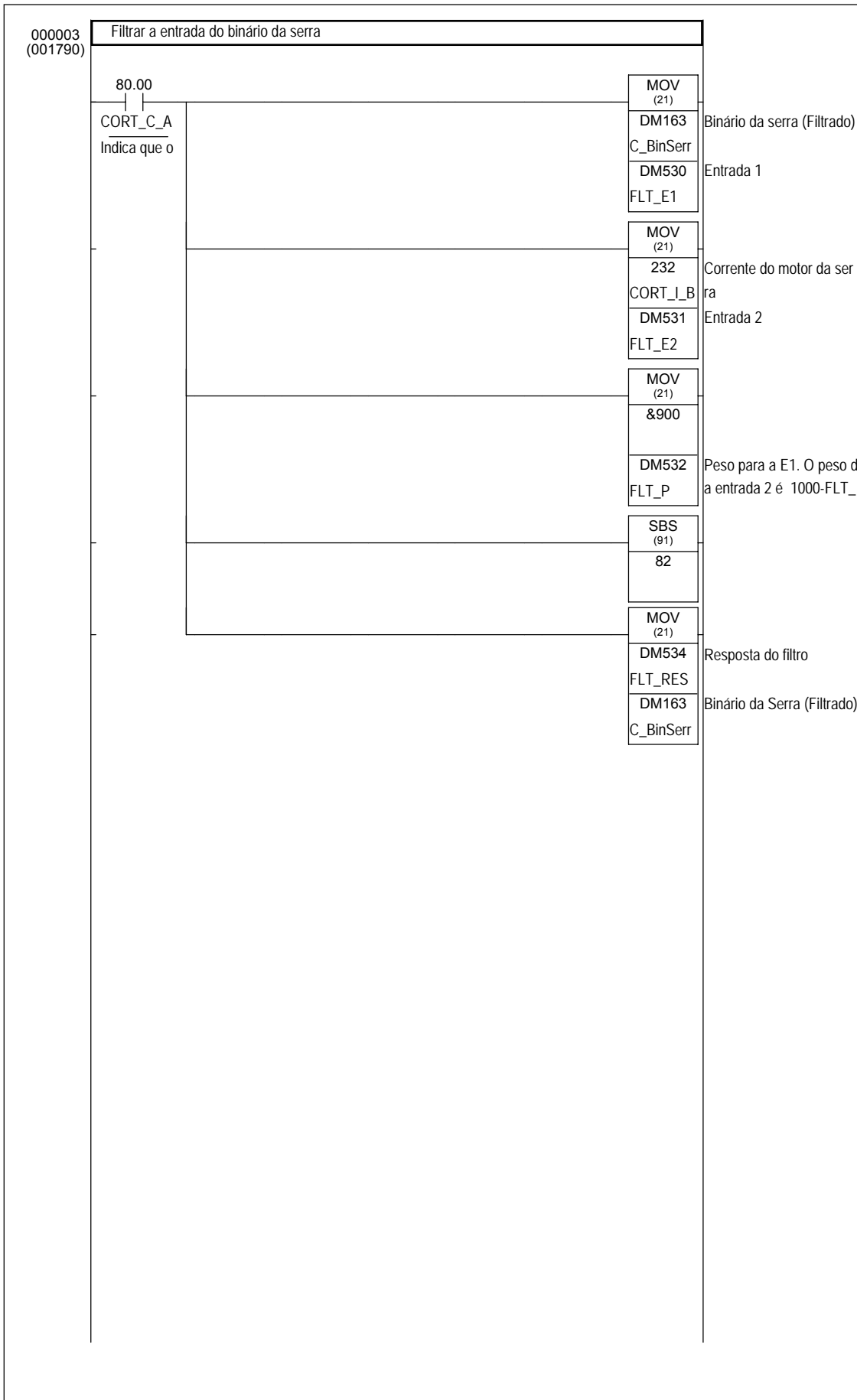
Name	Type	Address / V...	Comment
AVA_DIVRESTO	INT	DM510	Resto da divisão
AVA_FRAIO	REAL	DM505	Tamanho tx float
AVA_FTY	REAL	DM507	Tamanho ty float
AVA_RESP	UINT	DM509	Resposta do avanço
AVA_TEMP1	INT	DM501	Temporária 1
C_ADACMAX	INT	DM155	Avanço - Valor máximo do DAC
C_ADACMED	INT	DM154	Avanço - Valor médio do DAC
C_ADACMIN	INT	DM153	Avanço - Valor mínimo do DAC
C_AvançoAjust	INT	DM166	Ajuste na velocidade da serra
C_AvançoOutput	INT	DM168	Valor de Output do DAC do avanço
C_AVdir	INT	DM160	Avanço em mm da serra - ângulo direito
C_AVesq	INT	DM159	Avanço em mm da serra - ângulo esquerdo
C_AvTicksD	INT	DM162	Número de ticks para o avanço direito
C_AvTicksE	INT	DM161	Número de ticks para o avanço esquerdo
C_BinErro	INT	DM164	Diferença para o binário nominal
C_BinRef	INT	DM174	Valor de referência em binário
C_BinRefBCD	UINT_BCD	DM173	Valor de referência em BCD
C_BinSerra	INT	DM163	Binário da Serra (Filtrado)
C_BinSerraF	INT	DM169	Fracção do binário da serra
C_BinSerralniControlo	INT	DM171	Valor para o qual inicia o controlo
C_BinSerralniRecuo	INT	DM172	Valor para o qual inicia o controlo
C_PerfilTX	UINT	DM157	Tamanho em X do perfil
C_PerfilTY	UINT	DM158	Tamanho em Y do perfil
C_PMateriais	UDINT	DM198	Apontador para a tabela de materiais DM200-DM225
C_SDACMAX	INT	DM152	Serra - Valor máximo do DAC
C_SDACMED	INT	DM151	Serra - Valor médio do DAC
C_SDACMIN	INT	DM150	Serra - Valor mínimo do DAC
C_SerraAjust	INT	DM165	Ajuste na velocidade da serra
C_SerraOutput	INT	DM167	Valor de Output do DAC da serra
C_SerraRaio	UINT	DM156	Raio da Serra
C_SerraRaioBCD	UINT_BCD	DM156	Raio do disco da serra
CARG_S_00Idle	BOOL	83.00	Estado parado
CARG_S_01TuboNaLinha	BOOL	83.01	Tubo na linha e em frente da célula
