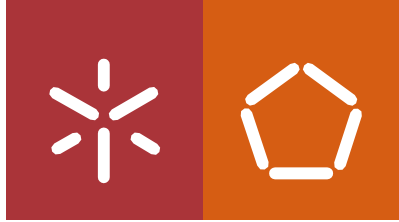




João José Galvão Morado

Análise de Tempos / Métodos e Consumos de Centro Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João José Galvão Morado

**Análise de Tempos / Métodos e Consumos
de Centro Automático de Corte e Furação
de Vigas Metálicas e Otimização de
Processos**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do:

**Professor Doutor José Luís de Carvalho Martins
Alves**

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

O apoio de várias pessoas foi fundamental para a realização desta dissertação. Nesta página serão destacadas todas as pessoas que tornaram este projeto possível.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor José Luís de Carvalho Martins Alves pela confiança em ter aceitado a orientação deste trabalho e por todo apoio prestado durante o decorrer deste projeto, imprescindível para a conclusão do mesmo.

De seguida, agradeço também, à empresa Metaloviana S.A. pela oportunidade e a todos os colaboradores que de alguma forma estiveram presentes e dispostos a ajudar. Deixo ainda um agradecimento especial aos Engenheiros Gabriel de Sá Correia e André Mesquita pelo seu conhecimento partilhado e por, apesar dos seus dias longos e ocupados, conseguirem sempre arranjar algum tempo para esclarecer as minhas dúvidas e ajudar-me perante todas as situações.

Deixo também um agradecimento a todos os funcionários que trabalham nas instalações fabris da empresa, sobretudo ao Rafael Miranda, que sempre se disponibilizou para me explicar detalhadamente todas as etapas do processo de fabrico e as estratégias de quem já trabalha na área há longos anos.

Ao meu grupo de treino por todo o apoio e em especial ao meu treinador, Professor José Barros, pelo apoio, por todo o conhecimento partilhado e por me ensinar a crescer, não existem palavras para descrever a sua bondade e disposição em ajudar.

Por fim e com maior importância, agradeço à minha família, pai, irmão e avós por todo o apoio dado ao longo destes 5 anos e, em especial à minha mãe, por estar sempre presente e garantir que nada faltasse.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

STATEMENT OF INTEGRITY

I hereby declare having conducted this academic work with integrity. I confirm that I have not used plagiarism or any form of undue use of information or falsification of results along the process leading to its elaboration.

I further declare that I have fully acknowledged the Code of Ethical Conduct of the University of Minho.

Universidade do Minho, 31 de janeiro de 2025

RESUMO

A empresa Metaloviana S.A. opera no setor da construção metálica, uma área com múltiplas aplicações e, presentemente, em franco crescimento dadas as suas extensas vantagens. A empresa Metaloviana S.A. procura, neste contexto de rápido crescimento e complexidade dos projetos, robustecer e melhorar o seu processo e capacidade de orçamentação, para, deste modo, melhorar a sua competitividade numa área de negócio cada vez mais exigente e profissional.

O processo de orçamento de obras de construção metálica implica um conhecimento abrangente de materiais, perfis e processos de fabrico, entre outros, bem como o desenvolvimento de ferramentas informáticas de decomposição do projeto em componentes e respetivas operações de fabrico. O desenvolvimento destas ferramentas, e a sua facilidade de utilização, são determinantes e fundamentais para o trabalho dos orçamentistas.

O desafio proposto pela empresa Metaloviana no contexto desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma ferramenta capaz de, de forma automática e intuitiva, orçamentar os projetos e apresentar os custos de fabrico relativos a cada etapa. Assim, a presente dissertação tem o principal objetivo analisar os métodos de produção em fábrica e otimizar o rigor e eficiência da orçamentação do corte e furação de perfis metálicos. Este processo de orçamentação é, atualmente, feito por estimativa de acordo com a experiência de projetos passados, pelo que é propício a erros e variações, que impactam a competitividade da empresa.

A ferramenta foi desenvolvida no *software Microsoft Excel* dada a sua facilidade de utilização e a capacidade de calcular o custo de um projeto com exatidão. Foram desenvolvidas duas bases de dados distintas. A primeira base de dados contém todas as informações e características físicas dos perfis e o respetivo tempo de corte; a segunda base, feita para a operação de furação, apresenta o tempo de furação calculado para um furo de determinado diâmetro e profundidade.

Detalha-se todo o desenvolvimento e funcionamento da ferramenta. São apresentadas todas as etapas de recolha de informação e todos os detalhes desta. Ao implementar a ferramenta, a Metaloviana S.A. poderá melhorar a sua confiança no procedimento de orçamentação, melhorar a sua competitividade e, conseqüente, contribuir para melhor crescer neste tão competitivo mercado.

Palavras-Chave

construção metálica, desenvolvimento, orçamentação, custos de fabrico

ABSTRACT

MetaloViana S.A. operates within the metallic construction sector, a field characterized by diverse applications and currently experiencing significant growth due to its numerous advantages. Within this context of rapid expansion and increasingly complex projects, MetaloViana S.A. seeks to enhance and reinforce its budgeting processes and capabilities to strengthen its competitiveness in an ever more demanding and professionalized business environment.

The budgeting process for metallic construction projects necessitates extensive expertise in materials, profiles, manufacturing processes, and related disciplines. Furthermore, it requires the development of computational tools designed to decompose projects into components and their corresponding manufacturing operations. The creation of such tools, along with their user-friendly interfaces, is both critical and indispensable for the effective performance of estimators.

The challenge proposed by MetaloViana S.A. within the scope of this dissertation entails the development of a tool capable of generating project budgets and presenting manufacturing costs for each production stage. Accordingly, the primary objective of this dissertation is to analyze factory production methods and optimize the precision and efficiency of the budgeting process. Currently, this process relies on estimates derived from historical project experience, rendering it susceptible to errors and inconsistencies that adversely affect the company's competitiveness.

The proposed tool was developed using Microsoft Excel, selected for its accessibility and capacity to calculate project costs with a high degree of accuracy. Two distinct databases were constructed as part of this initiative. The first database encompasses detailed information and physical characteristics of the profiles, along with their associated cutting times. The second database, developed for the drilling operation, provides drilling times based on the diameter and depth of specific holes.

This dissertation meticulously details the development and functionality of the proposed tool, including all stages of data collection and their respective intricacies. By adopting this tool, MetaloViana S.A. will be positioned to enhance its confidence in budgeting procedures, improve its competitiveness, and thereby support its growth in an increasingly competitive market.

Keywords

metallic construction, development, budgeting, manufacturing costs

ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Símbolos.....	xiii
1. Introdução.....	14
1.1. Enquadramento.....	14
1.2. A empresa: Metaloviana - Metalúrgica de Viana S.A.	14
1.3. Motivação e objetivos.....	16
1.4. Guia de leitura da dissertação.....	16
2. Estado de arte.....	18
2.1. Classificação dos aços.....	18
2.2. Perfis analisados.....	21
2.2.1. Perfis conformados a quente.....	24
2.2.2. Tubos conformados a frio com costura.....	25
2.2.3. Imperfeições dos perfis.....	26
2.3. Tecnologias de corte de perfis de aço.....	27
2.4. Furação.....	28
2.5. Fresagem.....	30
2.6. Certificações na construção metalomecânica.....	35
2.6.1. Certificação ISO.....	35
2.6.2. Norma 1090.....	36
2.6.3. Marcação CE.....	37
3. Análise da cadeia de produção.....	39
3.1. Planeamento da obra.....	39
3.1.1. Projeto.....	39

3.1.2.	Encomendar e receber matérias-primas	39
3.2.	Máquinas de corte em estudo.....	40
3.2.1.	MCP1: KALTENBACH KDS 615 + KALTENBACH KBS 750, polo 1.....	41
3.2.2.	MCP3: KALTENBACH KDP 1036 + KALTENBACH KBS 1051 DG, polo 3.....	42
3.2.3.	Serrote FAT	43
3.3.	Etiquetagem.....	44
3.4.	Maquinagem de perfis de aço.....	45
3.4.1.	Planos de Trabalho de Produção.....	46
3.4.2.	Preparação do corte	47
3.4.3.	Corte.....	49
3.4.4.	Furação.....	54
3.4.5.	Fresagem	56
3.4.6.	Arrumar e referenciar peças	59
3.5.	Custos fixos no corte de perfis	62
3.5.1.	Serra.....	62
3.5.2.	Óleos de corte e furação	65
3.5.3.	Manutenção	67
3.5.4.	Elettricidade	67
4.	Novo sistema para orçamentação.....	70
4.1.	Introdução da nova ferramenta de orçamentação.....	70
4.2.	Base de dados relativa ao corte dos perfis	70
4.3.	Base de dados relativa à furação	71
4.4.	Interface – MCP1	73
4.4.1.	Custos da produção.....	74
4.4.2.	Fabrico – Introdução de dados.....	74
4.4.3.	Informações do perfil.....	77
4.4.4.	Nº de cortes	77

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

4.4.5.	Cálculo do tempo do processo	78
4.4.6.	Tempo total de preparação	78
4.4.7.	Custos do operador	79
4.4.8.	Ângulo extra FAT	79
4.4.9.	Custos indiretos.....	80
4.4.10.	Elettricidade	81
4.4.11.	Consumíveis.....	81
4.5.	Interface – MCP3	82
4.6.	Corte de vigas no polo 1	82
4.6.1.	Tempos de corte dos perfis.....	82
4.6.2.	Cálculo do tempo de corte de perfis medidos	83
4.6.3.	Cálculo do tempo de corte de perfis não medidos	85
4.6.4.	Movimentação dentro do armazém	92
4.6.5.	Consumíveis.....	93
4.6.6.	Caso de estudo - IPE270 Colombo – MCP1	93
4.7.	Corte de perfis – MCP3	100
4.7.1.	tempos de corte dos perfis.....	100
4.7.2.	Movimentação dentro do armazém	102
4.7.3.	Consumíveis.....	103
4.7.4.	Amortização da máquina	103
4.8.	Corte de tubos	103
4.9.	Movimentação da peça (propulsor)	104
5.	Análise dos resultados e sugestão de melhorias.....	106
6.	Considerações finais	107
	Referencias Bibliográficas	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Passagem Pedonal – Via Rápida da Caparica; (b) Instalações – CLS Edifícios [1]	15
Figura 2 - Ensaio de tração num provete de aço. [4].....	19
Figura 3 - Gráfico típico de tensão - deformação de um ensaio de tração. [4]	19
Figura 4 – Tubo CHS conformado a frio por perfilagem com cordão de soldadura.	26
Figura 5 - Broca de metal duro.....	28
Figura 6 – Corpo de uma broca helicoidal sem pastilha.....	29
Figura 7 – Broca helicoidal com pastilha.....	29
Figura 8 - Fresa nova.....	30
Figura 9 - Fresa a trabalhar com elevado desgaste.	31
Figura 10 - Fresa após vida útil.	32
Figura 11 - Excesso de limalha de aço durante a fresagem.....	33
Figura 12 - Furo começado por uma fresa que perdeu a capacidade de arrancar aparta.	34
Figura 13 - Fotografia com escala da fresa “Fresa Metal Duro p/aço 12x38 mm c/ faceta”	35
Figura 14 - Logótipo da marcação CE. [11]	38
Figura 15 – Manípulo para controlar a velocidade de descida da serra.	41
Figura 16 – 2 linhas que indicam a velocidade ideal para a maioria dos perfis.....	42
Figura 17 - Ângulo da serra de corte.	43
Figura 18 - Serrote FAT a cortar um perfil CHS.....	44
Figura 19 - Etiqueta de um perfil SHS com todas as informações do mesmo.	45
Figura 20 - PTP de um perfil SHS com <i>QR code</i> para o operador localizar o perfil.	45
Figura 21 - Plano de Trabalhos de Produção (PTP)	47
Figura 22 - Ponte utilizada para movimentar as peças dentro do armazém.	48
Figura 23 - Peça final em que o ângulo não é compatível com o corte	49
Figura 24 – Painel da máquina - (a) velocidade de descida da serra inicialmente; (b) velocidade de descida da serra no momento em que começa a cortar a alma	51
Figura 25 - Medidas do perfil IPE 270. (14).....	51
Figura 26 – Painel da máquina - Altura em que o corte inicia.	52
Figura 27 - Fixação dos perfis durante a furação	55
Figura 28 - Mandril para colocar brocas e fresas	56
Figura 29 - Espaços para colocar as pelas finais na MCP3.	59
Figura 30 - Marcação da referência da peça a caneta (MCP1).	60

Figura 31 - Máquina para gravar a referência das peças (MCP1).	61
Figura 32 - Gravação da referência da peça utilizando a máquina (MCP1).	61
Figura 33 - Referência da peça gravada por fresagem no polo 3 (MCP3).....	62
Figura 34 (a) & (b) - Diferença do espaçamento entre dentes de uma serra 3/4.....	64
Figura 35 - OLEO CUTOL Ms - Garrafa 5 litro.....	66
Figura 36 - Consumo e poupança de energia no ano de 2023.....	68
Figura 37 - Base de dados relativa ao corte.....	71
Figura 38 - Base de dados medidos relativos à furação.	71
Figura 39 - Base de dados final com todos os furos.....	73
Figura 40 - Ferramenta: introdução de dados inicial.	74
Figura 41 - Parte 1 da Ferramenta: Apresentação dos custos.	74
Figura 42 - Parte 2 da Ferramenta: Introdução de dados do perfil e do corte.	75
Figura 43 - Parte 2 da Ferramenta: Escolha do perfil dentro da base de dados	76
Figura 44 - Parte 2 da Ferramenta: Escolha do diâmetro e profundidade dos furos.	76
Figura 45 - Parte 3 da Ferramenta: Informações do perfil.	77
Figura 46 - Parte 4 da Ferramenta: Número total de cortes	77
Figura 47 - Parte 5 da Ferramenta: Cálculo dos tempos de cada etapa de fabrico.....	78
Figura 48 - Parte 6 da Ferramenta: Tempo total de preparação.	79
Figura 49 - Parte 7 da Ferramenta: Custos relativos ao operador.....	79
Figura 50 - Parte 9 da Ferramenta: Cálculo do tempo e do custo para o ângulo não compatível com o corte.	80
Figura 51 - Parte 9 da Ferramenta: Custos indiretos no corte de um perfil.....	81
Figura 52 - Parte 10 da Ferramenta: Consumo energético de cada etapa.	81
Figura 53 - Parte 10 da Ferramenta: Consumíveis.....	82
Figura 54 – (a) Perfil IPN 160; (b) Perfil IPE 160. (14)	88
Figura 55 - Desenho técnico da peça LP203002.	94
Figura 56 - Pinças de fixação dos perfis.	96
Figura 57 - Base de dados com os tempos de corte dos tubos.....	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Perfis analisados [8]	22
Tabela 2 - Comparação do tempo de corte esperado para o tempo de corte real.....	50
Tabela 3 - Aumento do tempo de corte devido ao desgaste da serra.	53
Tabela 4 - Comparação dos tempos de fresagem utilizando 2 processos diferentes – perfil SHS 300x10.	57
Tabela 5 - Comparação dos tempos de fresagem utilizando 2 processos diferentes – perfil UPN 160.	57
Tabela 6 - Comparação da superfície fresada para 2 situações.....	58
Tabela 7 - Comparação do tempo de fresagem entre uma broca nova e uma broca em fim de vida. ..	58
Tabela 8 - Medida e custo da serra de cada máquina	62
Tabela 9 - Explicação da nomenclatura da serra	63
Tabela 10 - Tipos de dentes e a sua utilização.....	63
Tabela 11 - Serras gastas durante o último ano.....	65
Tabela 12 - Óleos utilizados pelas máquinas	67
Tabela 13 - Consumos das máquinas de corte [16].....	68
Tabela 14 - Equações e respetivas linhas de tendência para calcular os tempos de corte.....	84
Tabela 15 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 220.	85
Tabela 16 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 200.	86
Tabela 17 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 260.	86
Tabela 18 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 240.	86
Tabela 19 - Equação e respetiva linha de tendência para os tempos de corte dos perfis HEM.	87
Tabela 20 - Comparação das medidas de 2 perfis semelhantes: IPE 140 e IPN 160.....	88
Tabela 21 - Comparação das medidas dos perfis semelhantes ao perfil IPN 340.	89
Tabela 22 - Equação e respetiva linha de tendência para os tempos de corte dos perfis IPN.	90
Tabela 23 - Equação e respetiva linha de tendência para os tempos de corte dos perfis UPN.....	90
Tabela 24 - Análise dos tempos de movimentação da serra e das pinças.....	91
Tabela 25 - Tempos de furação para os furos com diâmetro de 22 mm.....	94
Tabela 26 - Tempos de furação para os furos com diâmetro de 18 mm.....	95
Tabela 27 - Tempos de cada fase e em que corte se enquadram.....	97
Tabela 28 - Tempo de cada corte.....	97
Tabela 29 - Tempo detalhado de cada etapa e tempos totais de corte.	98
Tabela 30 - Comparação dos tempos de corte entre a MCP1 e a MCP3.....	101

Tabela 31 - Equações e respectivas linhas de tendência para calcular os tempos de corte da MCP3.. 101

Tabela 32 - Tempos de movimentação do propulsor na MCP1 e MCP3 105

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas, abreviaturas e acrónimos

MCP1 – Máquina de corte do polo 1

MCP3 – Máquina de corte do polo 3

PTP – Plano de Trabalho de Produção

CNC – Corte Numérico Computadorizado

LP – Peça Solta

S – Peça de Conjunto

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O presente estudo de caso consiste na construção e implementação de uma ferramenta que permita orçamentar o custo relativo aos processos de corte e furação de perfis de perfis inerentes a um determinado projeto. Deste modo, a empresa vai conseguir orçamentar os processos com maior precisão. Atualmente, a orçamentação é feita por estimativa o que pode tornar o orçamento final do projeto distinto da realidade. Com um orçamento errado, a empresa pode deixar de ser competitiva e perder o projeto para uma empresa concorrente ou no pior dos casos, acabar em prejuízo.

1.2. A EMPRESA: METALOVIANA - METALÚRGICA DE VIANA S.A.

A Metaloviana - Metalúrgica de Viana S.A., designada posteriormente por Metaloviana é uma empresa portuguesa com uma grande presença nacional e internacional na área da construção metalomecânica.

As suas instalações contam atualmente com 3 polos e 4 unidades fabris de vocações específicas com uma área total de 43517 m², onde emprega 160 colaboradores, transformando aproximadamente 12000 toneladas de aço anualmente. Está nos planos da empresa continuar a crescer e aumentar estes números. Apesar do material mais maquinado nas instalações ser o aço, a empresa também processa alumínio. [1]

As unidades fabris localizadas na freguesia de Neiva, no distrito Viana do Castelo, focam-se na produção de componentes maioritariamente feitos em aço utilizados na construção metalomecânica. Este tipo de construção é maioritariamente utilizado em edifícios de grande porte, como pavilhões, estádios de futebol e prédios de vários andares.