CARG_S_02TiraDoArmazém	BOOL	83.02	Sobe alavanca
CARG_S_03PoemNaArrastadeira	BOOL	83.03	Põem o tubo na arrastadeira
CARG_S_15Emergência	BOOL	83.15	Emergência
CARG_S_States	UINT	83	Estados da carga
COM_TempoArrasteSemTubo	UINT_BCD	DM187	Tempo de arraste sem tubo
CON_L_BotaoDoArmazém	BOOL	1.01	Botão para descer armazém
CON_M_ActivarTracção	BOOL	32.00	Activação manual que faz descer a tracção do arraste
CON_M_ActMotorAvanço	BOOL	48.00	Manual activa o motor do avanço
CON_M_ActMotorRefr	BOOL	48.01	Manual activa o motor de refrigeração
CON_M_ActMotorSerra	BOOL	48.02	Manual activa o motor da serra
CON_M_ActrMordenteRebar	BOOL	32.01	Activação manual que activa o mordente da rebarba
CON_M_ActrMordenteTubo	BOOL	32.02	Activação manual que activa o mordente do tubo
CON_M_AngInicial	UINT_BCD	DM402	Ângulo inicial
CON_M_ÂnguloCorteDir	UINT_BCD	DM116	Ângulo de corte à direita
CON_M_ÂnguloCorteEsq	UINT_BCD	DM117	Ângulo de corte à esquerda
CON_M_ÂnguloInicial	BOOL	HR10.07	Ângulo no corte Inicial 0-Direita 1-Esquerda
CON_M_ÂnguloVariavel	BOOL	HR10.00	Ângulo de corte variável ou fixo
CON_M_Arrastar	BOOL	32.04	Activação manual para arrastar o tubo (Vel. lenta)
CON_M_AutoManual	BOOL	17.03	Modo automático/manual
CON_M_AvançarAliment	BOOL	17.07	Avançar alimentador no modo manual
CON_M_BotaoArmDescer	BOOL	17.13	Ordem para descer
CON_M_BotãoArmDescerParado	BOOL	17.12	Parado depois de descer
CON_M_BotãoArmSubir	BOOL	17.10	Ordem para subir
CON_M_BotãoArmSubirParado	BOOL	17.11	Parado depois de subir
CON_M_BotãoDifUp	BOOL	17.14	Indica que o botão foi carregado
CON_M_BotãoSubirDescer	BOOL	17.15	Indica se sobe ou desce
CON_M_CalcularConfig	BOOL	HR10.03	Indica que deve calcular a configuração
CON_M_CodMaterial	UINT_BCD	DM129	Código do material a cortar
CON_M_CompInicial	UINT_BCD	DM100	Comprimento inicial para ajustar a ponta
CON_M_COMPINIMM	UINT_BCD	DM139	Comprimento inicial em milímetros
CON_M_ConfigCalculada	BOOL	HR10.04	Configuração calculada com sucesso
CON_M_DescargaE1	UINT_BCD	DM400	Valor de descarga para o esbarro 1
CON_M_DescargaE2	UINT_BCD	DM401	Valor de descarga para o esbarro 2
CON_M_DescerAlavanca	BOOL	32.07	Activação manual que faz descer a alavanca
CON_M_DescerAparadeira	BOOL	32.08	Activação manual que faz descer a aparadeira
CON_M_DescerCintas	BOOL	17.04	Descer cintas no modo manual
CON_M_DescerEsbarro1	BOOL	32.09	Activação manual que faz descer o esbarro 1
CON_M_DescerEsbarro2	BOOL	32.10	Activação manual que faz descer o esbarro 2

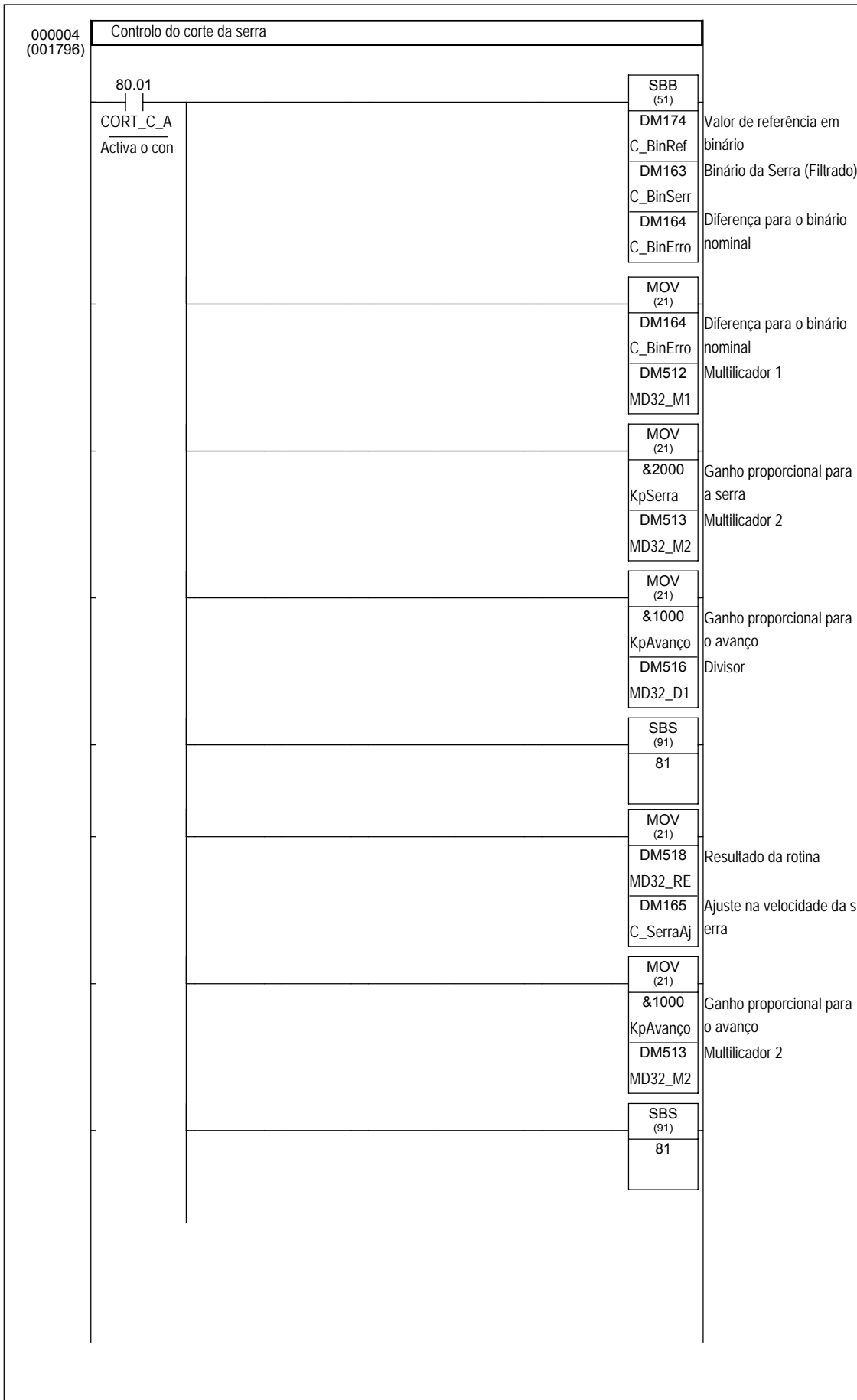
Name	Type	Address / V...	Comment
CON_M_DescerEsbarro3	BOOL	32.11	Activação manual que faz descer o esbarro 3
CON_M_DescrE1	BOOL	HR10.05	Descarga para o esbarro 1
CON_M_DescrE2	BOOL	HR10.06	Descarga para o esbarro 2
CON_M_DesIE1	UINT_BCD	DM104	Deslocamento do esbarro 1
CON_M_DesIE1mm	UINT_BCD	DM140	Deslocamento do esbarro 1
CON_M_DesIE2	UINT_BCD	DM105	Deslocamento do esbarro 2
CON_M_DesIE2mm	UINT_BCD	DM141	Deslocamento do esbarro 2
CON_M_DesIE3	UINT_BCD	DM106	Deslocamento do esbarro 3
CON_M_DesIE3mm	UINT_BCD	DM142	Deslocamento do esbarro 3
CON_M_DIFDNF4	BOOL	70.01	Indica que a tecla F4 foi libertada
CON_M_EsbarroMóvel	BOOL	HR10.01	Esbarros vão subir aquando do corte
CON_M_F1	BOOL	64.00	Tecla F1 da consola
CON_M_F2	BOOL	64.01	Tecla F2 da consola
CON_M_F3	BOOL	64.02	Tecla F3 da consola
CON_M_F4	BOOL	64.03	Tecla F4 da consola
CON_M_FaltaProdTPeças	UINT_BCD	DM136	Número de peças que faltam produzir no tubo
CON_M_GrandCortesSerra	UDINT_BCD	DM147	Número geral de cortes da serra
CON_M_GrandPeçasProduzidas	UDINT_BCD	DM145	Número geral de peças produzidas