A Metaloviana é uma empresa exemplar e responsável, com 40 anos de tradição e de saber qualificado e certificado, que desfruta de bom nome e de notoriedade setorial, traduzida nos estatutos de PME Excelência e de PME Líder, demonstrando uma organização experiente, disciplinada e económica e financeiramente estável, respeitadora das boas práticas industriais, sociais, ambientais, financeiras, legais e fiscais. [1]

A empresa está em constante crescimento, aumentando anualmente a sua faturação e as suas exigências. Atualmente, já estão a ser preparados novos armazéns para aumentar a capacidade de produção da empresa. [1]

A Metaloviana especializa-se na produção de naves industriais, trabalhos de caldeiraria, *pipelines*, *pipe-racks*, *conveyors* e estruturas metálicas para *offshore*, cimbres metálicos, vigas de lançamento, carros de avanço para a construção de viadutos e pontes metálicas, pedonais e rodo pedonais, serralharias diversas e revestimentos de fachadas e coberturas, entre outros. [1]

A empresa entrega um serviço completo ao cliente de acordo com os seus requisitos, permitindo fazer todas as etapas de produção dentro do mesmo complexo. A Metaloviana também faz o transporte e a montagem final da estrutura em obra.

Além do mercado português, a empresa é bastante competitiva na área metalomecânica no exterior, atuando no mercado angolano, moçambicano, brasileiro e especialmente no mercado francês, onde atua através da sua filial “*Batimel*”. [1]

A nível nacional a empresa é líder na construção metálica estando atualmente a construir uma das obras mais desafiantes e complexas em solo nacional: o novo edifício de escritórios do complexo do Colombo, em Lisboa, uma obra de 35000 m² e orçamentada na sua totalidade em mais de 100 milhões de euros, sendo a sua construção bastante desafiante devido à sua estrutura diferente do habitual.

Na figura 1, pode-se verificar algumas das obras realizadas pela Metaloviana durante os últimos anos.



Figura 1 - (a) Passagem Pedonal – Via Rápida da Caparica; (b) Instalações – CLS Edifícios. [1]

A Metaloviana foca na eficiência e no rigor enquanto empresa líder na área da construção metalomecânica e o objetivo principal durante o decorrer de um projeto passa pela satisfação do cliente. Os vários departamentos e funcionários da empresa trabalham de forma conjunta para o sucesso dos projetos e, durante todas as etapas de planeamento e fabrico, a equipa do controlo de qualidade está presente de modo a garantir o rigor.

1.3. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Este trabalho foi motivado pela vontade de explorar novas áreas dentro do ramo da Engenharia Mecânica. Sendo a orçamentação de um projeto o primeiro passo para o sucesso do mesmo, surge a necessidade de criar uma ferramenta que permita à empresa orçar o corte e a furação dos projetos com precisão. Perante isto, esta dissertação focou-se no desenvolvimento de uma ferramenta de fácil utilização capaz de calcular o tempo e o custo com precisão para o corte e a furação dos perfis em aço. Foi utilizado o *software Microsoft Excel* para a construção da mesma.

Este trabalho foi eficaz para suprir a necessidade da empresa Metaloviana de compreender melhor cada etapa do seu processo de fabrico e da sua necessidade em orçar os projetos com precisão. Ao permanecer em evolução constante a empresa consegue destacar-se no mercado e tornar-se mais competitiva face à concorrência.

Sendo a elaboração de uma ferramenta que permita orçar os processos de corte e furação de perfis metálicos o principal objetivo deste trabalho, foi necessário estudar toda a cadeia de produção da empresa e medir os tempos correspondentes a cada etapa. Pretende-se que a ferramenta de orçamentação seja de utilização intuitiva e fácil para todos os funcionários, podendo ser utilizada por qualquer pessoa sem formação prévia.

Tendo a ferramenta de orçamentação como o foco principal deste trabalho serão, ao longo deste trabalho, referidas todas as fases do desenvolvimento da mesma e explicadas todas as etapas da cadeia de produção da empresa, pois entender o seu funcionamento será essencial para construir e compreender a mesma.

1.4. GUIA DE LEITURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos distintos.

No primeiro e presente capítulo foi feito um enquadramento do tema da dissertação e apresentação da empresa que disponibilizou este projeto.

No segundo capítulo foi feita uma pesquisa acerca dos principais temas, conceitos e ferramentas acerca do corte e duração de perfis em aço. Além disto, fez-se uma análise às normas utilizadas na construção metalomecânica e a vários trabalhos já existentes que abordam tecnologias de corte e furação. De seguida, foram apresentados todos os perfis e as suas principais utilizações, assim como todas as tecnologias de corte de aço existentes na empresa. Por último, neste capítulo foi dada uma introdução aos temas fundamentais para a elaboração desta ferramenta.

No capítulo 3 analisa-se o funcionamento das áreas da empresa relativas ao corte e furação de perfis. Foi explicado toda a cadeia de processamento ao longo das fases distintas. Para uma maior previsão da ferramenta de orçamentação é importante compreender como se processa a preparação de um perfil e tudo o que se passa dentro das instalações da empresa, assim como os imprevistos mais comuns que atrasam o processo de fabrico e aumentam a imprecisão da ferramenta.

O quarto capítulo trata do processo detalhado e apresentou-se todas as etapas da construção da ferramenta da orçamentação. Aqui foram detalhados os processos para a construção de uma base de dados relativa aos dados de furação e de uma base de dados com os tempos de corte esperados para cada um dos perfis. Foi demonstrado cada detalha da ferramenta e explicado todo o funcionamento.

O quinto capítulo discute como o uso desta ferramenta de orçamentação pode otimizar os processos da empresa, reduzindo o tempo de cotação e aumentando a precisão do orçamento. A ferramenta, intuitiva e fácil de utilizar, garante consistência nos resultados e pode ser utilizada por qualquer funcionário da empresa. De seguida, apresentam-se as principais elações retiradas do tempo passado dentro da empresa e as sugestões de melhoria para otimizar a cadeia de produção da mesma. Foram também deixadas sugestões para a atualização continua da ferramenta de modo a maximizar a sua eficácia e precisão.

Por último, no capítulo 6 foram apresentadas as principais conclusões que foi possível obter ao longo do trabalho e as perspetivas futuras de trabalhos a desempenhar para o correto funcionamento da ferramenta.

2. ESTADO DE ARTE

O presente capítulo tem como propósito apresentar uma revisão bibliográfica dos principais temas, conceitos e ferramentas que contribuíram para auxiliar na concretização desta dissertação.

No caso do corte de perfis de aço, é crucial destacar temas como o tipo de serra utilizada, as diferentes técnicas de corte, as normas, restrições e exigências na construção metalomecânica, assim como os perfis utilizados. Ao longo deste capítulo, serão abordados estes temas.

Segundo Davim (2011) "Em operações de corte por arranque de apara, como o corte de perfis de aço, a velocidade de corte é um dos parâmetros mais críticos a serem considerados. A literatura demonstra consistentemente que o aumento da velocidade de corte está associado a um aumento na taxa de desgaste da ferramenta de corte. Isso é atribuído ao aumento da temperatura na zona de corte, que pode levar à oxidação e ao desgaste químico da ferramenta. Portanto, ao selecionar a velocidade de corte adequada, é essencial considerar um equilíbrio entre maximizar a taxa de remoção de material e minimizar o desgaste da ferramenta, a fim de garantir a eficiência e a qualidade do processo de usinagem." [2]

Isto mostra o desafio do corte de perfis de aço de maneira a otimizar ao máximo o processo, reduzindo o tempo de produção, mas, ao mesmo tempo, reduzindo também os custos de produção.

2.1. CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

A tensão de cedência de um aço representa a tensão máxima que um aço pode suportar até sofrer uma deformação irreversível, designada por deformação plástica. Um aço ao sofrer uma tensão suficientemente alta sofre deformação plástica. Quando um aço sofre uma tensão menor do que a sua tensão de cedência está dentro do seu patamar elástico e consegue voltar à sua forma inicial, não sendo afetadas as suas propriedades. [3][4]

Na figura 2 observa-se um perfil de aço a sofrer deformação plástica durante um ensaio de tração.

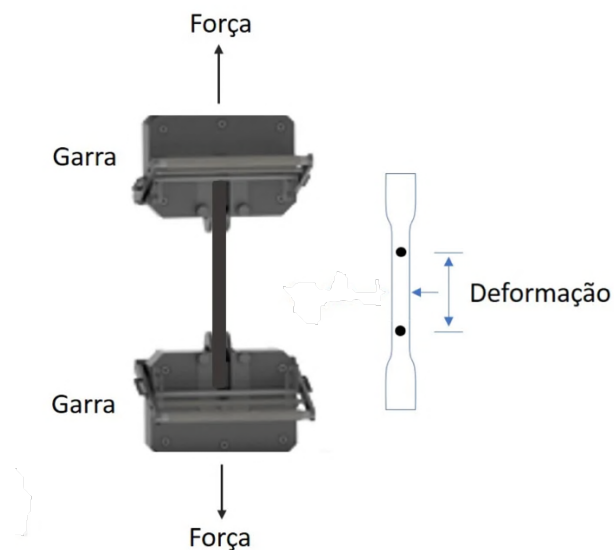


Figura 2 - Ensaio de tração num provete de aço. [4]

O ensaio de tração permite saber as propriedades mecânicas do aço e saber a que esforços este pode ser submetido durante a sua utilização. Os resultados de um ensaio de tração a um determinado aço são apresentados num gráfico que relaciona a tensão submetida ao aço durante o ensaio em função da sua deformação. Estes dados são fundamentais para o dimensionamento de um projeto.

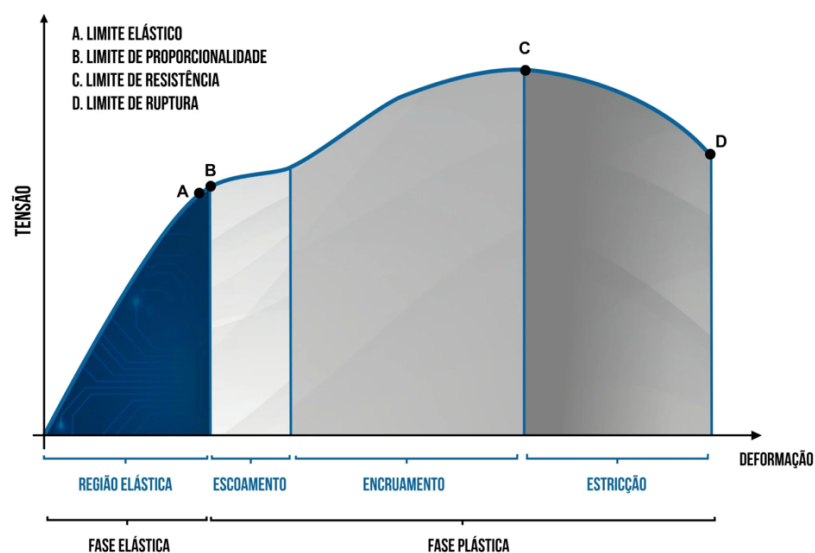


Figura 3 - Gráfico típico de tensão - deformação de um ensaio de tração. [4]

Por outro lado, a tensão última de um aço representa a tensão mais alta aguentada por um aço à tração até se dar a sua rotura quando a realização de um ensaio de tração.

Os perfis utilizados para a construção metalomecânica são fabricados em ligas de aço. São utilizados aços de diferentes qualidades, dependendo da exigência do projeto e dos requisitos da estrutura. A qualidade do aço é apresentada na forma SXXX representando “XXX” a sua tensão de cedência, derivada da sua composição e dos elementos presentes (por exemplo, o aço S275JR corresponde a um aço com uma tensão de cedência de 275 MPa). [5]

Os aços utilizados para construção metálica são regulados pela norma europeia EN 10025 de acordo com as suas propriedades, da utilização a que estarão sujeitos e do ambiente em que serão inseridos. Estes aços tem uma nomenclatura de acordo com as suas propriedades, estando na forma S275JR, sendo este um exemplo de aço bastante utilizado na construção pela sua boa relação propriedades-preço e pelas condições ambientais em Portugal.

A qualidade de um aço, neste caso 275, representa o valor correspondente à sua tensão de cedência, para as espessuras mais finas. Deste modo, de acordo com a norma EN10025, para o aço S275JR com uma espessura de até 16 mm:

$$f_y = 275 \text{ MPa}$$

Dentro de um aço da mesma gama com as mesmas propriedades, a sua tensão de cedência vai descendo à medida que a espessura da peça aumenta.

A tensão última é menos influenciada pela espessura quando comprada com a tensão de cedência, estando definida em intervalos de espessura maiores.

Segundo a norma EN 10025-2, para o mesmo aço apresentado anteriormente com uma espessura até uma espessura de 100 mm a tensão última está compreendida entre 410 e 560 MPa. Para os cálculos, neste caso utiliza-se uma tensão de 460 MPa. Quanto maior a espessura menor será a tensão última, estando os valores tabelados nesta mesma norma. [5]

A norma também apresenta, dentro da mesma classe, aços com propriedades diferentes de acordo com a sua composição química e a temperatura a que estarão sujeitos durante a sua utilização. Isto é apresentado nas letras finais, como S275JR OU S275J2.

A primeira letra correspondente à composição química do aço, neste caso J, e de seguida é apresentada a letra correspondente à temperatura adequada para a sua utilização, neste caso R ou 2. Assim, de acordo com os intervalos de temperatura presentes na norma para que o aço é adequado a ser utilizado, o engenheiro deve fazer uma estimativa das condições atmosféricas durante todo o ano

na zona de construção sabendo a temperatura menor e maior a que o edifício estará sujeito, escolhendo a classe de aço mais indicada. [5]

De acordo com a classe do aço, este tem determinados elementos de liga que fazem com que corresponda a uma determinada dureza. Estes elementos de liga têm de estar obrigatoriamente dentro de um intervalo de tolerância, ditado pela norma EN10025. Quando a empresa compra e recebe um determinado perfil de uma determinada qualidade, este é acompanhado de uma folha em que consta a composição química de elementos de liga do perfil. Uma vez que todos os perfis têm composições químicas ligeiramente diferentes, isto faz com que tenham propriedades e durezas também ligeiramente diferentes, embora estas variações não tenham influência significativa.

2.2. PERFIS ANALISADOS

A qualidade do aço a maquinar tem influência na sua maquinabilidade. A dificuldade em maquinar o aço é ditada principalmente por 3 fatores: dureza, composição química e tratamento térmico.

Dentro da construção metálica em Portugal pode-se dividir os perfis utilizados dentro de dois grupos:

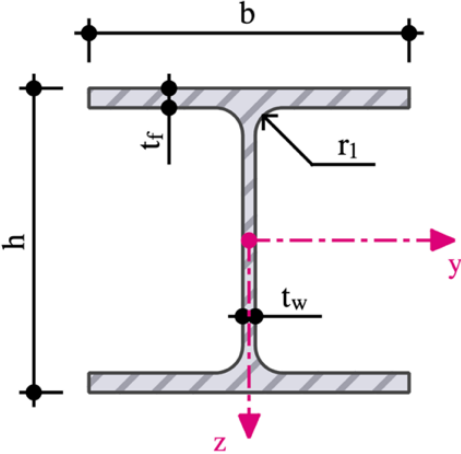
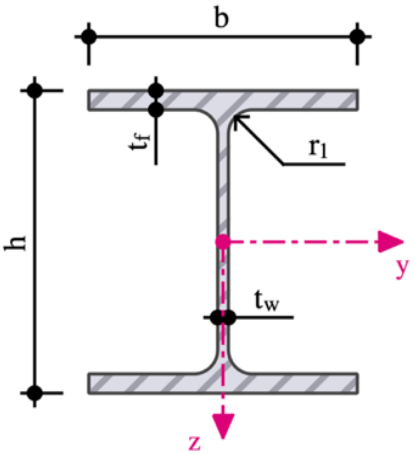
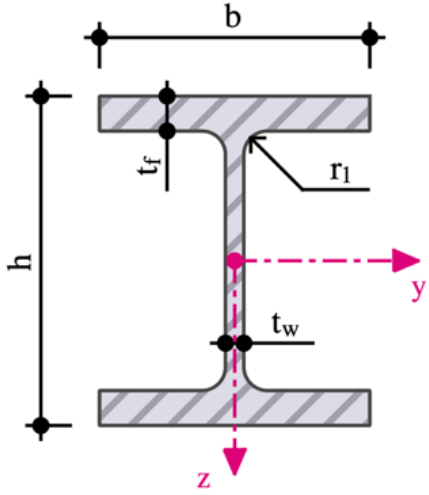
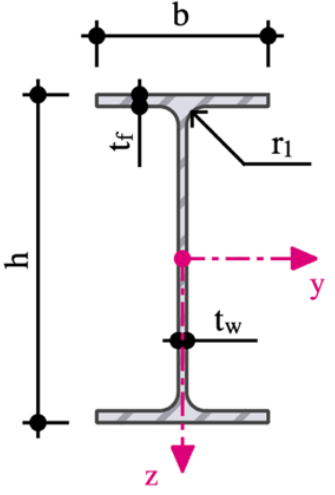
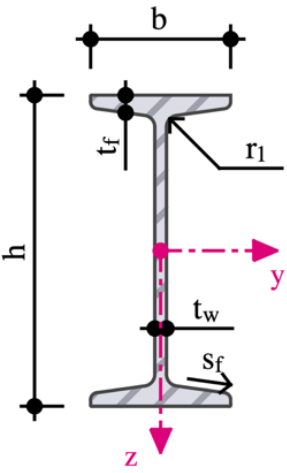
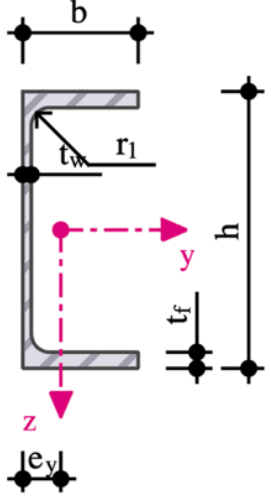
- Perfis Metálicas: HEA, HEB, HEM, IPE, IPN, UPE, UPN E L
- Tubos Metálicos: SHS, RHS, CHS

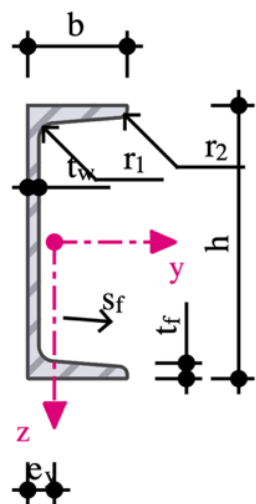
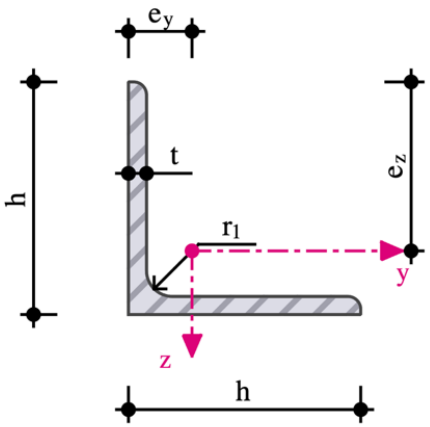
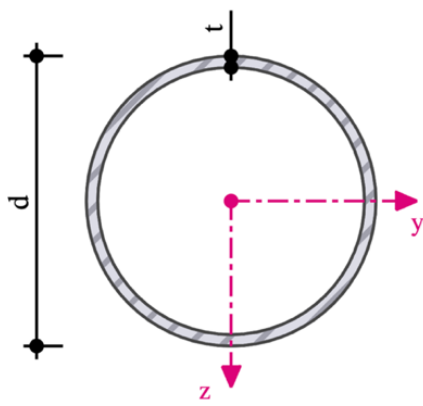
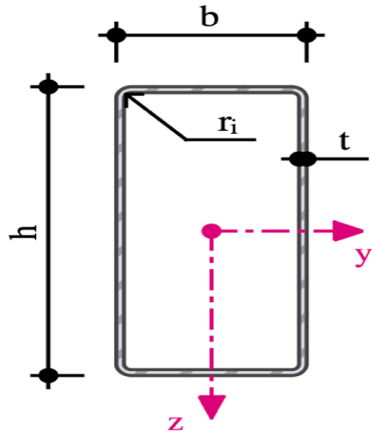
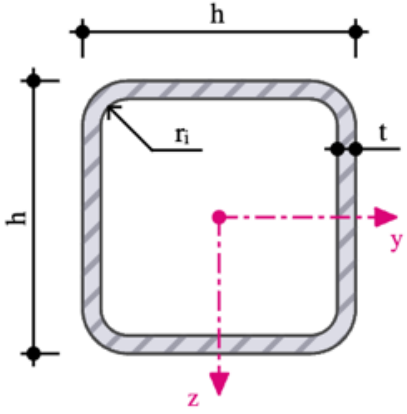
Na maioria dos casos na construção metálica, os perfis metálicos são conformados a quente e os tubos metálicos são conformados a frio. Os tubos metálicos também podem ser conformados a quente sobre encomenda, no entanto, o preço aumenta substancialmente pelo que são muito pouco utilizados.