CON_M_MANAvAIPI	BOOL	16.13	Indica que está a andar via manual
CON_M_Menu	UINT	60	Área da consola 4 bytes
CON_M_MenuAAVaria	UINT_BCD	71	Menu anterior à avaria
CON_M_MenuAvaria	BOOL	70.02	Indica se está a visualizar uma mensagem de avaria
CON_M_MenuChange	BOOL	67.12	Mudança de menu
CON_M_MotorAfinaAlarga	BOOL	80.04	Faz desapertar o motor de afinação
CON_M_MotorAfinaAperta	BOOL	80.03	Faz apertar o motor de afinação
CON_M_MovimentoFinal	BOOL	32.13	Aproveita a parte final do tubo para uma nova peça
CON_M_NMenu	UINT	65	Área de notificação dos menus (3 Bytes)
CON_M_NumberInput	BOOL	67.11	Número alterado
CON_M_PerfilDiametro	UDINT_BCD	DM130	Diâmetro do perfil a cortar
CON_M_PerfilEmDiametro	BOOL	HR10.02	Valor do perfil em diâmetro
CON_M_PerfilTx	UDINT_BCD	DM132	Tamanho do Perfil em X
CON_M_PerfilTxH	UINT_BCD	DM133	Tamanho do Perfil em X (PARTE ALTA)
CON_M_PerfilTy	UDINT_BCD	DM134	Tamanho do perfil em Y
CON_M_PeçasE1	UINT_BCD	DM101	Número de peças por tubo alimentado a fabricar no esbarro 1
CON_M_PeçasE2	UINT_BCD	DM102	Número de peças por tubo alimentado a fabricar no esbarro 2
CON_M_PeçasE3	UINT_BCD	DM103	Número de peças por tubo alimentado a fabricar no esbarro 3
CON_M_PeçasPorTubo	UDINT_BCD	DM143	
CON_M_PeçasPorTubo_hi	UINT	DM144	
CON_M_PeçasPorTubo_low	UINT	DM143	
CON_M_PTotalProd	UDINT_BCD	DM114	Percentagem de peças produzidas
CON_M_RecuarAliment	BOOL	17.06	Recuo do alimentador no modo manual
CON_M_RotAngularDIR	BOOL	48.03	Operação manual de rotação para a direita
CON_M_RotAngularEsq	BOOL	48.04	Operação manual de rotação para a esquerda
CON_M_SelMAt	BOOL	70.03	Indica que está nos menus de selecção do tipo de mat. a cortar
CON_M_SeparadorMas	BOOL	32.14	Activação de separador para peças más
CON_M_SerraDiametro	UINT_BCD	DM111	Diâmetro da serra
CON_M_SerraNDentes	UINT_BCD	DM112	Número de dentes da serra
CON_M_SF4	BOOL	70.00	Indicação de activação da tecla F4
CON_M_StartALIM	BOOL	17.01	
CON_M_StartARM	BOOL	17.00	Inicia as operações
CON_M_StartCORT	BOOL	17.02	
CON_M_SubirAlavanca	BOOL	32.15	Activação manual que faz subir a alavanca
CON_M_SubirCintas	BOOL	17.05	Subir cintas no modo manual
CON_M_TempoCiclo	UINT	DM180	Tempo de ciclo
CON_M_TempoCiclo_tmp	UINT	DM182	Tempo de ciclo
CON_M_TempoCorte	UINT	DM181	Tempo de ciclo
CON_M_TempoCorte_tmp	UINT	DM183	Tempo de corte
CON_M_TempoSubidaAparadeira	UINT_BCD	DM149	Tempo de subida da aparadeira
CON_M_TempStr	CHANNEL	DM20	String temporária (10 words)
CON_M_TempStr2	CHANNEL	DM21	
CON_M_ThersholdRecuo	UINT_BCD	DM137	Valor de recuo BCD
CON_M_ThersholdRecuoBIN	UINT_BCD	DM138	Valor de recuo BCD
CON_M_TotalPecas	UDINT_BCD	DM107	Total de peças a fabricar
CON_M_VelAvancoBCD	UINT_BCD	69	Valor BCD da vel. da serra (introduzido na consola)
CON_M_VelAvancoBCDSigned	BOOL	69.15	Sinal do valor introduzido na consola
CON_M_VelMotorAvanço	INT	51	Manual de velocidade de avanço
CON_M_VelMotorSerra	INT	49	Manual de velocidade do motor da serra
CON_M_VelRotAngular	UINT	50	Manual de velocidade de rotação angular
CON_M_VelSerraBCD	UINT_BCD	68	Valor BCD da vel. da serra (introduzido na consola)
CON_M_Zero	UDINT_BCD	DM8	Valor de Zero
CON_T_TIMAva	BOOL	TIM015	Timer de avaria

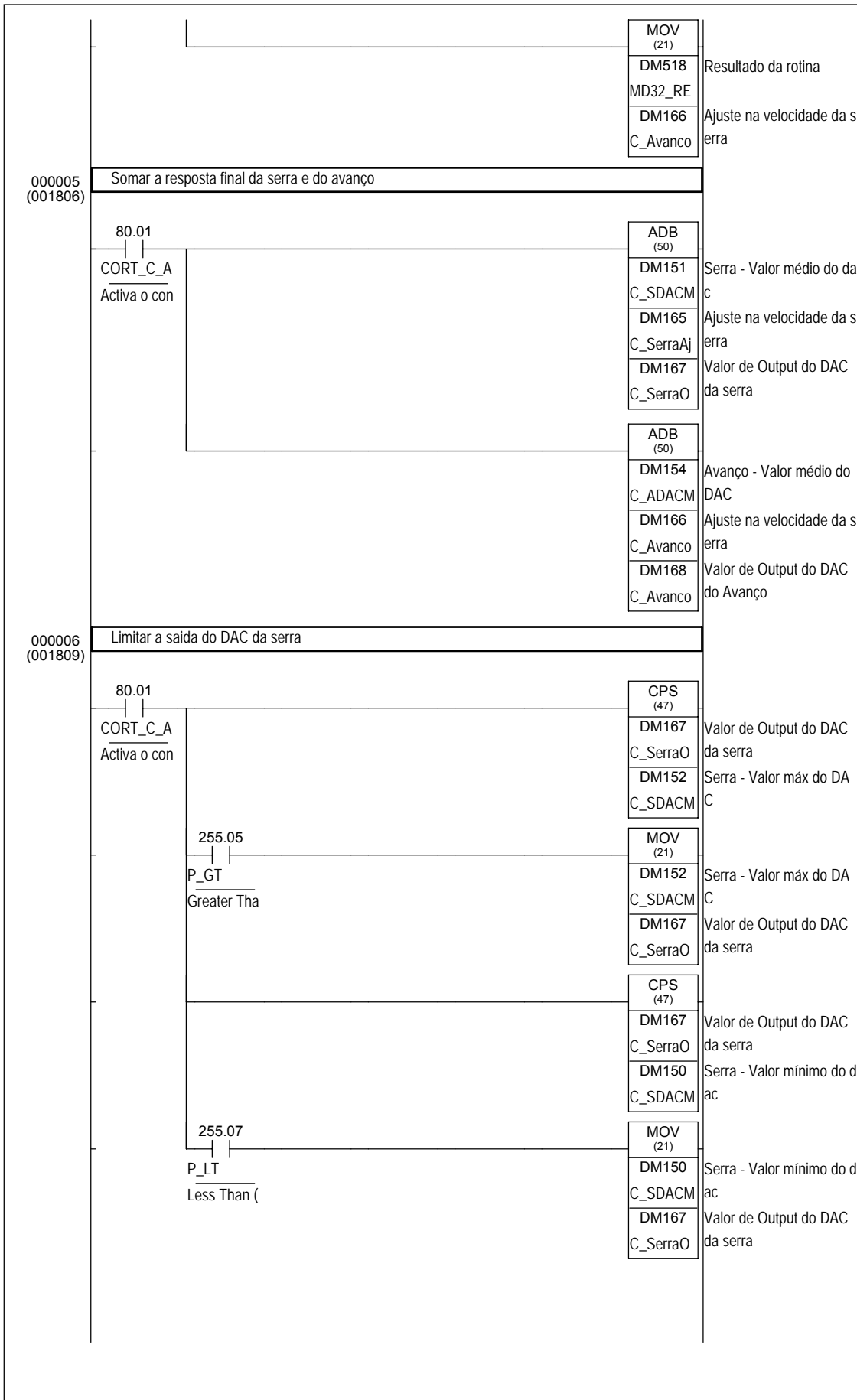
Name	Type	Address / V...	Comment
CORT_T_TIMAvan	NUMBER	015	Timer para voltar a indicar avaria
CORT_C_ActivaControlo	BOOL	80.01	Activa o controlador
CORT_C_ActivaFiltro	BOOL	80.00	Indica que o controlador está activo
CORT_C_AvancoEncConcluido	BOOL	80.02	Indica que o avanço visto pelo encoder foi concluído
CORT_C_TEMPDBG	INT	72	debug