Nos perfis em H e em I, entende-se por alma a parte central do perfil e por banzo as 2 bases do perfil. Salvo raras exceções, o perfil é cortado com a alma paralela à mesa de corte. Isto acontece por, deste modo, a altura de corte ser menor e a serra ter mais facilidade em cortar o perfil.

Na tabela 1, são apresentados os perfis metálicos em estudo.

Tabela 1 - Perfis analisados. [6]

Perfil	Formato e Dimensões	Perfil	Formato e Dimensões
HEA		HEB	
HEM		IPE	
IPN		UPE	

UPN		L	
CHS		RHS	
SHS			

No dos perfis em H, na União Europeia são comercializados especialmente três tipos, HEA, HEB e HEM. Estes distinguem-se pela sua grossura, sendo o HEA o mais fino e o HEM o mais grosso. As medidas vão deste o 100 até ao 1000. A altura dos perfis HEA E HEB é igual à nomenclatura do perfil (por exemplo, o perfil HEB 160 tem uma altura de 160 mm) e aumenta até 300 mm nos perfis HEA

300 e HEB 300 mantendo-se constante nos 300 mm nos perfis maiores. Nos perfis HEM a altura é ligeiramente superior à nomenclatura, tendo como altura máxima 310 mm no perfil HEM 300.

Os perfis em I são semelhantes aos perfis em H, no entanto, tem uma altura, o comprimento do banzo, menor. Podem ser IPE ou IPN. A diferença está no IPE ter os cantos retos e o IPN ter os cantos interiores arredondados, em rampa.

No caso dos perfis em formato U, também existem em formato UPN e UPE, com as mesmas características dos anteriores.

Em Portugal, os perfis com as bordas retas, IPE e UPE, são mais difíceis de comprar. Por outro lado, os perfis com as bordas arredondadas, IPN e UPN, são mais fáceis de comprar e destacam-se por ter uma melhor resistência à flexão.

Existem também os barões maciços com formato redondo, D, quadrado, SQ, e retangulares, também chamados de varas com nomenclatura FL. No entanto, não serão abordados neste trabalho.

2.2.1. PERFIS CONFORMADOS A QUENTE

Os perfis conformados a quente são amplamente utilizados na construção metálica. O principal facto que faz com que sejam conformados a quente é o seu formato, que torna impossível alcançar a sua geometria enformando a frio. Os perfis utilizados pela Metaloviana que são conformados a quente são: perfis em H (formato HEA, HEB e HEM), perfis em U (UPE e UPN), perfis em I (IPE e IPN) e cantoneiras (L).

Durante o fabrico, os perfis conformados a quente são aquecidos até temperaturas acima da sua temperatura de cristalização e posteriormente são passados por rolos, estampados, extrudidos ou fundidos num molde de modo a atingir a forma desejada. Numa fase inicial, tem-se austenite numa estrutura cristalina cúbica de faces centradas (CFC) e, durante o arrefecimento, muda de fase de modo que a austenite transforma-se em ferrite mais perlite formando assim numa nova estrutura cristalográfica e uma nova microestrutura. Este processo faz com que os perfis tenham grãos mais uniformes e refinados.

Os perfis conformados a quente são mais dúcteis e podem ser usados em aplicações que exigem maior flexibilidade e absorção de impacto.

2.2.2. TUBOS CONFORMADOS A FRIO COM COSTURA

Os perfis conformados a frio apresentam tensões residuais mais elevadas nas zonas em que são maquinados, o que faz com que suportem forças de tração menores quanto comprados com perfis conformados a quente.

Apesar de não sofrerem uma alteração da microestrutura. O processo de deformação plástica provoca um aumento da densidade discordâncias na microestrutura do material o que impede o movimento das deslocções tornando o material mais resistente.

Ao deformar um aço além do limite da zona elástica entramos na zona plástica, onde o perfil não volta às suas propriedades originais, aumentando assim a resistência mecânica nas zonas afetadas.

Assim, quando comparados dois perfis com a mesma composição química e metalúrgica, estes perfis apresentam uma maior resistência mecânica e dureza devido ao processo de fabrico e às mudanças microestruturais que acontecem durante a deformação plástica, uma vez que esta deformação origina o fenómeno de encruamento.

O material final pode ter grãos mais finos ou mais grossos dependendo do processo de arrefecimento e em função de ser mais ou menos deformado plasticamente. Durante o processo de deformação plástica não são formados novos cristais, no entanto, devido ao encruamento os cristais são deslocados e alteram o seu tamanho.

Os perfis fechados com bordas retas, SHS e RHS, são feitos por quinagem enquanto os perfis redondos, de nomenclatura CHS são feitos por perfilagem, partindo de uma chapa e enrolando até obter o diâmetro pretendido.

Os perfis conformados a frio necessitam de ser soldados após atingirem o formato desejado. Na zona do cordão de soldadura, os perfis apresentam propriedades mecânicas e uma microestrutura diferente devido ao tratamento térmico proveniente da união. Ao serem soldados, a zona próxima à zona próxima ao cordão de soldadura e o próprio cordão está sujeita a um aquecimento e arrefecimento brusco, originando um processo de tempera nessa zona que consequentemente aumentando a dureza. Esta união é feita por soldadura a laser, soldadura por resistência ou soldadura por arco elétrico, utilizando o processo MIG-MAR.



Figura 4 – Tubo CHS conformado a frio por perfilagem com cordão de soldadura.

Os perfis que normalmente são conformados a frio, os tubos, podem também ser conformados a quente por encomenda. Isto pode ser necessário em situações específicas em que é necessário um material que estará sujeito a força e tensões superiores durante a sua utilização. Estes perfis só são utilizados em situações muito específicas dado o seu preço superior.

2.2.3. IMPERFEIÇÕES DOS PERFIS

Os perfis comprados pela empresa apresentam algumas imperfeições. Estes podem apresentar defeitos de fabrico em tolerâncias dimensionais, irregularidades superficiais, deformações, descontinuidades internas, variações de composição química, defeitos de soldagem e variações de propriedades mecânicas.

Na Europa, as imperfeições em perfis metálicos são geralmente tabeladas de acordo com as normas da série EN 1090, que tratam da execução de estruturas de aço e alumínio. A EN 1090 consiste em várias partes, sendo a parte 2 (EN 1090-2) específica para a execução de estruturas metálicas. [7]

Estas normas estabelecem os requisitos de qualidade e os critérios de aceitação para a execução de estruturas metálicas, incluindo tolerâncias dimensionais, requisitos de soldagem e inspeção de qualidade.

O perfil pode ter ligeiras imperfeições de acordo com o permitido dentro dos intervalos apresentados nas normas. No caso de um perfil estar bastante torto e ser notável até mesmo a olho nu, a empresa não tem o direito de reclamar caso o perfil esteja dentro das tolerâncias permitidas.

2.3. TECNOLOGIAS DE CORTE DE PERFIS DE AÇO

Na metalomecânica existem diversas tecnologias de corte para o aço, dependendo da peça. A empresa dispõe de máquinas capazes de executar a maioria das metodologias de corte de aço, tanto para perfis como para chapa, sendo cada uma útil em diferentes aplicações.

O corte dos perfis analisados é feito por um serrote de cinta através do arranque de aparta do perfil. Durante o corte de um perfil, há duas variáveis que influenciam o tempo de corte e o desgaste da ferramenta, a velocidade de avanço e a velocidade de corte. A velocidade de avanço corresponde à velocidade de descida na serra no eixo y, apresentada em mm/s enquanto a velocidade de corte corresponde à velocidade de serra no eixo x, apresentada em m/s.

No caso de utilizar uma velocidade de avanço muito baixa, mantendo a velocidade de corte, também irá influenciar a eficiência do corte de maneira negativa. Neste caso, durante o corte, a serra irá realizar um número maior de passagens durante o percurso, já que a velocidade de descida é mais lenta e a velocidade de corte manteve-se igual. O aumento do número de passagens durante o corte irá gerar um desgaste maior na serra diminuindo assim a quantidade de perfis que a serra corta durante a sua vida útil.

Para Senthilkumar & Prabhukarthikeyan (2018) "A velocidade de avanço influencia diretamente a taxa de remoção de material e a geração de calor durante o processo de corte. Uma velocidade de avanço mais alta pode resultar em uma maior taxa de remoção de material, mas também aumenta a temperatura na zona de corte, o que pode afetar a integridade dimensional da peça." [8]

Deste modo, um aumento simultâneo da velocidade de corte e da velocidade de avanço irá diminuir o tempo de corte da peça. No entanto, em peças com uma espessura elevada irá fazer com que a serra parta, encrave por acumular demasiada limalha ou perca o corte devido ao aumento da temperatura na zona de corte. Devido aos custos elevados das serras, esta escolha tem de ser averiguada pelo operador peça a peça de acordo com o perfil.

2.4. FURAÇÃO

Para a furação de perfis de aço são utilizados dois tipos de brocas, as brocas de metal duro e as brocas com pastilha. As brocas de metal duro são feitas num corpo único e normalmente tem um diâmetro mais curto, por norma até 20 mm.



Figura 5 - Broca de metal duro.

A broca com pastilha tem normalmente um diâmetro maior e o arranque da apara é feito pela pastilha e não pelo corpo. Deste modo, o desgaste acontece maioritariamente na pastilha e a broca tem um tempo útil de vida superior.

Uma broca com pastilha de metal duro é uma ferramenta de corte utilizada para perfuração de materiais metálicos, mas diferentemente das brocas convencionais, essa possui 2 partes, o corpo da broca e as pastilhas de metal duro. Essas pastilhas são substituíveis na ponta da broca, que são projetadas para resistir ao desgaste e proporcionar um corte eficiente e preciso por um período prolongado. O corpo da broca tem um custo bastante elevado, no entanto, o seu tempo de vida útil é bastante elevado já que o principal desgaste está na pastilha. Embora inferior, o custo das pastilhas também é considerável, sendo aproximadamente 4 vezes inferior. As pastilhas são trocadas quando partem ou quando ficam gastas e já não conseguem arrancar material. Na figura 6 observa-se o corpo de uma broca helicoidal e o espaço onde se coloca a pastilha de corte.



Figura 6 – Corpo de uma broca helicoidal sem pastilha.

Na figura 7 observa-se a mesma broca, mas com a pastilha colocada. O processo de colocar a pastilha é simples, o operador apenas tem de ter o cuidado de utilizar luvas apropriadas para não se cortar.



Figura 7 – Broca helicoidal com pastilha.

A empresa utiliza brocas de metal duro com diâmetros compreendidos entre 5 mm e 20 mm. No caso das brocas com corpo e pastilha, a empresa utiliza brocas com diâmetros entre os 12 mm e

os 42 mm. Os furos com um diâmetro superior a 42 mm, à semelhança dos furos ovalizados são feitos por fresagem.

2.5. FRESAGEM

A fresagem é um processo de usinagem que permite fazer qualquer geometria no perfil desbastando material da peça até atingir o formato e profundidade desejados, utilizando uma fresa. Visualmente, uma fresa distingue-se de uma broca por ter 4 lâminas ao contrário das 2 lâminas presente numa broca.

Na figura 8 pode-se observar uma fresa nova. Verifica-se que as arestas são bastante afiadas.



Figura 8 - Fresa nova.

A fresagem é igualmente uma técnica vantajosa para a execução de furos, em situações em que estes apresentam formas ovalizadas ou quando os diâmetros exigidos são extremamente elevados, tornando o custo das brocas necessárias excessivamente altos caso existam. Nesses casos, a utilização de brocas torna-se economicamente ineficiente, em comparação com o emprego de uma fresa. Além disso, a fresagem é uma alternativa viável em furos de grandes dimensões em que não existem brocas disponíveis no mercado nas dimensões requeridas. No caso de um furo grande em que exista broca com diâmetro suficiente para o fazer, apesar do custo inferior, a grande desvantagem de fazer o furo

recorrendo a fresagem é o tempo ser muito superior. Em certas situações isto pode-se tornar inviável, como por exemplo no caso do prazo para concluir uma obra estar a chegar ao limite.

A fresagem pode ser feita apenas no perímetro de uma secção ou fresagem por toda a secção. A fresagem feita apenas no perímetro é útil quando o objetivo é remover toda a área de uma determinada forma, poupando assim tempo e minimizando os custos. A fresagem pela secção total deve ser utilizada apenas em que seja pretendido fazer uma geometria na peça que não atravesse toda a espessura da mesma.

Quando uma fresa começa a ficar gasta pode-se ver faísca enquanto está a arrancar material e a zona fresada fica com muitas imperfeições. Na figura 9 pode-se observar uma fresa gasta a realizar um furo redondo.



Figura 9 - Fresa a trabalhar com elevado desgaste.

O desgaste de uma fresa é facilmente observado, como mostrado na figura 10. Ao contrário da fresa nova observada anteriormente na figura 8, as arestas da fresa já estão bastante desgastadas e praticamente redondas.



Figura 10 - Fresa após vida útil.

A acumulação de muita limalha de aço proveniente da fresagem irá também dificultar o corte e desgastar a ferramenta mais rapidamente. Além de dificultar a movimentação da fresa irá ainda impossibilitar a ventilação do processo gerando um aumento da temperatura na zona, provocando um desgaste da ferramenta mais acentuado e um acabamento grosseiro na peça final. Isto pode ser evitado limpando a zona de corte através de ar comprimido.

Todas as máquinas de corte da empresa dispõem de uma pistola de ar comprimido pelo que em fresagens de dimensões maiores o cuidado do operador deve ser reforçado e limpar a zona de corte durante todo o processo. Ao maquinar uma peça com melhor acabamento pode se reduzir o número de etapas de produção da peça final uma vez que não será necessário um serralheiro melhorar o acabamento da peça posteriormente. Na figura 11 observa-se a acumulação do excesso de aparas de corte durante a fresagem-



Figura 11 - Excesso de aparas de aço durante a fresagem.

Quando a fresa está em fim de vida, a extremidade da secção fresada fica com pouca qualidade devido ao desgaste das lâminas e ao aumento de temperatura gerado. Uma secção fresada por uma fresa já gasta fica sempre com um acabamento muito grosseiro e terá obrigatoriamente de ser retificada por um serralheiro antes de ser enviada para uma obra ou para as etapas de produção seguintes.

Devido à alteração das propriedades do aço e da morfologia do seu grão, alteradas pelo corte e pelas variações bruscas da temperatura originadas pela fresagem com uma fresa já gasta, no caso da troca da broca no meio da fresagem de uma secção, não é possível continuar a fresagem com outra ferramenta, mesmo com uma rebarbadora. Tal acontecimento deve-se ao aumento brusco da dureza do material em torno da zona de corte, derivado do processo de tempera devido às variações muito bruscas de temperatura.

Neste caso, deve ser feito o corte numa secção maior do que a pretendida, realizar enchimento de material, por exemplo com material de solda, e voltar a cortar com as dimensões pretendidas. Este processo não irá provocar alterações significativas nas propriedades mecânicas da peça final.

Na figura 12 pode-se observar um caso em que a fresa deixou de conseguir arrancar material durante o processo e o mesmo teve de ser interrompido. Também pode ser observada a sequência do

processo de fresagem. Inicialmente foi feito um furo utilizando uma broca e seguidamente a máquina começou a arrancar material com a fresa.



Figura 12 - Furo começado por uma fresa que perdeu a capacidade de arrancar aparta.

No caso de ser necessário parar a fresagem a meio do processo também não é possível continuar tendo de fazer o mesmo que no caso anterior. Isto acontece devido ao tratamento térmico gerado no perfil através do aquecimento e arrefecimento bruscos.

No decorrer do processo de preparação de um perfil, a fresagem permite alcançar a geometria desejada no perfil através do arranco de aparta. A fresagem é feita por uma fresa existindo vários tamanhos. A empresa utiliza fresas com diâmetros compreendidos entre os 6 mm e os 18 mm. Quanto maior for o diâmetro da fresa, mais rápida será a operação.

As medidas das fresas são apresentadas na forma “Fresa Metal Duro p/aço 12x38 mm c/ faceta”. Esta medida significa que a fresa tem um diâmetro de 12 mm e um comprimento de 38 mm na sua zona de corte.



Figura 13 - Fotografia com escala da fresa “Fresa Metal Duro p/aço 12x38 mm c/ faceta”.

2.6. CERTIFICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO METALOMECÂNICA

Dado o elevado rigor da empresa, esta consta com alguns certificados de conformidade importantes na área da construção metalomecânica.

2.6.1. CERTIFICAÇÃO ISO

A certificação ISO é um indicador muito importante inerente à qualidade de uma determinada empresa. Com ela, a empresa demonstra que esta certificada, transmitindo seriedade e credibilidade ao cliente. No âmbito da construção mecânica, é obrigatório uma empresa estar certificada para construir edifícios com estrutura em aço de forma legal. [9]

A Certificação ISO é um dos mais importantes indicadores de qualidade de uma empresa para o mercado. O motivo para isso é que, com ela, a empresa confirma o seu compromisso com as melhores práticas em seus processos internos de produção. Logo, transmite mais credibilidade para o mercado. [9]

A sigla ISO provem do inglês “*International Organization for Standardization*”. Estas certificações correspondem, deste modo, a medidas que visam estabelecer métricas e indicadores de qualidade que devem ser seguidos com rigor internacionalmente.

A Certificação consiste em um processo de avaliação das empresas em relação a essas normas. Assim, serve para atestar se estas estão seguindo os padrões internacionais de qualidade e atuação.

2.6.2. NORMA 1090

A norma 1090 é a norma da União Europeia que regula a construção e montagem de estruturas de aço e alumínio, fazendo dela a mais importante na construção de estruturas metálicas para edifícios. Os parâmetros correspondentes às restrições para a execução de estruturas metálicas são impostos principalmente por esta norma. No caso das estruturas metálicas, as restrições e requisitos técnicos para a sua execução são impostos pela EN1090-2. [7][10]

A norma EN 1090 deve ser seguida em todas as etapas de produção de modo a controlar todo o processo de fabrico de construção metálica. O objetivo desta norma é estabelecer os requisitos mínimos que devem ser cumpridos por todos os fabricantes de estruturas metálicas. A norma apresenta também as normativas de receção e as normativas de dimensões relativos aos perfis de aço. Aqui são ditadas as dimensões e as tolerâncias dimensionais permitidas em cada perfil. [7][10]

Esta norma é essencial para garantir a segurança e a qualidade das estruturas de aço e alumínio na construção, desde edifícios residenciais e comerciais até pontes e infraestruturas industriais.