CORT_I_BinarioMotorAvanço	INT	233	Corrente do motor de avanço
CORT_I_BinarioMotorSerra	INT	232	Corrente do motor da serra
CORT_I_DiscoAFrente	BOOL	0.08	Disco avançado
CORT_I_DiscoATraz	BOOL	0.09	Disco recuado
CORT_I_PosiçãoDIR	BOOL	0.10	Posição à direita
CORT_I_PosiçãoESQ	BOOL	0.11	Posição à esquerda
CORT_I_ReduzirVelAngDir	BOOL	0.12	Reduzir vel ang. Dir
CORT_I_ReduzirVelAngEsq	BOOL	0.13	Reduzir vel. ang. esquerda
CORT_I_TemperaturaDisco	INT	234	Temperatura do disco
CORT_L_DifEnable	BOOL	48.05	Passagem para activo
CORT_L_VelTemp	UINT	47	Valor temporário
CORT_L_WDTStates	UINT	46	Estado a monitorizar
CORT_M_Avaria	BOOL	17.08	
CORT_M_AvEncRot	INT	245	Número de rotações do avanço
CORT_M_CodAvaria	UINT	21	Código de avaria do corte
CORT_M_CorteConcluido	BOOL	33.00	Corte do tubo foi concluído
CORT_M_SerraACortar	BOOL	33.01	Serra a cortar o tubo
CORT_M_SerraARecuar	BOOL	33.02	Serra a recuar
CORT_M_SerraRecuada	BOOL	33.03	Serra recuada
CORT_Q_ActMotorAvanço	BOOL	100.08	Activa o motor de avanço
CORT_Q_ActMotorRefr	BOOL	100.09	Activa o motor da refrigeração do disco
CORT_Q_ActMotorSerra	BOOL	100.10	Activa motor da serra
CORT_Q_FreioRotAngular	BOOL	100.11	Activa o freio da rotação angular
CORT_Q_RotacaoLenta	BOOL	100.15	Vel. de rotação lenta
CORT_Q_RotacaoRapida	BOOL	100.14	Vel. de rotação rápida
CORT_Q_RotAngulaDIR	BOOL	100.12	Rotação angular para a direita
CORT_Q_RotAngularESQ	BOOL	100.13	Rotação para a esquerda
CORT_Q_VelMotorAvanço	INT	237	Velocidade do motor de avanço
CORT_Q_VelMotorSerra	INT	236	Velocidade do motor da serra
CORT_Q_VelRotAngular	UINT	99	Velocidade da rotação angular
CORT_S_00Idle	BOOL	45.00	Estado de repouso
CORT_S_01CicloINI	BOOL	45.01	Ciclo de inicialização
CORT_S_02Corte	BOOL	45.02	Avançar para Cortar
CORT_S_03Recuar	BOOL	45.03	A recuar após um corte
CORT_S_15Emergencia	BOOL	45.15	Estado de emergência
CORT_S_States	UINT	45	Estados do módulo de corte
CORT_S_WD01CicloINI	BOOL	46.01	Ciclo de inicialização
CORT_S_WD02Corte	BOOL	46.02	Avançar para cortar
CORT_S_WD03Recuar	BOOL	46.03	A recuar após um corte
CORT_T_TIMWDog	BOOL	TIM012	Watch Dog do corte
CORT_T_TIMWDogN	NUMBER	012	Watch Dog do CORTE
COS45000	NUMBER	707	Cos(45)*1000
DBG_CORTE	BOOL	81.00	Indica que está a ser executado o debug do corte
DIAG_I_Emerg	BOOL	0.07	Entrada de emergência
DIAG_I_MaquinaActiv	BOOL	1.14	Indica que a máquina está a funcionar bem
DIAG_I_MotorAjusteOK	BOOL	0.14	Motor de ajuste OK
DIAG_I_MotorArrasteOK	BOOL	1.13	Motor de arraste de tubos OK
DIAG_I_MotorAvOK	BOOL	1.12	Motor de avanço do alimentador OK
DIAG_I_MotorCintasOK	BOOL	1.11	Motor das Cintas do Armazém OK
DIAG_I_MotorCorteOk	BOOL	1.05	Motor do disco de serra OK
DIAG_I_MotorRefriOK	BOOL	1.06	Motor de refrigeração OK
DIAG_I_MotorRotAngularOk	BOOL	1.07	Motor da rotação angular
DIAG_I_PortaFechada	BOOL	1.10	
DIAG_I_PressaoArOk	BOOL	1.08	
DIAG_M_Avaria	BOOL	48.06	Avaria do mod. diag.
DIAG_M_CodAvaria	UINT	52	Código de avaria do modulo de diagnóstico
DIAG_M_EnableALIM	BOOL	16.10	Enable da alimentação
DIAG_M_EnableARM	BOOL	16.11	Enable do armazém
DIAG_M_EnableCORT	BOOL	16.12	Enable do Corte
DIAG_M_MotorArmAvancOk	BOOL	1.09	Motor de Avanço do armazém plano
DIAG_Q_LuzAmarela	BOOL	100.06	
DIAG_Q_LuzVerde	BOOL	100.07	
DIAG_Q_LuzVermelha	BOOL	100.05	
DIAG_Q_PLCOK	BOOL	100.04	
FLT_E1	INT	DM530	Entrada 1
FLT_E2	INT	DM531	Entrada 2

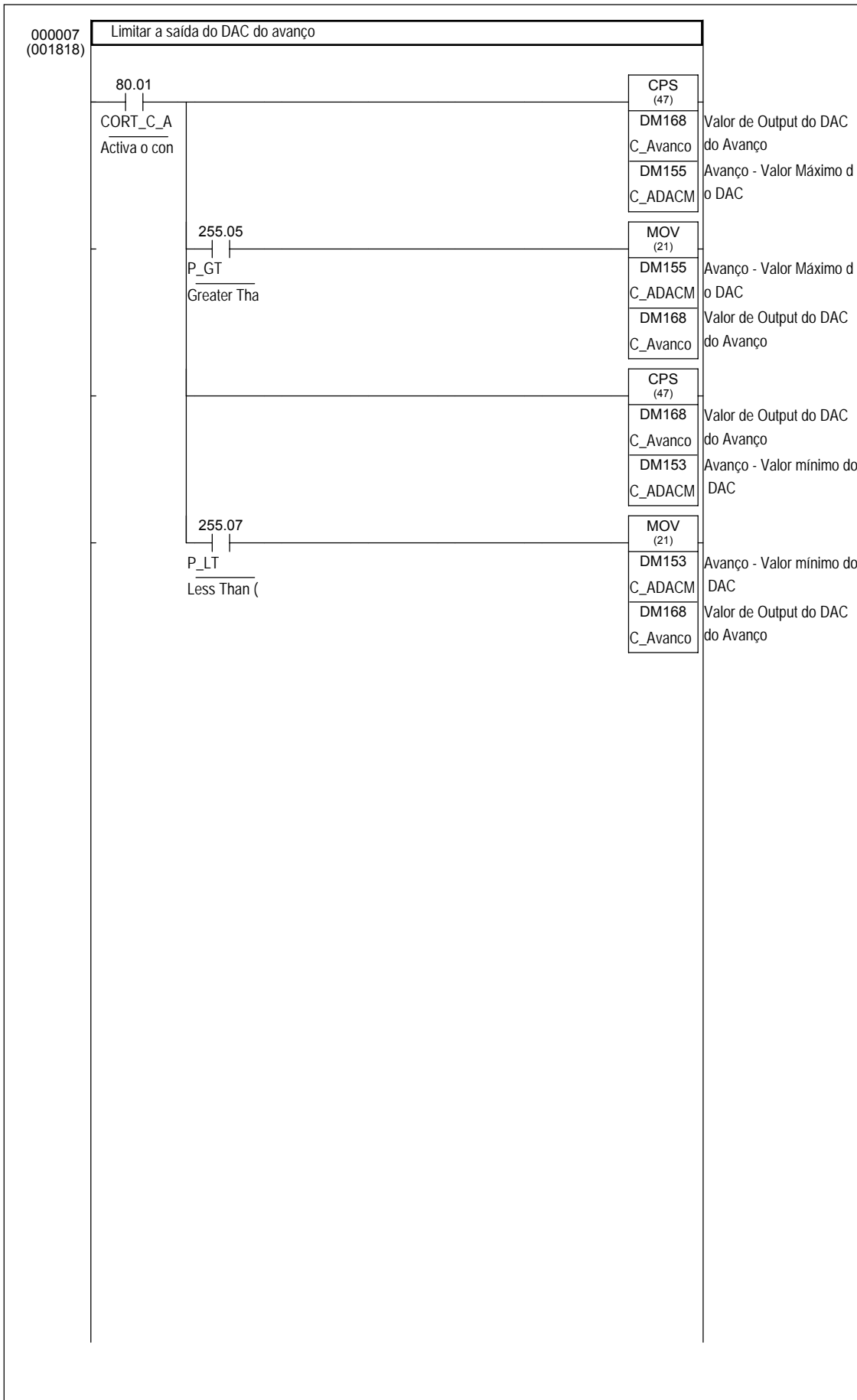
Name	Type	Address / V...	Comment
FLT_P	INT	DM532	Peso para a E1. O peso da entrada 2 é 1000-FLT_P
FLT_RESP	INT	DM534	Resposta do filtro
Kav	NUMBER	2	(mm) Avanço / rotação do motor