De acordo com a norma, as empresas devem manter a documentação técnica completa e precisa referente todas as etapas do processo de fabricação, desde a projeção inicial até a montagem final da estrutura na obra. Isso inclui desenhos, especificações de materiais, procedimentos de soldagem, relatórios de inspeção, entre outros. [7]

Para que as estruturas estejam de acordo com a norma a empresa deve consultar e cumprir os requisitos de solagem exigidos, implementar medidas de controlo de qualidade em todas as etapas da cadeia de produção e devem ainda montar e submeter as estruturas a testes de conformidade para garantir que atendem aos requisitos especificados na norma. Isso pode incluir testes de resistência, ensaios não destrutivos, testes de corrosão, entre outros. [7][10]

Requisitos de Soldadura: A norma em questão define critérios rigorosos para os processos de soldadura, abrangendo a qualificação dos soldadores, os procedimentos operacionais para a execução das soldas e as exigências para a inspeção das juntas soldadas. Estes requisitos são essenciais para assegurar a integridade estrutural das peças que serão submetidas a esforços mecânicos. [7][10]

Revestimentos Protetores: Se a estrutura requerer revestimentos protetores para resistir à corrosão, a EN 1090-2 especifica os requisitos para a preparação da superfície, aplicação e inspeção desses revestimentos. [7][10]

Montagem e Instalação: Esta parte da norma aborda os requisitos para a montagem e instalação das estruturas de aço, incluindo critérios de fixação, tolerâncias de montagem e procedimentos de inspeção final. [7][10]

Controlo de Produção em Fábrica: As empresas devem implementar medidas de controlo de qualidade durante todo o processo de fabricação, desde a receção dos materiais até à expedição dos produtos acabados. Isso inclui controlos de qualidade durante todas as etapas do processo, desde o corte à montagem. [7][10]

Testes de Produto: Antes da entrega, as estruturas devem ser submetidas a testes de conformidade de acordo com os requisitos do projeto para garantir que atendem aos requisitos especificados na norma. Isso pode incluir testes de resistência, ensaios não destrutivos, testes de corrosão, entre outros. [7][10]

Ambas as normas, EN 1090 e EN 1090-2, são cruciais para garantir que as estruturas de aço e alumínio estejam de acordo com os padrões de qualidade e segurança, desde a concepção até à montagem final. As normas são aplicadas em toda a cadeia do processo, a fabricantes, empreiteiros e todos os envolvidos na cadeia de produção e construção das estruturas. [7]

Apenas as empresas que cumprem estes requisitos e estão certificadas são autorizadas para fazer a construção de edifícios utilizando estruturas metálicas.

2.6.3. MARCAÇÃO CE

A EN 1090 exige que as empresas fabricantes de estruturas em aço tenham um sistema de gestão da qualidade implementado, de acordo com as normas ISO 9001 ou equivalente. O cumprimento dos requisitos presentes nesta norma é crucial para a empresa obter a marcação CE. [11]



Figura 14 - Logótipo da marcação CE. [11]

Os produtos de construção metálica estão sujeitos ao Regulamento Europeu dos Produtos de Construção. Isso implica que todos os produtos de construção abrangidos por uma norma harmonizada europeia devem obrigatoriamente possuir a marcação CE. Entre essas normas, destaca-se a norma EN 1090 para construções em aço. [10][12]

A Marcação CE é um processo pelo qual a empresa declara que o produto em questão está de acordo com as regras para ser comercializado na União Europeia e no Espaço Económico Europeu. O termo "CE" é uma abreviação do termo francês *"Conformité Européenne"*, que significa "Conformidade Europeia" em português. [11]

De modo que uma empresa esteja apta para fazer construções metálicas, a empresa necessita de comprar e cumprir o euro código para a estar de acordo com os requisitos.

Para uma empresa do ramo da metalomecânica ter autorização de projetar e realizar projetos de construção e ter a marcação CE tem de ser auditada e cumprir todas as restrições presentes na norma 1090. Os edifícios têm de ser sempre construídos de acordo com as restrições apresentadas nesta norma. Dentro desta norma, existem 4 classes de edifícios, sendo a classe 4 a mais alta. Estas classes representam o sobredimensionamento das estruturas de modo a estarem preparadas para todas as situações. No caso da classe 4 encontram-se edifícios com os hospitais. O objetivo de a classe ser tão elevada para estas construções passa por no caso de alguma catástrofe como tremores de terra, tentar que os edifícios mais importantes subsistam e continuem operacionais. [7][10][11]

Dependendo da classe de execução vai se comprar mais ou menos requisitos, quando maior a classe maior é o rigor e estas especificações estão apresentadas no contrato com cliente.

3. ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUÇÃO

3.1. PLANEAMENTO DA OBRA

Aqui serão detalhadas todas as etapas feitas pela empresa após fechar contrato de um determinado projeto.

3.1.1. PROJETO

A obra é projetada pelos engenheiros da empresa de acordo com os requisitos do cliente. Os projetistas e o departamento do controlo da qualidade certificam-se de que o projeto se encontra em conformidade com o pretendido pelo cliente.

Em algumas obras, a empresa recebe o projeto já concluído por parte do cliente e apenas é responsável pela parte do fabrico e montagem. Isto acontece normalmente em obras de grandes dimensões.

Após ter a listagem de peças do projeto, o projeto é dividido em vários planos de trabalho de produção (PTP) de acordo com a melhor sequência de fabrico. Os PTP contêm todas as peças da obra e toda a sequência da produção, como o corte, soldadura, pintura, montagem e desenhos técnicos, de peças e conjuntos.

3.1.2. ENCOMENDAR E RECEBER MATÉRIAS-PRIMAS

Após a projeção estar concluída, é feita uma listagem de todas as peças finais que serão necessárias para o projeto.

De seguida, a empresa utiliza o *software Janus Steel* para calcular o número de perfis necessários. Por exemplo, no caso de uma obra necessitar de 5 peças HEB com um comprimento de 2 metros, a empresa precisará de comprar um perfil HEB com um comprimento total de 10 metros. Uma vez que os perfis são produzidos com algumas imperfeições são sempre produzidos com uma ligeira margem no comprimento de modo que as extremidades possam ser aparadas sem perder o comprimento esperado. Assim, um perfil de 16 metros chegará à empresa com 16 metros e alguns centímetros, tendo normalmente mais 10 a 20 centímetros de comprimento.

A empresa utiliza maioritariamente perfis de comprimento tabelado dado o seu custo e tempo de entrega inferiores, medindo estes 6, 8, 10, 12, 14 e 16 metros. Excecionalmente e para projetos

específicos, poderá ser necessário encomendar perfis com outras medidas, no entanto, o preço destes perfis será superior e o tempo de produção será superior.

Após serem calculados todos os perfis necessários para a realização da obra, a empresa irá encomendá-los, tendo normalmente um prazo de entrega de alguns dias, dependendo do stock do fornecedor. Os perfis são comprados a uma média de 0,80 €/kg, dependendo do perfil, da composição e da disponibilidade do fornecedor.

Quando se corta uma peça por vezes sobram restos de perfis com medidas consideráveis, por vezes com alguns metros. Estas peças são reaproveitadas para futuros projetos sendo guardadas em armazém e entrando para o stock da empresa. Uma vez que o aço é um material infinitamente reciclável, as sobras dos cortes dos perfis que não conseguem ser aproveitadas para outras obras também têm um valor comercial, sendo posteriormente vendidas semanalmente à sucata por 0,30€/kg.

Os perfis são descarregados pela empresa transportadora no respetivo polo de acordo com as preparações de corte. Os perfis são descarregados no edifício onde serão cortados de modo a facilitar a logística.

3.2. MÁQUINAS DE CORTE EM ESTUDO

Dependendo da máquina utilizada para cortar uma determinada peça, o custo final do corte será diferente. O tempo de corte também será diferente, pelo que, poderá ser vantajoso cortar determinadas peças em determinadas máquinas. Foram estudadas duas máquinas diferentes mais um serrote utilizado, neste caso de estudo, para fazer os ângulos que não são compatíveis com os furos.

Por norma, as peças sem furos que apenas necessitam de ser cortadas são cortadas no serrote FAT presente no polo 1. Caso necessite de fresagem terá de ser cortada no polo 3, uma vez que esta é a única máquina capaz desta função. As peças que apenas tenham cortes e furos serão divididas entre a MCP1 e a MCP3 dependendo da disponibilidade de espaço.

A empresa dispõe de outros serrotes mais pequenos e antigos, no entanto são pouco utilizados. Deste modo, a empresa constatou que a análise a esses não era relevante.

3.2.1. MCP1: KALTENBACH KDS 615 + KALTENBACH KBS 750, POLO 1

A máquina de corte no polo 1 (MCP1), de modelo permitir cortar peças com ângulos até 60°. Permite também fazer furos em 3 direções diferentes com diâmetros entre até 40 mm. Caso se pretenda, é possível fazer diâmetros superiores a 40 mm colocando no software da máquina que o furo tem um diâmetro de 40 mm e colocar uma broca na máquina com o diâmetro pretendido. Esta máquina utiliza uma serra de cinta de 6990 mm.

A máquina KALTENBACH KDS 615 é a responsável pela furação enquanto a máquina KALTENBACH KBS 750 é responsável pelo corte. Estas máquinas funcionam em conjunto como apenas uma máquina.

Dentro do polo 1, apesar de existirem outros serrotes, este é o serrote escolhido para as peças que necessitam de furos uma vez que torna o processo mais rápido e eficiente por ser automático.

Esta máquina é automática, sendo controlada por Controlo Numérico por Computador (CNC). Os operadores recebem o ficheiro CNC gerado pelos projetistas através do software *Tekla* e passam as informações para a máquina, fazendo as alterações necessárias. Quando a peça contém um ângulo que é incompatível com os furos da peça a peça terá de ser cortada com um ângulo de 0° e posteriormente fazer o ângulo. Quando se dá uma situação destas, este ângulo final é feito manualmente no serrote FAT presente também no Polo 1 para tornar o processo mais eficiente.

Esta máquina permite regular a velocidade de descida da serra de forma manual, não indicando a velocidade a que a serra desce. Esta pode ser controlada através do manipulador giratório apresentado na figura 15.



Figura 15 – Manipulo para controlar a velocidade de descida da serra.

Na maioria dos perfis, a velocidade é marcada alinhando as duas linhas marcadas a caneta já que é a velocidade de corte mais equilibrada. Normalmente, em perfis muito grandes ou perfis muito pequenos a velocidade de corte é alterada para atender melhor as necessidades.



Figura 16 – Duas linhas que indicam a velocidade ideal para a maioria dos perfis.

3.2.2. MCP3: KALTENBACH KDP 1036 + KALTENBACH KBS 1051 DG, POLO 3

A máquina de corte do polo 3, comprada em 2022, é a máquina de corte de perfis mais avançada presente pela Metaloviana.

A máquina KALTENBACH KDP 1036 é responsável pela furação, enquanto a KALTENBACH KBS 1051 DG realiza o corte. Ambas operam de forma integrada, funcionando como uma única unidade.

Sendo da mesma marca, é uma máquina semelhante à do polo 1, contudo, sendo mais recente, é melhor, mais rápida e mais eficiente em todos os aspetos. Destaca-se por ser mais rápida no corte, na furação e na movimentação, além de ser capaz de fazer fresagem. Esta máquina permite também fazer ângulos até 60°.

Ao realizar o corte de um perfil, ambas as máquinas colocam a serra com um ligeiro ângulo em relação ao eixo horizontal. Este fenómeno facilita o corte quando a serra está a cortar a zona da alma, já que deste modo a serra passa menos tempo a cortar na zona do perfil de maior dimensão. O ângulo de ataque pode ser visto na figura 17.



Figura 17 - Ângulo de ataque da serra de corte.

3.2.3. SERROTE FAT

Este serrote encontra-se no polo 1 e é a máquina de corte mais antiga deste polo. O seu funcionamento é unicamente manual e não permite fazer furação.

Este é utilizado para peças sem furos e permite também cortar os perfis maiores. Quando comparado com os outros dois serrotes da KALTENBACH o tempo de corte é superior.

Os perfis têm de ser postos um a um no tapete de corte, o que torna o processo mais lento quando comparado com as outras máquinas de corte.

Este serrote é utilizado para fazer o ângulo nas peças inicialmente cortadas na MCP1 em que o ângulo não é compatível com a furação da peça e necessita de ser feito à parte.

Neste serrote todas as medidas são feitas manualmente utilizando uma fita métrica. Ao fazer as medições de forma manual a margem de erro é maior e a probabilidade de existir algum erro também aumenta substancialmente.



Figura 18 - Serrote FAT a cortar um perfil CHS.

3.3. ETIQUETAGEM

A Metaloviana recebe semanalmente vários camiões com diferentes perfis para diferentes obras. Após serem recebidos e arrumados no lugar pretendido, os perfis são etiquetados para serem facilmente reconhecidos e rastreados.

A etiqueta contém todas as informações acerca do perfil como: tipo de perfil, tipo de aço, o peso do perfil, a obra em que será utilizado e a quantidade em stock. Na figura 19 temos presente um exemplo de uma etiqueta colocada num perfil.

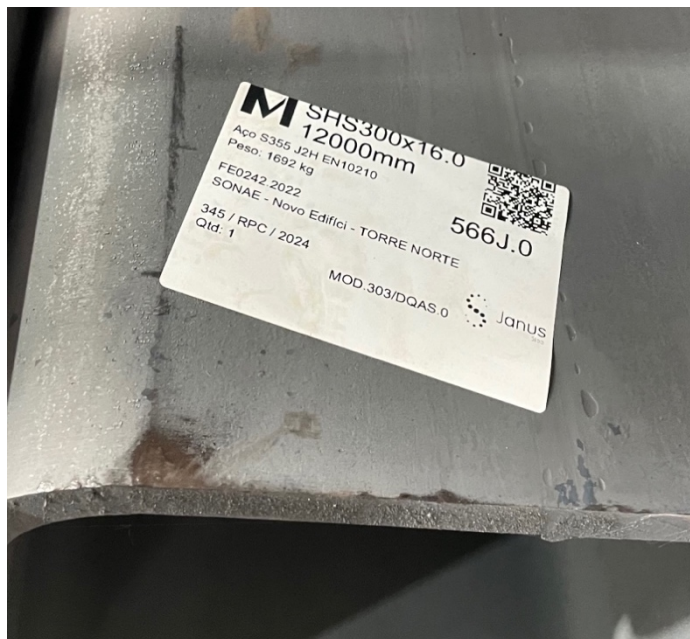


Figura 19 - Etiqueta de um perfil SHS com todas as informações do mesmo.

O código QR no canto superior direito da etiqueta permite que o operador das máquinas de corte saiba ao certo o perfil a utilizar para um determinado plano de corte e a sua localização no armazém. Esta informação chega ao operador através das folhas referentes ao plano de corte. O código QR presente na PTP será o mesmo que está presente no autocolante do perfil. Na figura 20 temos presente uma secção de um PTP, em que o operador deve scanear o código QR para ir buscar o perfil certo ao armazém.

Pattern 8		Tamanho: 12000mm	
Repetições: 1x		Utilização: 97.55% (2.45%)	
SHS120x6.0 - S355J2H (Stock 9841.3)			
Part	L (mm)	X-coord	
FE0152.2022 240.TB.28	1951	1951	
FE0152.2022 240.TB.28	1951	3905	
FE0152.2022 240.TB.28	1951	5859	
FE0152.2022 240.TB.28	1951	7813	
FE0152.2022 240.TB.28	1951	9767	
FE0152.2022 240.TB.28	1951	11721	

Figura 20 - PTP de um perfil SHS com *QR code* para o operador localizar o perfil.

3.4. MAQUINAGEM DE PERFIS DE AÇO

Existem várias etapas relativas ao corte e à preparação de um perfil. Depois de um perfil ser cortado e furado, passará para as etapas seguintes, como a solda, o tratamento da superfície e pintura.

Os perfis são escolhidos para serem cortados numa determinada máquina dependendo das características da peça. Por norma, as peças sem furos que apenas necessitam de ser cortadas são cortadas nos serrotes mais pequenos presentes no polo 1. Caso necessite de fresagem terá de ser cortada no polo 3, uma vez que esta é a única máquina capaz desta função. As peças que apenas tenham cortes e furos serão divididas entre as MCP1 e MCP3 da disponibilidade de espaço e organização.

3.4.1. PLANOS DE TRABALHO DE PRODUÇÃO (PTP)

Dentro de cada projeto, de acordo com a listagem das peças são criados plano de trabalho de produção com as etapas de fabrico correspondentes. Um PTP corresponde a um conjunto de operações a realizar pelos operadores das máquinas com as etapas necessárias até atingir a peça final. Estes planos são gerados automaticamente sendo posteriormente entregues aos operadores. São apresentados por *patterns*, correspondendo cada *pattern* ao corte de um determinado perfil inteiro. Um padrão pode ser repetido várias vezes no caso de haver a necessidade de fazer várias peças iguais. Os PTP contam com informações como a referência da peça, o número de repetições de cada padrão, o comprimento e o desenho técnico de todas as peças presentes. Cada *pattern* corresponde às operações de maquinagem, corte furação e fresagem, relativas a um perfil inteiro, originando várias peças no final. O *pattern* corresponde as operações de maquinagem de modo a obter as peças finais listadas no PTP.

Uma peça é apresentada internamente, por exemplo, na forma “FE0242.2022 - PTP 203.R0 – *Pattern 3* – LP203002”. Esta designação interna corresponde a:

- FE0242.2022 – Designação da obra;
- PTP 203.R0 – Número do plano de trabalho de produção;
- *Pattern 3* – *Pattern* correspondente às etapas do fabrico de determinadas peças. Uma PTP tem vários *patterns*, cada um originando peças diferentes;
- LP203002 – referência da peça. Cada peça tem a sua própria referência que é marcada a caneta ou por fresagem.

Para uma peça existem duas designações, LP e S. LP significa “Loose Part” e é utilizado quando a peça não necessita de montagem e vai para a obra após ser maquinada. Por outro lado, S é utilizado quando dentro de uma PTP existem vários *pattern*, correspondendo cada um a uma sequência de etapas para produzir determinadas peças finais partindo de um perfil inteiro. Um *pattern* pode original

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

apenas uma peça ou dezenas, caso o comprimento das mesmas seja muito pequeno. O mesmo *pattern* pode ter várias repetições no caso de existirem várias peças iguais. Na figura 21 observa-se dois *patterns* dentro de uma PTP cada um com duas repetições.

BERD Projecto Investigação e Engenharia de Pontes SA
FE0152.2022
Atrilamento móvel - BERD-Project
Página 12/13
19/3/2024

Tamanho: 12000mm
Utilização: 99.19% (0.81%)

SHS120x6.0 - S355J2H (Stock 9841.3)

Part	L (mm)	X-coord
FE0152.2022 240.TB.28	1951	1951
FE0152.2022 240.TB.28	1951	3905
FE0152.2022 240.TB.28	1951	5859
FE0152.2022 240.TB.28	1951	7813
FE0152.2022 240.TB.28	1951	9767
FE0152.2022 240.TB.44	774	10544
FE0152.2022 240.TB.45	687	11234
FE0152.2022 240.TB.45	687	11924

Pattern 8
Repetições: 1x

Tamanho: 12000mm
Utilização: 97.55% (2.45%)

SHS120x6.0 - S355J2H (Stock 9841.3)

Part	L (mm)	X-coord
FE0152.2022 240.TB.28	1951	1951
FE0152.2022 240.TB.28	1951	3905
FE0152.2022 240.TB.28	1951	5859
FE0152.2022 240.TB.28	1951	7813
FE0152.2022 240.TB.28	1951	9767
FE0152.2022 240.TB.28	1951	11721

Figura 21 - Plano de Trabalhos de Produção (PTP).

Posteriormente, através do plano de corte, o operador necessita de preparar os ficheiros de CNC de acordo com as informações da peça. De seguida, é a máquina que faz todo processo, começando o corte numa ponta e vai empurrando o perfil de acordo com as informações no ficheiro de CNC, realizando todas as etapas de forma automática.

Por outro lado, no caso dos serrotes manuais mais pequenos, os operadores recebem os PTP tendo de fazer todas as etapas manualmente, como a colocação do perfil no plano de corte, medição do perfil, medição do ângulo de corte e ligar o serrote.

3.4.2. PREPARAÇÃO DO CORTE

De modo a realizar um determinado plano de corte, como primeira etapa o operador deve colocar os perfis necessários para o trabalho no tapete lateral localizado na parte inicial da máquina.

O facto de os operadores das máquinas precisarem de utilizar a ponte para colocar as peças no tabuleiro de corte é um fator limitante. Apesar de uma das gruas presentes no Polo 1 do complexo ser maioritariamente utilizada apenas pelos operadores dos serrotes, por vezes é necessário esperar alguns minutos para conseguir carregar o perfil devido à mesma estar ocupada. Isto é limitante uma

vez que para maximizar a eficiência de corte e baixar o custo de corte a máquina deve trabalhar o número máximo de horas possível.

No caso do polo 3 das instalações, a maioria do trabalho está a ser realizado durante a noite dada a dificuldade da utilização da ponte durante o dia, uma vez que de momento esse pavilhão ainda dispõe de apenas uma unidade. Como esse polo dispõe de várias máquinas de corte e outros processos que necessitam do uso recorrente da ponte, a empresa optou por passar o corte de perfis para o turno da noite.

Por norma, quanto maior e mais pesada for a peça, maior será o tempo necessário para os operadores colocarem as peças nos tapetes. O operador pode colocar várias peças no tapete lateral inicial de uma só vez e depois passá-las para o corredor de corte à medida que o plano de trabalhos vai avançando, sem necessitar de recorrer à ponte. Ao fazer isto o operador torna o processo mais eficiente e diminui o tempo do processo. Tendo várias peças no tapete lateral o operador pode ir passando os perfis um a um até ao corredor de corte, onde são a partir daqui empurradas com o propulsor. Para fazer isto não precisa de utilizar a ponte, o que torna o processo muito mais rápido e eficiente.



Figura 22 - Ponte utilizada para movimentar as peças dentro do armazém.

3.4.3. CORTE DE PERFIS

As máquinas KALTENBACH de corte automático colocam o ângulo sozinhas de acordo com a informação contida no ficheiro de corte. Foi possível verificar que o ângulo de corte não tem uma influência significativa no tempo de corte. Embora se espere que um corte com um determinado ângulo seja mais longo, a área de secção é semelhante e a altura do perfil mantêm-se a mesma. Existiram casos em que esse tempo chegou mesmo a ser inferior quando comparado um corte com um ângulo de 0° . Isto acontece devido à variação normal do tempo entre cortes derivado de inúmeros fatores que não estão relacionados com o ângulo.

O tempo do corte de uma peça com um ângulo poderá ser maior quando comparado com uma peça sem ângulo quando este implica que a peça seja cortada com orientação vertical. Já que o tempo de corte depende da altura da peça, o aumento da altura do corte proporcionado por colocar o perfil na vertical vai aumentar o tempo do corte.



Figura 23 - Peça final em que o ângulo não é compatível com o corte.

A única maneira de contornar estas situações é evitar que o ângulo das peças tenha de ser feito desta maneira durante a projeção da obra.

Quando a direção do ângulo pretendido na peça e a furação do perfil não são compatíveis, a peça tem de ser cortada com um ângulo de 0° quando são feitos os furos. De seguida, a peça é cortada novamente de modo a fazer os ângulos desejados, neste caso, tendo de colocar o perfil

levantado na vertical. Nesta situação o corte e a furação não são compatíveis quando, ao colocar o perfil na vertical, o perfil tem furos na face que fica apoiada na mesa de trabalho da máquina de corte.

O fator principal que influencia o tempo de corte de um perfil é a velocidade de avanço da serra no eixo y. Quanto maior a velocidade de descida da serra menor será o tempo de corte. Apesar da velocidade de descida da serra ser um valor linear apresentado em mm/min, não é possível fazer uma associação linear já que o tempo de corte é sempre superior ao esperado fazendo uma relação direta. O outro fator é a velocidade de corte que representa a velocidade da serra em rotação. É apresentada em m/min.

Pela tabela 2, é possível comparar o tempo de corte de acordo com o esperado pela velocidade de avanço e o tempo de corte real. Os dados apresentados correspondem à MCP3, uma vez que esta é a única máquina que apresenta um valor real para a velocidade de avanço.

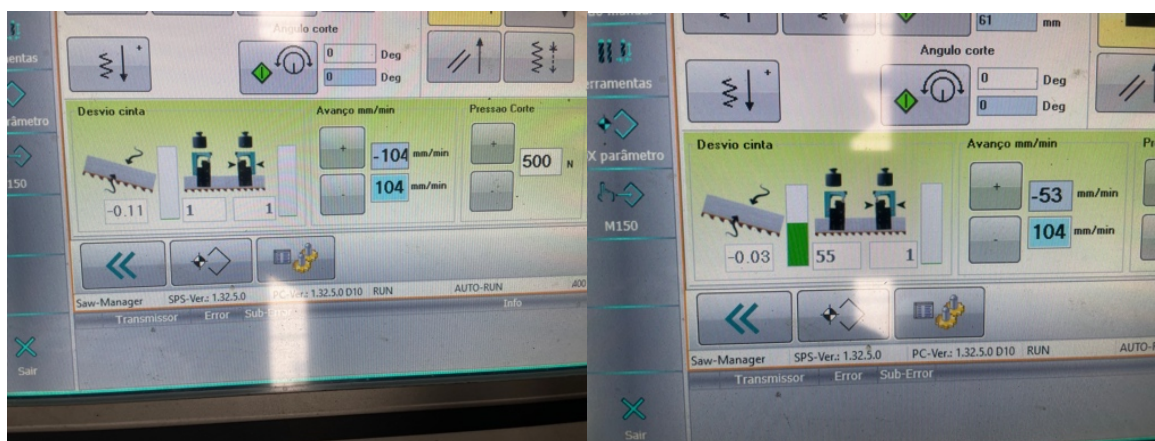
Tabela 2 - Comparação do tempo de corte esperado para o tempo de corte real.

Perfil	Altura (mm)	Velocidade de descida (mm/min)	Tempo de corte esperado (s)	Tempo de corte real (s)	Relação
SHS 300 x 10	300	101	178,2	227	0,78
SHS 300 x 8	300	101	178,2	226	0,79
IPE 160	82	150	32,8	48	0,68
IPE 160	82	100	49,2	68	0,68
IPE 160	82	95	51,8	70	0,74

A discrepância entre o tempo obtido ao relacionar a velocidade de descida e o tempo real deve-se à descida automática da velocidade de descida nas zonas mais espessas dos perfis. No caso de um perfil em H ou I, na zona da alma a velocidade de descida desce drasticamente dada a dificuldade da máquina cortar uma zona tão espessa. Este fenómeno acontece automaticamente e não pode ser controlado pelo operador. Dependendo da espessura da alma do perfil e da dificuldade em o cortar a velocidade de avanço pode diminuir pouco ou chegar mesmo a perto de 0 mm/min. Assim, quanto

maior for a alma de um perfil maior será a diferença para o tempo calculado ao relacionar apenas a velocidade de avanço.

No caso presente na figura 24, correspondendo ao corte de um perfil IPE 270, apesar da velocidade de avanço ser colocada em 104 mm/min, quando a serra começa a cortar a alma, a velocidade de avanço diminui substancialmente, passando de imediato aproximadamente para metade.



(a)

(b)

Figura 24 – Painel da máquina - (a) velocidade de descida da serra inicialmente; (b) velocidade de descida da serra no momento em que começa a cortar a alma

De modo a averiguar a influência no aumento da velocidade de avanço e da velocidade de corte da serra, foram feitos alguns testes variando estas velocidades para averiguar a sua influência na velocidade do corte. Estes testes foram feitos num perfil IPE 270. Este perfil tem uma altura de 135 mm e foi cortado deitado, na orientação apresentada na figura 25.

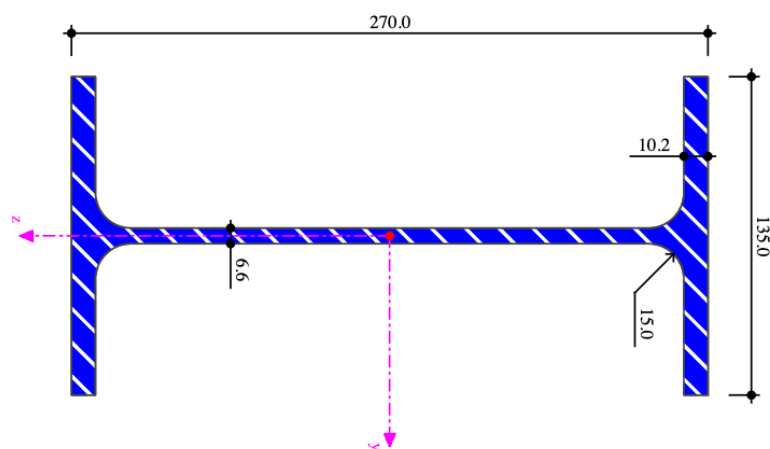


Figura 25 - Medidas do perfil IPE 270. [14]

De acordo com a máquina, esta começa a cortar a peça a uma altura de 144 mm, ou seja, cerca de 9 mm acima do perfil. Na figura 26 verifica-se a altura onde a máquina inicia o corte.

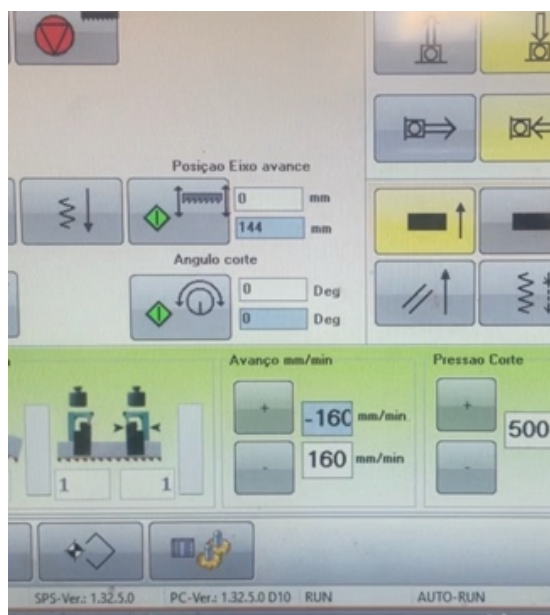


Figura 26 – Painel da máquina - Altura em que o corte inicia.

De acordo com a posição no eixo y da serra de corte, a variação da velocidade de corte no banzo dá-se entre a coordenada 64 e 52, em milímetros. Deste modo, a variação da velocidade dá-se em 12 milímetros embora a alma do perfil tenha apenas 6,6 mm. Isto deve-se à inclinação da serra referida anteriormente. O valor mínimo corresponde a um avanço de 0 mm/min na coordenada $y = 56$ mm.

Verificou-se ainda que a velocidade de corte da serra influencia o tempo de corte na alma, apesar de não ter influência no tempo de corte das partes mais finas da peça. Mantendo a velocidade de descida, aumentar a velocidade de corte da serra vai permitir cortar mais rápido a alma do perfil. No entanto, a diferença é quase insignificante e causa um desgaste muito maior da serra, devido ao aumento no número de passagens que a serra faz e ao aumento da temperatura. Como o preço de uma serra é bastante elevado e a diferença acaba por não trazer uma vantagem significativa para a empresa.

Por outro lado, não é eficiente cortar todos os perfis com a mesma velocidade de descida. Apesar da maior parte do tempo a velocidade de descida da serra ser deixada entre 100 e 120 mm/min pelos operadores, é necessário diminuir a mesma em peças com uma espessura muito grande ou após trocar a serra para deixar a mesma fazer a rodagem. Utilizar uma velocidade de corte demasiado rápida para peças com uma elevada espessura irá fazer um corte com um acabamento

grosseiro e reduzir drasticamente a vida útil da serra, podendo mesmo fazer com que parta ou perca o corte no primeiro trabalho.

Na lateral da máquina existe um manómetro apresentando a pressão do corte. Em experimentação com o operador, verificou-se que ao aumentar a velocidade de corte e a velocidade de descida esta pressão aumenta, podendo chegar a duplicar.

Este aumento gera um esforço bastante superior no motor do serrote fazendo com que a vida útil da máquina seja menor. Uma vez que o preço de venda destas máquinas ronda 1 milhão de euros, a longo prazo iria trazer um retorno financeiro negativo à empresa. Por outro lado, isto também iria gerar um maior desgaste na serra devido ao aumento da temperatura na serra e da força necessária para o serrote arrancar a apara no processo de corte.

Deste modo, pode-se concluir que aumentar os parâmetros de modo a diminuir ligeiramente o tempo de corte não traz um retorno positivo uma vez que o tempo de corte representa uma parte pequena na preparação de um perfil até chegar à peça final. A maior parte do tempo é gasta em colocar os perfis no tapete de corte, na fresagem, a movimentar o perfil e a retirar os perfis já cortados.

Exclusivamente, o aumento brusco dos parâmetros pode ser uma opção rentável quando a preparação dos perfis está atrasada e a empresa tem um prazo a cumprir. Deste modo, para conseguir cumprir a data estipulada no contrato, a empresa pode recorrer a um aumento da velocidade de corte e de descida da serra como uma emergência.

Ao longo do percurso de vida de uma serra, esta irá cortar cada vez mais devagar devido ao seu desgaste. Estudando o tempo de corte no mesmo perfil, um IPE 270, com a mesma velocidade de corte e em dias diferentes verificou-se que o tempo de corte aumenta ao longo dos dias, de acordo com a tabela 3. Estes dados correspondem à MCP1

Tabela 3 - Aumento do tempo de corte devido ao desgaste da serra (MCP1).

Dia	Tempo de corte
3 de Maio	1m 58s
10 de Maio	2m 09s

Este aumento num perfil com três cortes a originar duas peças finais, como o caso destes IPE270, irá representar um aumento de aproximadamente 90 segundos em cada perfil e um aumento de 45 segundos em cada peça. Apesar do tempo de preparação de um perfil aumentar, não compensa monetariamente trocar a serra mais cedo dado o seu preço elevado.

3.4.4. FURAÇÃO

No fabrico de peças para construção metálica é possível realizar dois tipos de furos: os furos circulares e os furos ovalizados. Os furos circulares são feitos através de uma broca do mesmo diâmetro do furo. Os furos ovalizados são feitos através de fresagem pelo que, na empresa Metaloviana, apenas podem ser feitos na máquina de produção do polo 3.

No caso dos furos ovalizados podem ser feitos de diferentes maneiras, dependendo do das suas dimensões. No caso de um furo ovalizado de grandes dimensões, em que o lado menor do mesmo tem um comprimento superior ao diâmetro da broca de maior diâmetro, o furo tem de ser feito unicamente por fresagem. No caso de um furo ovalizado mais pequeno, como um furo ovalizado 22x32, é feito inicialmente um furo utilizando uma broca com o diâmetro correspondente ao diâmetro menor do furo, neste caso 22 mm. De seguida a máquina troca a ferramenta para uma fresa com um diâmetro baixo de modo a conseguir fazer o restante do furo.

O tempo de furação irá depender do diâmetro do furo e da profundidade do mesmo. O tempo irá ser maior quanto maior for a sua profundidade.

O tempo de furação depende do estado das brocas e das pastilhas podendo aumentar consideravelmente. No entanto, dado o preço elevado destes consumíveis apenas são trocados quando partem ou deixam de cortar completamente. Uma vez que na maioria dos casos os furos são operações muito rápidas, um aumento percentual no tempo, mesmo que seja de 50% do tempo de furação irá representar apenas alguns segundos no final da preparação. Deste modo, utilizar as brocas até ao final irá baixar os custos de produção.

Para a furação, os perfis são fixos na mesa de trabalho em 4 zonas diferentes, visível na figura 27.



Figura 27 - Fixação dos perfis durante a furação.

Ambas as máquinas carregam seis brocas ou, no caso da MCP3 seis brocas ou fresas, pelo que, antes do corte, o operador deve colocar as ferramentas necessárias para cortar num desses 6 lugares, além de colocar essa informação no menu da máquina. Nas informações da máquina o operador apenas informa a máquina o diâmetro da broca ou da fresa que está em cada um dos espaços. Assim, antes da preparação de um perfil o operador verifica quais os furos e fresagens a fazer e substitui as brocas e as fresas pelas corretas.

Assim, a máquina de modo a fazer um furo com o diâmetro de 14 mm tem a informação de onde está a broca de diâmetro 14 e faz o furo. O processo de troca de brocas acontece automaticamente durante o corte sempre que necessário. Na figura 28 observa-se o lugar onde o operador coloca as brocas e as fresas, chamado mandril.



Figura 28 - Mandril para colocar brocas e fresas.

3.4.5. FRESAGEM

Dentro das máquinas presentes na empresa, a única que faz fresagem de forma automática por CNC durante o processo de corte de um determinado perfil é a MCP3.

A fresagem permite, além de fazer furos, marcar a referência da peça automaticamente durante o processo de corte. Todas as peças produzidas no polo 3 tem a sua referência gravada deste modo o que minimiza possíveis erros.

A fresa é também utilizada para fazer furos circulares quando estes têm um diâmetro mais elevado em que não existe uma broca disponível no mercado ou caso exista, o seu custo é muito elevado e não compensa. As máquinas KALTENBACH permitem fazer furos até um diâmetro de 40 mm. No entanto, é possível enganar a máquina colocando uma broca de 60 mm dizendo que é uma broca com diâmetro abaixo de 40 mm no software da máquina. A fresagem também permite fazer furos ovalizados e furos de secção quadrada ou retangular.

A fresa presente nesta máquina tem uma penetração de 3 mm por cada passagem de acordo com o manual da máquina e a informação dada pelo operador. Deste modo, dependendo da espessura da zona a furar, é possível chegar a uma estimativa do tempo esperado.

De modo a guiar uma fresagem circular, primeiro é feito um furo correspondendo ao ponto inicial e posteriormente será desbastado todo o perímetro.

A fresagem pode ser feita desbastando a secção completa ou apenas no contorno. O operador deve ter cuidado na escolha das definições da fresagem uma vez que a diferença de tempo e de custo é bastante grande. O desgaste da fresa será muito superior quando a fresagem é completa uma vez que a área arrancada pela fresa é muito superior. Na tabela 4 podemos observar a diferença de um círculo com diâmetro de 100 mm e profundidade 10 mm em que no primeiro caso foi feito apenas o contorno do círculo e no segundo foi fresado todo o círculo. Foi utilizada uma fresa de 12 mm.