Kavc	NUMBER	341	Constante que relaciona o valor introduzido pela consola para ...
Kbn	NUMBER	120	Valor doADC que representa 100%do binário da serra
Kca	NUMBER	8075	Constante que relaciona a tensão do DAC da serra, o nº de...
Kcs	NUMBER	8773	Constante que traduz a velocidade de corte e diâmetro do dis...
KIniControlo	NUMBER	30	Indica o valor a partir do qual começa a controlar.(100)
KIniRecuo	NUMBER	25	Inicia o recuo da serra
KlpSerra	NUMBER	+10	Número de ticks até o disco ficar alinhado com a base
KpAvanço	NUMBER	1000	Ganho proporcional para o avanço
KpSerra	NUMBER	2000	Ganho proporcional para a serra
Ksc	NUMBER	27563	Conversão de rpm da serra e saída do DAC da serra
MD32_D	UDINT	DM516	Divisor
MD32_D1	UINT	DM516	Divisor
MD32_D_D_Hight	UINT	DM517	Parte alta do divisor
MD32_M	UDINT	DM514	Multiplicador
MD32_M1	UINT	DM512	Multiplicador 1
MD32_M2	UINT	DM513	Multiplicador 2
MD32_R	UDINT	DM518	Resultado da rotina
MD32_RESP	INT	DM518	Resultado da rotina
MD32_Resto	UDINT	DM520	Resto da divisão
OffCabe	NUMBER	100	Offset do cabeçote que limita o avanço
ROTINA_AVANCO	NUMBER	#50	Calcula o avanço para o corte
ROTINA_FLT	NUMBER	#52	Rotina que filtra uma entrada
ROTINA_MD32	NUMBER	#51	Rotina multiplica 32x32/32=16
TABELA_MATERIAS	UINT	DM200	Tabela de materiais DM200-DM225
TempBatRotAngular	BOOL	TIM008	Temporizador dos batentes da rotação angular
UDINT32_TEMP	UDINT_BCD	DM185	Variável temporária











000000 (002072)	Dados para aços até 500N/mm	
253.15 P_First_Cycl First Cycle F		MOV (21) #0080 DM200 TABELA_
		Tabela de materiais DM2 00-DM225
		MOV (21) #0100 DM201
		MOV (21) #0001 DM202
		MOV (21) #0002 DM203
000001 (002077)	Dados para aços até 800N/mm	
253.15 P_First_Cycl First Cycle F		MOV (21) #0015 DM204
		MOV (21) #0035 DM205
		MOV (21) #0001 DM206
		MOV (21) #0003 DM207