Tabela 4 - Comparação dos tempos de fresagem utilizando 2 processos diferentes – perfil SHS 300x10.

Perfil	Diâmetro do furo (mm)	Método de fresagem	Tempo
SHS 300x10	100	Secção Total	16m 55s
SHS 300x10	100	Apenas o perímetro	5m57s

Comparando o tempo de fresa de duas geometrias iguais em que numa fez-se apenas o perímetro do círculo e noutra a secção total do mesmo círculo é possível observar um aumento perto de 200%.

Noutra situação, apresentada na tabela 5, observou-se um furo com um diâmetro de 60,50 mm realizado na alma de um UPN160 tendo assim uma espessura de 7,5 mm. À semelhança da situação anterior, o operador fez um furo utilizando a fresagem completa e outro utilizando a fresagem apenas nas bordas. Foi também utilizada uma broca de 12 mm.

Tabela 5 - Comparação dos tempos de fresagem utilizando 2 processos diferentes – perfil UPN 160.

Perfil	Diâmetro do furo (mm)	Método de fresagem	Tempo
UPN 160	60,50	Secção Total	4m51s
UPN 160	60,50	Apenas o perímetro	2m24s

Nesta situação houve um aumento de aproximadamente 100% ao realizar a fresagem da secção total.

Neste caso, o aumento do tempo de fresagem comparando as duas situações foi menor no furo com menor diâmetro já que a o aumento da superfície a fresar foi menor quando comprado o caso de fresar apenas o perímetro e fresar toda a área do furo. Assim, quanto maior o diâmetro do furo o custo de fazer a fresagem na área completa irá crescer de forma exponencial. Na tabela 6 pode-se verificar o aumento da superfície a fresar com o aumento do diâmetro do furo.

Tabela 6 - Comparação da superfície fresada para 2 situações.

Diâmetro (mm)	Perímetro (mm)	Área (mm²)	Aumento
100	341,16	7853,98	23x
60,5	190,07	2874,75	15,12x

Uma fresa tem uma vida útil longa e pode ser facilmente observado quando necessita de ser trocada. Além do tempo que demora a realizar o processo ser muito superior, esta começa a ter dificuldade em arrancar material deitando muita faísca durante o corte deixando acabamento da peça fica muito grosseiro.

Na tabela 7 pode-se comparar o tempo de fresa utilizando uma frese gasta e uma frese em boas condições.

Tabela 7 - Comparação do tempo de fresagem entre uma frese nova e uma frese em fim de vida.

Perfil	Condições da Frese	Tempo
SHS 300x8	Gasta	4m 28s
SHS 300x8	Como nova	2m 44s

É possível verificar um aumento significativo, de aproximadamente 62%.

Uma vez que o preço de uma fresa varia entre 30 e 60 €, dependendo do tamanho, a partir do momento em que o tempo de fresagem aumenta consideravelmente é vantajoso trocar a fresa por uma nova. Além do processo ser mais rápido o acabamento irá ser muito superior pelo que não será necessário recorrer a um serralheiro para proporcionar o acabamento pretendido.

A fresagem de contorno deve ser utilizada quando a secção a fresar é transversal à espessura da peça. Por outro lado, a fresagem em que a fresa percorre a peça toda deve unicamente ser utilizada quando se pretende fazer um furo que não atravesse toda a espessura da peça.

3.4.6. ARRUMAR E REFERENCIAR PEÇAS

As máquinas KALTENBACH de corte automático dispõem de um sistema que arruma os perfis numa zona lateral após o corte dos mesmos.

Após o corte de uma peça, esta é puxada para a frente e arrumada no tapete lateral da parte frontal da máquina. Este processo demora entre 50 segundos e 70 segundos dependendo da peça. A MCP1 apenas conta com um lugar para guardar as peças finais após serem cortadas. Por outro lado, a MCP3 conta dois lugares, sendo um para peças mais pequenas designado por “Espaço 1” na figura e o último lugar para peças maiores, designado por “Espaço 2” na figura 29.



Figura 29 - Espaços para colocar as peças finais na MCP3.

Quando é cortada as extremidades de uma peça, esta é colocada na sucata também através do tapete rolante. Verificou-se que este processo é mais rápido, levando entre 25 e 30 segundos.

Na MCP1, após serem cortados, é gravada a referência da peça na mesma. Esta referência permite saber qual a peça em questão e facilita o processo de montagem final. A referência pode ser gravada manualmente a caneta ou através de uma pequena máquina que grava a referência utilizando fresagem.

A gravação a caneta é utilizada na maioria dos casos dada a sua praticidade e baixo custo.



Figura 30 - Marcação da referência da peça a caneta (MCP1).

A marcação a máquina utiliza o processo de fresagem, arrancando o material numa das faces até marcar a referência da peça. Esta máquina já é bastante antiga e não foi encontrado nenhuma marca ou modelo à vista.



Figura 31 - Máquina para gravar a referência das peças (MCP1).

Apesar de fazer gravação utilizando a máquina ser um processo mais demorado e trabalhoso pode ser vantajoso no caso de existirem muitas peças iguais com a mesma referência ou no caso de um projeto grande em que a produção demore bastante tempo e durante esse tempo a tinta da caneta poderia ir saindo. Normalmente é utilizada em projetos maiores e com um nível de exigência e rigor superior.



Figura 32 - Gravação da referência da peça utilizando a máquina (MCP1).

Por outro lado, a máquina do polo 3 marca a referência da peça durante o corte através de fresagem. Considerando que o processo é automatizado e conduzido por uma máquina, a qual apresenta uma taxa de erro inferior à de um ser humano, é menos provável a ocorrência de erros. Estas indicações já vão no ficheiro CNC referente ao corte da peça.



Figura 33 - Referência da peça gravada por fresagem no polo 3 (MCP3).

3.5. CUSTOS FIXOS NO CORTE DE PERFIS

3.5.1. SERRA

O preço da serra varia de acordo com o serrote e o seu preço varia bastante de acordo com o serrote de corte. Cada serrote utiliza uma medida específica, correspondendo às dimensões da serra. Na tabela 8 pode-se ver o preço da serra correspondente a cada serrote.

Tabela 8 - Medida e custo da serra de cada máquina.

Máquina	Modelo da serra (medidas)	Custo unitário aproximado (€)
MCP1	Serra 6990 X 41 X 1.3	85
MCP3	Serra 8900 X 54 X 1.6	229

A medida da serra é apresentada na forma “CINTA SERRA 5300 X 34 X 1,1 Z3/4”, detalhada na tabela 9.

Tabela 9 - Explicação da nomenclatura da serra.

Medida	Correspondência
5300	Comprimento da serra
34	Altura da serra
1,1	Grossura da serra
Z3/4	Tipo de dente

Dentro de cada medida podem ser escolhidas serras com diferentes tipos de dentes, dependendo do tipo de perfis a cortar durante essa altura. Apesar de existirem mais tipos de dentes para utilizações específicas, a empresa tem serras com 5 tipos de dentes, estando estes apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Tipos de dentes e a sua utilização.

Tipo de dente	Utilização
Dente Z2/3	Perfis com uma espessura muito elevada devido ao seu dente maior.
Dente Z3/4	Mais versátil e o dente mais utilizado. Consegue cortar todos os tipos.
Dente Z4/6	Materiais de espessura média, em especial tubos de tamanho maior com união por solda.
Dente Z5/7	Tubos de espessura média com união por solda.
Dente Z8/12	Materiais com uma resistência mecânica mais elevada, finos e com baixa área de secção, em especial tubos com união por solda.

Uma serra com um dente Z do tipo "Z3/4" indica uma configuração de dente variável, onde "Z" representa a configuração dos dentes e "3/4" refere-se ao número de dentes por polegada. Deste modo uma serra Z3/4 tem entre 3 e 4 dentes por cada polegada.

A letra "Z" sugere que a serra possui dentes com espaçamento e tamanhos variáveis ao longo da lâmina. Este tipo de dente ajuda a reduzir vibrações e proporciona um corte mais suave, especialmente em materiais mais duros ou quando se corta materiais de diferentes espessuras. A variação na contagem de dentes (de 3 a 4 neste caso) ajuda a melhorar a remoção de cavacos e a reduzir o risco de empenamento. Os serrotes da empresa apenas utilizam serras deste tipo.

Na figura 34 pode-se observar o espaçamento de dentes variável das serras. Os dentes foram medidos recorrendo a um paquímetro digital.



(a)



(b)

Figura 34 (a) & (b) - Diferença do espaçamento entre dentes de uma serra com dente 3/4.

Na maioria dos casos, a empresa utilizada o dente Z3/4 derivado da sua versatilidade. Uma vez que são cortados todo o tipo de perfis não é benéfico utilizar os outros dentes, com exceção dos casos onde devido a um determinado projeto irá-se cortar muitos tubos ou perfis com características específicas durante algumas semanas.

De acordo com os operadores das máquinas, uma serra tem normalmente uma vida útil de uma a duas semanas, dependendo do tipo de perfis a cortar e da velocidade de corte. Em casos extremos a serra pode durar menos de um dia. Isto pode-se suceder por defeito de fabrico da serra, pelo uso incorreto da mesma, não fazendo a rodagem, ou pela serra começar a cortar perfis muito duros.

Quando é colocada uma serra nova, os operadores cortam algumas horas ou dias com um corte bastante lento de modo que a serra consiga fazer a rodagem, prolongando a vida útil da serra. À medida que a serra vai perdendo a capacidade de cortar, o operador aumenta progressivamente a velocidade de corte da serra. Quando a serra está gasta, esta deixa de cortar podendo apresentar outros indicadores, como ter alguns dentes danificados, chamado de romper o dente, ou deitar faísca. Na maioria dos casos, visivelmente é impossível notar diferenças de uma serra nova para uma serra que não consegue cortar.

A pressão de corte da serra é sempre constante em todo o tipo de peças. O operador coloca a pressão em 500N. A pressão de corte representa o quão a serra está esticada.

Apesar de ao aumentar a velocidade de descida da serra o corte ser mais rápido, permitindo trabalhar um maior número de perfis ao longo do dia, isto gera outros problemas. Embora o aumento da velocidade de descida ser uma opção rentável em perfis mais finos e pequenos, de um modo geral irá provocar um maior desgaste da serra e fazer com que encrave ao cortar a alma, uma vez que ao cortar uma zona com mais material vai fazer com que acumule mais limalha, não tendo esta tempo de sair da zona de corte devida a velocidade de descida elevada.

A empresa forneceu acesso ao documento que contém todos os consumíveis gastos por cada uma das máquinas nos anos passados. No total, a máquina mais recente utilizou mais serras o que confirma que desgasta as mesmas mais rapidamente. Na tabela 11 observa-se a média de serras gastas durante os anos de 2023 e 2024.

Tabela 11 - Serras gastas durante o último ano.

Máquina	Modelo da serra	Média de serras gastas em 2023/2024
MCP1	Serra 6990 X 41 X 1.3	23
MCP3	Serra 8900 X 54 X 1.6	30

3.5.2. ÓLEOS DE CORTE E FURAÇÃO

As máquinas em estudo utilizam como lubrificante de corte uma mistura de óleo com ar comprimido que é disparada para a serra automaticamente sempre que o corte é iniciado.

A correta lubrificação do corte é fundamental para conseguir um corte limpo e prolongar a vida útil da ferramenta.

A máquina instalada no edifício 1 utiliza o mesmo óleo quer para o corte dos perfis quer para a furação.

Por outro lado, no caso da máquina no polo 3, esta utiliza um óleo para o corte e outro diferente para a furação. O reservatório para o óleo de corte tem capacidade para 1 Litro e dura aproximadamente uma semana, tendo de ser acrescentado sempre que o nível está baixo. Por outro lado, o reservatório do óleo responsável pela lubrificação da furação tem uma capacidade de 5 litro e dura aproximadamente 5 meses. Quando os níveis de óleo de corte estão baixos a máquina avisa o operador com a indicação de repor o nível. O óleo utilizado para o corte de ambas as máquinas é o óleo “ÓLEO CUTOL MS”, da marca KALTENBACH e vendido em garrações de 5 Litro.



Figura 35 - OLEO CUTOL Ms - Garrafa 5 litro.

O óleo utilizado exclusivamente para a furação da MCP3 é o óleo “ÓLEO SINTETICO ACCU-LUBE LB8000”, também vendido em garrações de 5 litro.

A duração dos óleos de corte e furação das máquinas dependem diretamente do tempo de corte e furação. Deste modo, a duração apresentada na tabela 12 é uma estimativa quando as máquinas cortam perfis de todos os tipos. Caso exista uma sequência de corte de perfis com muitos ou sem

furos, muito grossos ou com características muito específicas a duração do óleo pode ser maior ou menor.

Tabela 12 - Óleos utilizados pelas máquinas.

Máquina	Processo	Óleo	Custo	Duração aproximada
MCP1	Corte	OLEO CUTOL Ms - GARRAFA 5L	18,5 €	1 semana (Utilização conjunta no corte e na furação)
	Furação			
MCP3	Corte	OLEO CUTOL Ms - GARRAFA 5L	18,5 €	2 semanas
	Furação	ÓLEO SINTETICO ACCU-LUBE LB8000 5L	13,8 €	4 meses

3.5.3. MANUTENÇÃO

A manutenção requerida para o correto funcionamento da máquina é reduzida, no entanto, é crucial para o correto funcionamento da mesma. A manutenção é habitualmente feita.

Estas máquinas são bastante resistentes e não necessitam de uma manutenção rigorosa para funcionar corretamente. A empresa só contacta o técnico das mesmas quando é necessário substituir alguma peça ou a máquina deixa de funcionar, o que é raro acontecer.

3.5.4. ELETRICIDADE

No ano de 2018 a empresa instalou um total de 275 painéis fotovoltaicos nos seus 3 polos fabris de modo a obter aproveitamento da boa exposição solar da localização da empresa. Por estar numa zona costeira plana, os painéis conseguem captar energia solar durante um extenso período.

De acordo com os dados do IPMA, para a zona litoral do distrito de Viana do Castelo espera-se uma média de 2369,2 horas de sol por ano, correspondendo a uma média diária de 6,49 horas de sol diárias. [13]

Desde a instalação, a empresa tem registado todas as informações relativas ao consumo de energia, observando uma melhoria notável na fatura mensal. Durante um dia de sol, as máquinas funcionam dependendo apenas da energia solar, pelo que o consumo de eletricidade é menor durante os dias de verão. Por outro lado, como a máquina localizada no polo 3 funciona maioritariamente durante a noite pelo que não consegue usufruir da energia solar.

De acordo com os dados fornecidos pela empresa, os painéis fotovoltaicos fornecem uma média anual em torno de 33% de poupança energética, no caso do polo 1. O mês com menos poupança registado até ao momento corresponde a Dezembro de 2023, com uma poupança de 14,37%. Por outro lado, o mês registado com uma redução maior nos gastos foi Agosto de 2023, com uma poupança registada de 40,75% face ao valor que seria pago sem recorrer aos painéis fotovoltaicos. Na figura 36 é possível observar os dados registados para o consumo energético e a respetiva poupança após recorrer à energia solar, para o ano de 2023.

Mês	Polo 1 (Metaloviana)							
	Consumo em fatura [kWh] em 2023	Consumo Total [kWh] em 2023	Sem Fotovoltaico pagaríamos	Fatura EDP 2023 (Sem IVA)	% de Poupança	Poupança AutoConsumo	Poupança com Fins de semana em regime laboral	Payback (Anos, meses)
Jan.								
Fev.								
Mar.								
Abr.	38562	43768,123	3 074,72 €	2 709,13 €	11,89%	365,59 €	161,98 €	17,78
Mai.	25497,03	42222	3 294,44 €	1 989,45 €	39,61%	1 304,99 €	486,71 €	4,98
Jun.	29511,1	45939	3 282,38 €	2 108,59 €	35,76%	1 173,79 €	415,58 €	5,54
Jul.	26966,67	44746,86	3 429,87 €	2 067,00 €	39,74%	1 362,87 €	390,48 €	4,77
Ago.	27419,34	46275,17	5 049,22 €	2 991,82 €	40,75%	2 057,40 €	441,04 €	3,16
Set.	28149,35	44506,09	5 052,52 €	3 195,60 €	36,75%	1856,92	381,40 €	3,50
Out.	27393,21	40909,48	4 491,54 €	3 007,54 €	33,04%	1484	270,07 €	4,38
Nov.	34036,19	41888,39	4 784,58 €	3 887,69 €	18,75%	896,89	195,82 €	7,25
Dez.	29008,49	33875,24	3 895,68 €	3 336,00 €	14,37%	559,68	165,56 €	11,61
Total	266543,38	384130,353	36 354,95 €	25 292,82 €	30,43%	11 062,13 €	2 908,64 €	5,29

Figura 36 - Consumo e poupança de energia no ano de 2023.

Na tabela 13 são apresentadas as potências de trabalho das máquinas de corte. Esta informação está presente no corpo das máquinas e no manual das mesmas. Os manuais das máquinas foram fornecidos pela empresa.

Tabela 13 - Consumos das máquinas de corte. [14][15][16][17]

Máquina	Potência de Corte	Potência de furação	Potência do Propulsor
MCP3	160 kW	34,5 kW	2.2 kW

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

MCP1	120 kW	32 kW	2.2 kW
------	--------	-------	--------

O custo da energia para a empresa é variável uma vez que se encontra no mercado indexado. Atualmente, os valores praticados pela oferta indexada são inferiores ao do mercado regulado.

No caso da MCP3, apesar deste polo estar dotado de uma instalação de painéis solares a máquina de corte não consegue usufruir da energia gerada por eles já que corta maioritariamente durante a noite. Deste modo, a energia para o corte desta máquina tem de provir da rede, aumentando ligeiramente o custo do corte.

Para a MCP1, vai ser considerado para o custo do consumo elétrico 67% do valor consumido pela máquina, já que os restantes 33% conseguem ser poupados recorrendo à energia solar.

4. NOVO SISTEMA PARA ORÇAMENTAÇÃO

Com o intuito de conseguir calcular o tempo e os custos de corte relativos a um determinado perfil com precisão, foi criada uma ferramenta que permite calcular os custos relativos ao processo. Esta ferramenta contém todos os dados relativos ao processo.

Neste capítulo são apresentadas todas as metodologias utilizadas que permitiram construir a ferramenta para a empresa orçar os projetos com maior precisão, no qual se irão destacar as principais funcionalidades, todos os passos da sua elaboração e o seu funcionamento.

4.1. INTRODUÇÃO DA NOVA FERRAMENTA DE ORÇAMENTAÇÃO

Para desenvolver a ferramenta que permite calcular o tempo de corte e os respetivos custos dos perfis relativos a uma obra optou-se por utilizar o *software Microsoft Excel* desenvolvido pela *Microsoft* dadas as suas funcionalidades e a fácil utilização por todos.

A ferramenta contém uma base de dados com todas as informações referentes aos perfis e aos respetivos tempos de corte analisados. Estes dados foram conseguidos durante o tempo passado nas instalações da empresa, de forma manual.

Na primeira página do *Excel*, estão presentes todas as etapas relativas à orçamentação da preparação do perfil.

As colunas apresentadas em amarelo, é onde o orçamentador do projeto deve colocar todos os dados pedidos com as informações do perfil. Nas colunas seguintes, é mostrado detalhadamente todos os custos e tempos relativos a cada uma das etapas.

4.2. BASE DE DADOS RELATIVA AO CORTE DOS PERFIS

Com os dados relativos aos tempos de corte e furação obtidos nas fábricas, fez-se uma base de dados contendo toda a informação. Essa base de dados irá servir para a ferramenta criada conseguir calcular o tempo de corte esperado para o processo de produção.

Para cada um dos perfis, são apresentadas as seguintes variáveis:

- Peso por metro (kg/m)
- Área por metro (m²/m)
- Tempo de corte na MCP1 (s)
- Tempo de corte na MCP3 (s)

- Tempo de descarregar o perfil do camião (min)
- Tempo de movimentação do perfil entre o armazém e o tapete lateral da máquina (min)

Na figura 37 mostra-se a base de dados com todos os dados relativos ao corte de perfis.

PERFIS	Kg/ml	m2/ml	T. corte estimado	Corte polo 3	Descarregar camião (min)	Ir buscar o material e coloc no tapete (s)
HEB 100	20,40	0,57	77,04	63,56	6	4
HEB 120	26,70	0,69	88,19	72,76	6	4
HEB 140	33,70	0,81	100,57	82,97	6	4
HEB 160	42,60	0,92	116,32	95,96	7	5
HEB 180	51,20	1,04	131,54	108,52	7	5
HEB 200	61,30	1,15	149,41	123,26	7	5
HEB 220	71,50	1,27	167,45	138,15	8	6
HEB 240	83,20	1,38	188,15	155,23	8	6
HEB 260	93,00	1,50	205,49	169,53	8	6
HEB 280	103,00	1,62	223,19	184,13	8	6
HEB 300	117,00	1,73	247,96	204,56	9	7
HEB 320	127,00	1,77	265,65	219,16	9	7
HEB 340	134,00	1,81	278,04	229,38	9	7
HEB 360	142,00	1,85	292,19	241,06	9	7

Figura 37 - Base de dados relativa ao corte.

Uma vez que não foi possível medir todos os parâmetros para todos os perfis durante o período de estágio na empresa, parte dos tempos de corte e tempos de furação são uma estimativa de acordo com os dados obtidos em perfis semelhantes, obtida por calculo numérico. Dependendo dos dados medidos para cada perfil, foram utilizados diferentes métodos.

4.3. BASE DE DADOS RELATIVA À FURAÇÃO

Inicialmente foi feita uma pequena base de dados com os tempos de furação de todos os furos medidos, relativos a ambas as máquinas, para procurar uma relação entre os dados medidos. Esta contem, relativamente a cada furo medido, o seu diâmetro, espessura, tempo de furação, o volume do furo e a velocidade de avanço da broca.

Na figura 38 apresenta-se a base de dados relativa à recolha dos dados de furação na empresa.

Dimetro	Espessur	Tempo	volume	v avanço (mm/s)
10	26,00	36,00	408,41	0,277777778
10	26,00	36,20	408,41	0,276243094
11	8,00	10,30	138,23	1,067961165
12	6,00	3,90	113,10	3,076923077
14	5,00	3,60	109,96	3,888888889
14	6,00	3,70	131,95	3,783783784
14	7,00	3,90	153,94	3,58974359

Figura 38 - Base de dados medidos relativos à furação.

Uma vez que não foi possível medir os tempos de furação para todos os diâmetros e todas as profundidades foi necessário calcular os restantes tempos relacionando com os dados obtidos. Como o tempo não se trata de uma variação linear entre diâmetros e profundidades, só é possível obter um

aumento linear relacionando furos com o mesmo diâmetro ou a mesma profundidade. Assim, para o mesmo diâmetro, o tempo de furação aumenta com o aumento da profundidade.

Mesmo obtendo equações para cada uma das espessuras e cada um dos diâmetros dos furos não é possível calcular com exatidão os tempos de furação recorrendo a uma linha de tendência. Isto deve-se a existirem vários fatores que podem alterar o tempo de furação: desgaste da ferramenta, composição do material do perfil, a broca partir, excesso de limalha, tempo de reação na medição do tempo de furo. No caso dos furos, como os tempos são apenas alguns segundos, uma variação de apenas um segundo por algum motivo impossibilita a possibilidade de relacionar os dados.

Por outro lado, estas imperfeições não terão efeito significativo no tempo final de preparação de um perfil uma vez que um furo normalmente demora apenas alguns segundos. Um erro de 10% no cálculo num furo de 5 segundos dará apenas um desvio de 0,5 segundos. Mesmo numa peça que contenha 30 furos, a diferença no tempo de preparação final é de apenas 15 segundos. Uma variação de 15 segundos é uma variação normal no tempo de corte de um perfil que pode ser obtida derivada de muitos outros fatores como a temperatura, desgaste das ferramentas, encravar da máquina, entre outros.

Verificou-se que a máquina do polo 3 fura em média 30% mais rápida do que a máquina do polo 1. Uma vez que para a máquina do polo 3 foram medidos poucos furos, o tempo de furação será calculado relacionando com os tempos obtidos na outra máquina.

Na base de dados da furação são apresentados os diâmetros compreendidos entre 6 mm e 30 mm em intervalos de 2 mm. Optou-se por colocar os diâmetros distanciados por 2 mm já que a variação é muito pequena. Para cada diâmetro, colocou-se espessuras com intervalos de 1 mm desde 4 mm até 10 mm e com intervalos de 2 mm até 30 mm.

A base de dados contém os tempos de furação relativos à MCP1 e MCP3. Na figura 39 é apresentada a base de dados final com todos os tempos de furação.

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

6 mm x 20	20	29,00	19,52
6 mm x 22	22	32,50	21,65
6 mm x 24	24	36,00	23,72
6 mm x 26	26	40,00	26,08
6 mm x 28	28	43,50	28,06
6 mm x 30	30	47,00	29,99
8 mm x 4	4	5,00	3,70
8 mm x 5	5	5,50	4,03
8 mm x 6	6	6,00	4,36
8 mm x 7	7	6,50	4,67
8 mm x 8	8	7,50	5,34
8 mm x 9	9	8,50	5,99
8 mm x 10	10	10,00	6,98
8 mm x 12	12	12,50	8,64

Figura 39 - Base de dados final com todos os furos.

No caso de um conjunto de furos tempo de deslocação acaba por ser semelhante já que a maior parte do tempo da movimentação da broca é gasto na aceleração e na travagem. O tempo de deslocação entre cada furo varia normalmente entre 4 e 5 segundos na máquina do polo 1 e entre 3 e 4 segundos na máquina do polo 3.

4.4. INTERFACE – MCP1

O funcionamento da ferramenta é simples para que seja de utilização fácil e intuitiva para que qualquer funcionário da empresa a consiga utilizar durante a orçamentação de um projeto

Na primeira página da ferramenta consta a interface para o utilizador. Esta é a única página em que o utilizador necessita de mexer. Esta interface permite introduzir os dados relativos ao corte e furação de um determinado perfil e mostra todos os tempos e custos relativos a cada etapa.

Foi feito uma interface para cada uma das máquinas de corte uma vez que o funcionamento e as características do processo são ligeiramente diferentes.

Esta parte da ferramenta foi dividida em onze partes diferentes para facilitar a sua utilização e compreensão do funcionamento.

Na parte superior da ferramenta encontram-se algumas células para o operador introduzir dados, não fazendo parte dos onze separadores de introduzir dados. Como se pode verificar na figura abaixo, o operador deve introduzir o nome ou a referência interna da obra o custo da energia, em kWh, esperado para o decorrer do projeto.

A	B	C	D	E	F
				Custo Energia (kWh)	0,11 €
Obra:					
				O objetivo da ferramenta é calcular o tempo de cada	
CUSTOS PRODUÇÃO					

Figura 40 - Ferramenta: introdução de dados inicial.

4.4.1. CUSTOS DA PRODUÇÃO

A primeira parte da ferramenta apresenta os custos relativos ao processo de fabrico. Optou-se por colocar esta parte no início para ser mais fácil do operador visualizar e comparar os custos relativos ao processo de cada perfil.

CUSTOS PRODUÇÃO			
€/ pattern	€/ peça	€/ todas rep	€/ ton
37,49 €	7,50 €	37,48930271	183,77 €

Figura 41 - Parte 1 da Ferramenta: Apresentação dos custos.

Nas primeiras linhas da ferramenta são mostrados os custos totais de preparação de um projeto. Deste modo, o orçamentador consegue visualizar os custos relativos à produção de cada perfil e o custo total. Os valores aqui apresentados correspondem às somas dos custos calculados nas células seguintes.

4.4.2. FABRICO – INTRODUÇÃO DE DADOS

Nesta parte, é a única parte onde o operador necessita de mexer e fazer a introdução de dados. O operador deve introduzir dados nas colunas com a cor verde.

Nº de repetições pat	PERFIS	Comprimento (ml)	Aproveitamento	Comp. Útil	nº peças	nº angulos compatíveis	nº angulos não compatíveis com o corte	E
Nº de repetições do pattern	Notas		(%)					
2	HEB 100	10,00	100	10,00	5,00	1,00	2,00	
	HEB 500	40,00						
Fabrico - Introdução de Dados								
Espaçamentos entre corte e furos	Nº Furos na alma	Diametro furos alma	Tempo de cada furo	Nº Furos na alma	Diametro furos alma	Tempo de cada furo		
Nº de espeços sem corte e sem furos no DT da peça				Utilizar esta secção no caso de existirem furos de 2 diametros diferentes. No caso de não existirem deixar em branco				
3,00	10,00	6 mm x 26	40,00	10,00	6 mm x 4	6,00		
Nº Furos no banzo	Diametro furos banzo	Tempo de cada furo	Nº Furos no banzo	Diametro furos banzo	Tempo de cada furo	Furos iguais na PTP - mesmo diâmetro (0;1)	Marcação máquina (0;1)	
No caso das cantoneiras e tubos omitir esta secção						0 se for diferente 1 de for igual (tem a ver com o operador trocar as brocas entre cada patteern)	Marcação da referencia da peça	
5,00	6 mm x 7	7,50	5,00	6 mm x 12	14,50	0,00	1,00	

Figura 42 - Parte 2 da Ferramenta: Introdução de dados do perfil e do corte.

Ao escolher o perfil na segunda coluna, o ficheiro vai buscar todas as informações relativas ao perfil contidas na base de dados.

Designações	PERFIS	Comprimento (m)
Designações do perfil	Notas	
	HEB 100	10,00
	HEB 500	40,00
	HEA 100	
	HEA 120	
	HEA 140	
	HEA 160	
	HEA 180	
	HEA 200	

Figura 43 - Parte 2 da Ferramenta: Escolha do perfil dentro da base de dados

O mesmo acontece na parte dos furos. O operador escolhe o diâmetro e a profundidade do furo e é apresentado de seguida o tempo de furação contido na base de dados dos furos. O valor da espessura e do diâmetro deve ser arredondado para o número inteiro mais próximo. No caso de um IPE 270 com uma espessura de 10,2 mm o operador deve seleccionar a opção com uma espessura de 10 mm.

Nº Furos na alma	Diametro furos alma	Tempo de cada furo
10,00	6 mm x 26	40,00
	6 mm x 4	
	6 mm x 5	
	6 mm x 6	
	6 mm x 7	

Figura 44 - Parte 2 da Ferramenta: Escolha do diâmetro e profundidade dos furos.

Para a introdução dos dados relativos à furação, é possível colocar até 2 tamanhos de furos diferentes no alma e 2 tamanhos no banzo. No caso de os furos terem todos o mesmo diâmetro ou apenas existirem furos numa das partes do perfil as outras colunas devem ser deixadas em branco.

4.4.3. INFORMAÇÕES DO PERFIL

Aqui são mostradas algumas informações acerca dos perfis a cortar assim como o peso total relativo ao perfil maquinado.

Informações do Perfil		
Kg/ml	m2/ml	Kg
20,40	0,57	204,00
187,00	2,12	7480,00
36,10	1,04	559,55
20,40	0,57	612,00
61,30	1,15	1226,00
26,70	0,69	267000,00

Figura 45 - Parte 3 da Ferramenta: Informações do perfil.

4.4.4. N° DE CORTES

Aqui são mostrados o número de cortes necessários a fazer para cada perfil e também o número de cortes que serão necessários de fazer no serrote FAT dada a incompatibilidade de fazer todos os ângulos e furos na mesma passagem.

N° de Cortes		
N° cortes MCP1	N° cortes FAT	N° cortes total
7,00	2,00	9,00
1,00	0,00	1,00

Figura 46 - Parte 4 da Ferramenta: Número total de cortes.

4.4.5. CÁLCULO DO TEMPO DO PROCESSO

Esta parte da ferramenta calcula todos os tempos relativos a cada uma das etapas do corte dos perfis de acordo com as informações inseridas anteriormente.

Cálculo do Te					
Colocar p. no tapete (s)	Perfil entrar (s)	Furação (s)	Movimentação entre furos (s)	Cortes (s)	Apertar cinta (s)
40	75	570	130	539,3	85
40	75	570	130	539,3	85
Tempo do Processo					
Serra descer (s)	Serra subir (s)	Levar peças (s)	Levar sucata (s)	Propulsor durante corte (s)	Propulsor atras no fim (s)
47	118	225	93	225	110
47	118	225	93	225	110

Figura 47 - Parte 5 da Ferramenta: Cálculo dos tempos de cada etapa de fabrico.

4.4.6. TEMPO TOTAL DE PREPARAÇÃO

Aqui é apresentado o tempo de preparação calculado na parte anterior apresentando o tempo de preparação para cada peça, para cada *pattern* e o tempo total, correspondendo ao tempo de todas as repetições do *pattern*. O tempo de preparação para cada *pattern* e para cada peça é apresentado em segundos. Por outro lado, o tempo total para todas as repetições do mesmo *pattern* é apresentado em minutos.

Estes tempos são calculados através da soma dos valores conseguidos anteriormente.

T. Total de Preparação		
Cada peça (s)	Tempo pattern (s)	Tempo total (min)
451,5	2257,3	75,24
#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!

Figura 48 - Parte 6 da Ferramenta: Tempo total de preparação.

4.4.7. CUSTOS DO OPERADOR

Este separador permite calcular o custo do operador que controla a máquina durante o processo de corte. De momento, o operador tem um custo para a empresa de 17 € por hora, no entanto, este valor altera periodicamente. Quando for alterado, a pessoa responsável pelo orçamento deve alterar para o valor atualizado.

Este capítulo calcula o custo do operador por cada *pattern* multiplicando o custo por cada segundo de corte com o tempo total obtido na secção anterior.

Custo operador (€/h)		17,00 €
Operador		
Custo operador (€/s)	C. Limpeza máquina (€/s)	C. Operador pattern (€)
	Custo por seg/corte. 4 hr/semana	
24	0,00 €	1,37174E-07
	0,00 €	1,37174E-07
		#VALOR!

Figura 49 - Parte 7 da Ferramenta: Custos relativos ao operador.

4.4.8. ÂNGULO EXTRA FAT

Esta secção será útil nos casos em que dada as características da peça final a cortar, pelo menos um dos ângulos de corte de uma face do perfil não é compatível com os furos a fazer. Deste

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

modo, esse corte terá de ser feito à parte e é utilizado o serrote FAT de modo a maximizar a produtividade. O tempo deste processo foi dividido em duas partes. A primeira parte, correspondente à movimentação do perfil antes e depois do corte, leva em torno de 20 minutos, dependendo das dimensões do perfil. Na segunda parte, correspondente ao corte, verificou-se que o tempo de corte é cerca de 40% superior ao da MCP1. Somando estas duas partes obtém-se o tempo relativo a fazer este ângulo. No caso da não existirem ângulos deste tipo, ao colocar 0 na célula correspondente na parte 2 da ferramenta, o tempo e o custo aqui aparecerão como sendo 0.

Ângulo Extra FAT	
Tempo aprox.	Custo
43,60	12,35 €
0,00	0,00 €

Figura 50 - Parte 9 da Ferramenta: Cálculo do tempo e do custo para o ângulo não compatível com o corte.

4.4.9. CUSTOS INDIRETOS

Nesta parte da ferramenta inclui-se todos os custos indiretos e imprevisíveis para o tempo e o custo do corte de um perfil, que não estão diretamente ligados com o corte do perfil, mas que tem um peso significativo no custo final.

Aqui, foram incluídos os tempos de:

- Descarregar o camião
- Ir buscar o material e colocar no tapete
- Preparar brocas
- Fazer programa
- Marcar peças

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

Estes tempos têm grandes variações e são difíceis de contabilizar no tempo de produção de um perfil, no entanto, conseguiu-se chegar a uma estimativa que está de acordo com o observado durante o tempo passado na empresa.

Custos Indiretos				
Descarregar camião	Ir buscar o material e colocar no tapete	Preparar brocas	Fazer programa	Marcar peças
1,70 €	1,13 €	1,42 €	0,57 €	0,57 €
2,83 €	2,27 €	1,42 €	0,57 €	0,00 €
1,50 €	1,13 €	1,42 €	0,57 €	0,57 €

Figura 51 - Parte 9 da Ferramenta: Custos indiretos no corte de um perfil.

4.4.10. ELETRICIDADE

Na decima parte da ferramenta estão os gastos de eletricidade durante todas as etapas. Estes valores podem sofrer grandes variáveis de acordo com o custo da eletricidade, pelo que, o valor deste custo deve ser atualizado constantemente.

Aqui são detalhados os custos relativos a cada função da máquina, o corte, a movimentação do perfil pelo propulsor e a furação, já que o consumo energético é diferente em cada um deles.

No consumo energético para a MCP1 tem-se em conta a poupança de 33% do consumo energético derivada da energia solar.

Eletricidade					
T. Corte (s)	Custo corte (€)	T. propulsor (s)	Custo propulsor (€)	T. furação (s)	Custo furação (€)
para cada pattern			custo pelo pattern		
539,29904	1,324877975	858	0,038643367	570,00	0,373413333
0	1,324877975	255	0,011484917	#VALOR!	#VALOR!
0	0	255	0,011484917	#VALOR!	#VALOR!

Figura 52 - Parte 10 da Ferramenta: Consumo energético de cada etapa.

4.4.11. CONSUMÍVEIS

Na última parte da ferramenta são apresentados os custos para todos os consumíveis de acordo com o tempo de corte. Aqui são incluídos todos os consumíveis, como a serra, o óleo de corte e

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos furação, as brocas, a reparação da máquina feita por técnicos especializados, entre outros menos comuns.

Consumíveis	
Gasto consumíveis (€/s)	Gasto consumíveis por pattern
0,002572222	5,806274753
0,002572222	#VALOR!

Figura 53 - Parte 10 da Ferramenta: Consumíveis.

4.5. INTERFACE – MCP3

A interface para a MCP3 é muito semelhante à da MCP1, contendo as mesmas 11 partes.

As diferenças são:

- Diminuição dos tempos de corte, dos tempos de furação e da movimentação
- Consumo de energia ser superior e não usufruir da energia solar
- A marcação da peça ser feita durante o corte por fresagem
- O corte de um perfil com os ângulos e a furação não compatíveis é feito na mesma na MCP3

4.6. CORTE DE VIGAS NO POLO 1

4.6.1. TEMPOS DE CORTE DOS PERFIS

O primeiro passo consistiu em medir os tempos de corte do máximo número de perfis possível. Dado o ínfimo número de perfis existentes no mercado, foi impossível medir o tempo de corte a todos. No entanto, tendo uma base de dados extensa, é possível calcular o tempo de corte esperado para os perfis em que o tempo de corte não foi medido através do seu peso por metro linear. Apesar destes

tempos obtidos serem apenas uma estimativa, vão permitir à empresa melhorar a sua capacidade de orçamentação.

O tempo de corte de um perfil é influenciado por diversos fatores, o que faz com que não seja uma variável linear e tenha variações em todos os cortes. Assim, ao calcular o tempo de corte de forma numérica, pode-se obter uma estimativa com uma margem de erro. Esse tempo de corte obtido, portanto, deve ser considerado uma previsão do tempo esperado. Durante as medições do tempo de corte na fábrica, podem ocorrer variações de aproximadamente 20% devido a fatores como condições da máquina, desgaste do material e ajustes operacionais. Apesar dessas variações, as previsões de tempo de corte fornecem um valor preciso referente ao tempo médio de corte.

4.6.2. CÁLCULO DO TEMPO DE CORTE DE PERFIS MEDIDOS

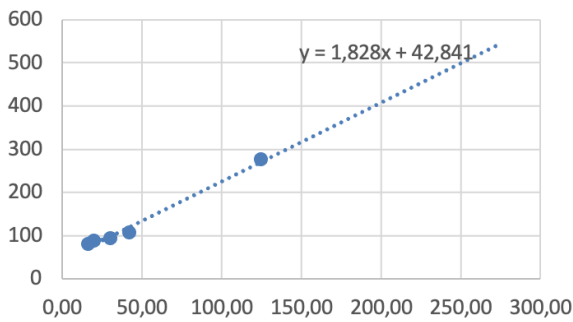
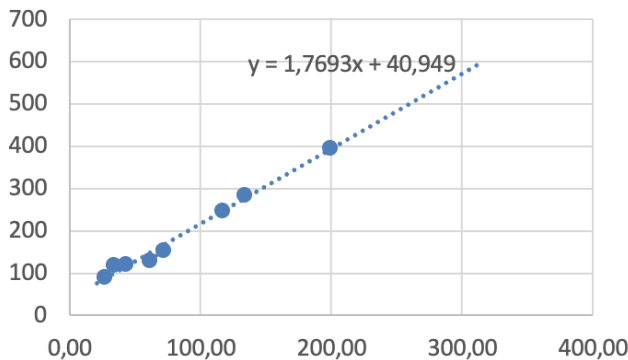
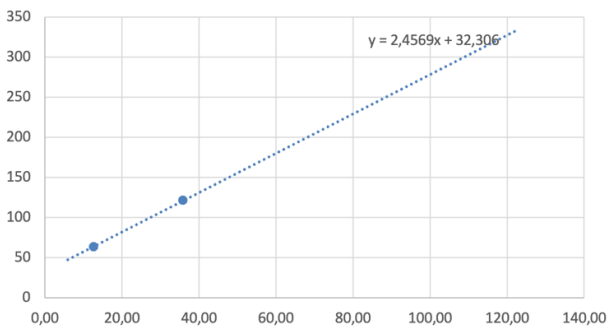
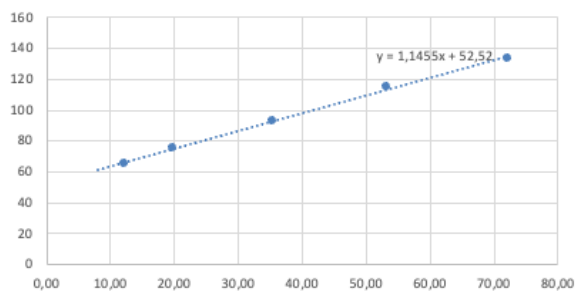
No caso dos perfis que são mais utilizados na construção metálica foi medido o tempo de corte de perfis de várias dimensões. Neste caso, é fácil de calcular o tempo de corte para os restantes, recorrendo ao seu peso por metro linear.

Tendo mais de dois perfis medidos, é possível traçar uma linha de tendência comparando o tempo de corte com o peso do perfil, obtendo assim o tempo de corte dos outros perfis. Apesar de serem necessários apenas dois pontos, um maior número de dados aumenta a precisão do resultado. Dada a grande variação do tempo de corte, traçar a linha de tendência apenas com 2 pontos pode dar um resultado longe do real no caso de um dos pontos corresponder a um ensaio em que por algum motivo o tempo de corte aumentou drasticamente.

De modo a contrariar este facto, no final de calcular a linha de tendência para cada um dos grupos de perfis e consequentemente os seus respetivos tempos de corte, compararam-se todos os resultados comparando o tempo de corte, a altura e o peso dos perfis na eventualidade de encontrar algum dado que não fizesse sentido. Todos os resultados obtidos estavam dentro do esperado quando comparado com os outros perfis.

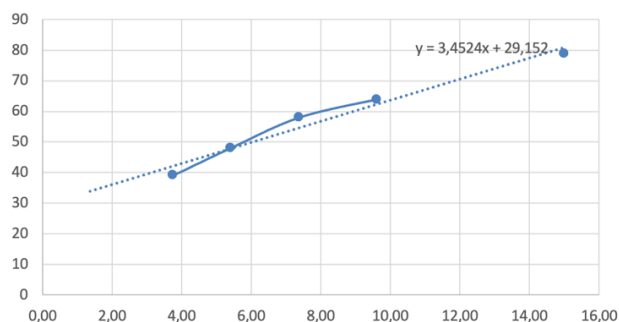
Os perfis mais utilizados em que foi possível traçar diretamente a sua linha de tendência foram os perfis HEA, HEB, IPE, UPE e L. Os gráficos e as respetivas equações foram obtidos na base de dados no software Microsoft Excel. No eixo x temos o peso do perfil por metro linear e no eixo y o tempo de corte. Na tabela 14 são apresentadas as equações e as respetivas linhas de tendência para estes perfis.

Tabela 14 - Equações e respectivas linhas de tendência para calcular os tempos de corte.

Perfil	Equação	Gráfico com linha de tendência
HEA	$y = 1,828x + 42,841$	
HEB	$y = 1,7693x + 40,949$	
IPE	$y = 2,4569x + 32,306$	
UPE	$y = 1,1455x + 52,52$	

L

$$y = 3,4524x + 29,152$$



Os valores em x representam o peso por metro linear enquanto os valores em y correspondem ao tempo de corte. Após ter a equação basta substituir x pelo valor do peso por metro linear de modo a obter o tempo de corte relativo a um perfil.

4.6.3. CÁLCULO DO TEMPO DE CORTE DE PERFIS NÃO MEDIDOS

No caso dos perfis HEM, tendo medido apenas um perfil dada não ser muito utilizado foi obtida a equação dos tempos de corte recorrendo ao declive ao tempo de corte medido para o perfil HEM 220 e a sua relação com os tempos medidos em perfis com características semelhantes.

Sabendo o tempo de corte do perfil HEM 220 verificou-se na base de dados dos perfis que já tínhamos as informações para tentar encontrar alguma relação entre os tempos de corte dos perfis HEA, HEB e HEM. Na tabela 15 compara-se o perfil HEM 220 com 2 perfis com medidas semelhantes.

Tabela 15 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 220.

Perfil	kg/m	Altura (mm)	Espessura (mm)	T. corte (s)
HEA 400	125	300	11	248
HEB 300	117	300	11	248
HEM 220	117	226	15,5	255

Como é possível observar na tabela apresentada acima, mesmo comparando diferentes listas de perfis, o tempo de corte é proporcional ao peso do perfil por metro linear. Apesar do perfil HEM ter

uma altura inferior e o aumento do tempo de corte ser proporcional ao aumento da altura de corte, o facto da espessura ser superior faz com que o serrote demora mais tempo a cortar a alma.

Precisando de dois pontos para conseguir calcular o declive da reta, precisamos de relacionar outros perfis de modo a saber o tempo de corte de outro perfil HEM. Nas tabelas 16, 17 e 18 apresentam-se as medições dos perfis semelhantes aos perfis HEM 200, HEM 260 e HEM 240, respetivamente.

Tabela 16 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 200.

Perfil	kg/m	Altura (mm)	Espessura (mm)	T. corte (s)
HEA 340	105	300	10	235
HEB 280	103	280	10,5	223
HEM 200	103	206	15	

Assim, para o perfil HEM 200, espera-se que o tempo de corte seja entre 220 e 230 segundos.

Tabela 17 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 260.

Perfil	kg/m	Altura (mm)	Espessura (mm)	T. corte (s)
HEA 600	178	300	13	368
HEB 450	171	300	14	343
HEM 260	172	268	18	

No caso do perfil HEM 260 espera-se que o tempo de corte seja entre 360 e 370 segundos.

Tabela 18 - Dados dos perfis semelhantes ao perfil HEM 240.

Perfil	kg/m	Altura (mm)	Espessura (mm)	T. corte (s)
---------------	-------------	--------------------	-----------------------	---------------------

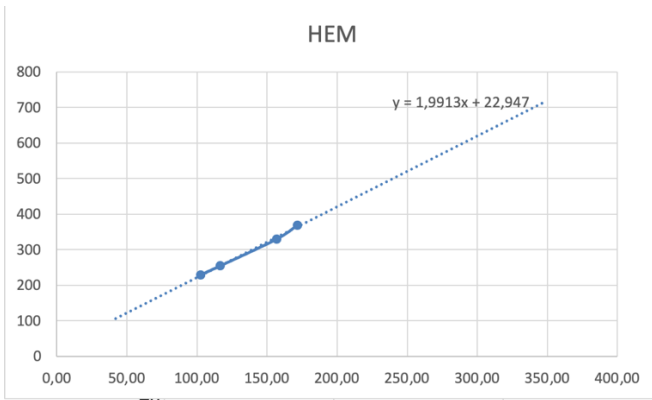
Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

HEA 500	155	300	12	326
HEB 400	155	300	13,5	315
HEM 240	157	248	18	

Por fim, para o perfil HEM 240, espera-se que o tempo de corte esteja entre 320 e 330 segundos.

Para efeitos de cálculo, irá ser o tempo maior dos intervalos correspondentes as estimativas calculadas para efeitos de cálculo por excesso. Devido à imprevisibilidade do corte e de facilmente acontecerem imprevistos, é mais certo o cálculo utilizando o valor mais alto. Utilizando os quatro tempos de corte relativos aos perfis HEM obtemos a equação e a respetiva linha de tendência apresentadas na tabela 19.

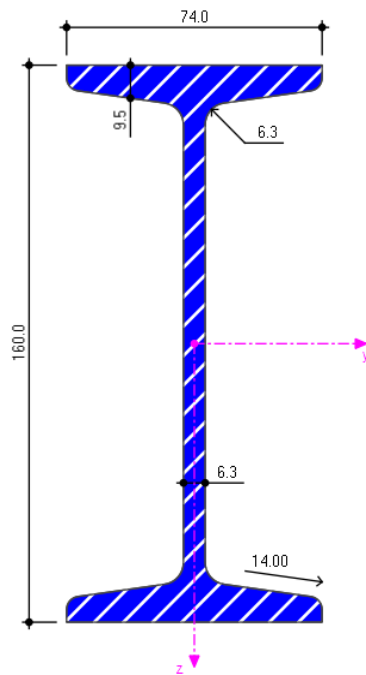
Tabela 19 - Equação e respetiva linha de tendência para os tempos de corte dos perfis HEM.

Perfil	Equação	Gráfico com linha de tendência
HEM	$y = 1,9913x + 22,947$	

Os perfis IPN também são menos utilizados sendo que, no tempo passado na empresa, também apenas foi medido um perfil, o IPN 160. Estes perfis são muito similares aos perfis IPE, apenas tendo as arestas interiores do banzo arredondadas. Ao verificar as figuras 54(a) e 54(b), pode-se comparar as medidas dos perfis IPE 160 e IPN 160.

IPN 160

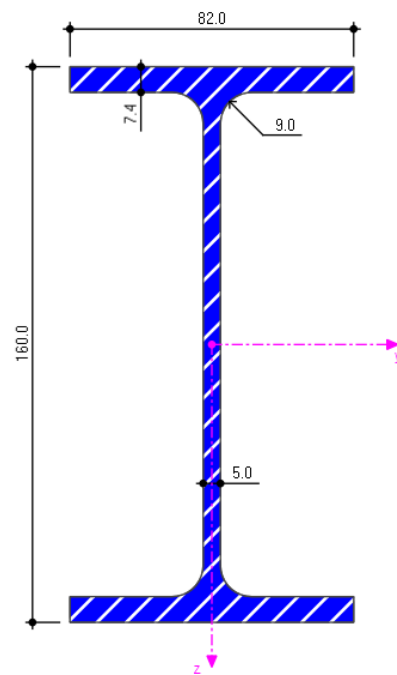
- DIN 1025-1:1995-05
- Ā-zkan



(a)

IPE 160

- DIN 1025:1965
- Macsteel



(b)

Figura 54 – (a) Perfil IPN 160; (b) Perfil IPE 160. (14)

Apesar de estes perfis terem o mesmo comprimento, que afeta pouco o tempo de corte uma vez que o perfil por norma é cortado deitado, as restantes medições são diferentes.

Deste modo, é preferível comparar o perfil IPN com perfil IPE mais semelhante em altura, sendo o de número superior, comparando assim, por exemplo, o IPN 140 com o IPE 160. Assim, na tabela 20 são apresentadas as medidas relevantes destes dois perfis.

Tabela 20 - Comparação das medidas de 2 perfis semelhantes: IPE 140 e IPN 160.

Perfil	Kg/m	Altura (mm)	Espessura (mm)	T. corte medido (s)
IPE 140	12,9	73	4,7	64
IPN 160	17,9	74	6,3	75

O tempo de corte no perfil IPN 160 foi cerca de 17% superior ao do IPE 140.

Outro fator que se pode notar comparando dois perfis deste tipo com alturas semelhantes é que a diferença entre as espessuras da alma aumenta quanto maior é o perfil. No caso dos perfis IPE 270 e IPN 340 a diferença entre espessuras é de 85%, comparando aos 34% no caso anterior. Deste modo, não faz sentido que o aumento do tempo de corte dos perfis seja o mesmo que os perfis IPE 140 e IPN 160.

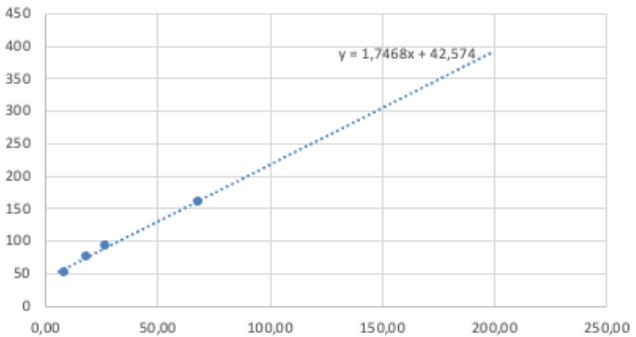
Para calcular o tempo previsto para o perfil IPN 340 pode-se recorrer também ao HEM 120, que tem altura e espessuras da alma semelhantes. Na tabela 21 apresenta-se as medidas dos perfis semelhantes ao perfil IPN 340, de modo a calcular uma estimativa do seu tempo de corte.

Tabela 21 - Comparação das medidas dos perfis semelhantes ao perfil IPN 340.

Perfil	kg/m	Altura (mm)	Espessura (mm)	T. corte medido (s)
IPE 270	36,1	135	6,6	121
IPN 340	68,1	137	12,2	
HEM 120	63,2	126	12,5	147

Uma vez que as espessuras da alma e o peso por metro linear entre os perfis IPN 340 e HEM 120 são semelhantes e o IPN tem uma altura 11 mm superior, é esperado que o tempo do perfil IPN 340 seja entre 155 e 160 segundos. Por excesso, ao assumir que o tempo de corte é 160 segundos, isto representa um aumento de 33% relativamente ao perfil IPE 270. A equação e a respetiva linha de tendência para o perfil IPN podem ser observadas na tabela 22.

Tabela 22 - Equação e respetiva linha de tendência para os tempos de corte dos perfis IPN.

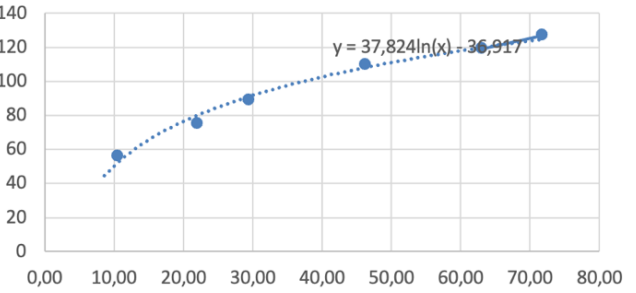
Perfil	Equação	Gráfico com linha de tendência
IPN	$y = 1,7468x + 42,574$	

Para os perfis UPN, dado que o aumento da sua altura vai sendo cada vez menor é mais preciso utilizar uma função logarítmica ao contrário da função linear. Esta função irá corresponder a um aumento cada vez menor com o aumento do tamanho dos perfis. O aumento da altura e o aumento do peso por metro linear entre perfis também é menor. Deste modo, espera-se que o aumento do tempo de corte seja menor entre perfis.

No caso dos perfis UPN só foi medido um perfil, o UPN 100, com um tempo de corte médio de 54 segundos. Para obter o tempo de corte dos perfis UPN irá ser comparado com os tempos de corte dos perfis UPE, IPN.

Fazendo uma estimativa dos tempos de corte de acordo com o valor medido para o perfil UPN 100, foi possível chegar à equação e linha de tendência apresentadas na tabela 23.

Tabela 23 - Equação e respetiva linha de tendência para os tempos de corte dos perfis UPN.

Perfil	Equação	Gráfico com linha de tendência
UPN	$y = 37,824\ln(x) - 36,917$	

Além do tempo de corte relativo a cada perfil, há também outras pequenas etapas que são aproximadamente semelhantes em todos os perfis. Estas correspondem à fixação da peça antes do corte e à descida e subida da serra antes e depois do corte, respetivamente. Os tempos relativos a estas movimentações vão variar consoante as dimensões da peça. Quanto maior forem as dimensões da peça, menor será a distância a percorrer e consequentemente menor será o tempo. No entanto, verificou-se que as variações não são significativas devido à maior parte do tempo ser gasto na aceleração, que é igual em todos os perfis.

No primeiro corte do perfil, a primeira fase é as pinças fecharem para segurarem o perfil e só no final a serra começa a descer. Nos restantes cortes estas 2 etapas acontecem em simultâneo encurtando assim o tempo

A serra antes do primeiro corte fica na posição mais elevada permitida pela máquina, de modo a deixar o perfil entrar livremente. Nos restantes cortes, a mesma sobe apenas um pouco acima do perfil. As suas coordenadas irão depender assim da altura do perfil que esta a cortar. O mesmo acontece com as pinças que estabilizam a peça.

Deste modo, o facto da pinça e da serra estarem mais próximas do perfil, assim como o facto destas duas etapas acontecerem em simultâneo faz com que o tempo de prender o perfil e da serra descer seja menor nos cortes seguintes ao primeiro.

No final do último corte, a serra sobe novamente até à posição mais alta, tendo um tempo mais elevado.

Apesar do procedimento ser igual, todas as etapas são mais rápidas na máquina na MCP3, a máquina mais recente. Os tempos de movimentação da serra e das pinças fixadoras podem ser observados na tabela 24.

Tabela 24 - Análise dos tempos de movimentação da serra e das pinças.

Máquina	Perfis	Fechar pinças (s)	Descer (s)	Subir e abrir (s)	Prender e baixar a meio (s)	Subir final (s)
MCP3	UPN 160	12	10	11	8	35

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

	IPE 270	11	10	10,5	8	35
	IPE 270	12	11	12	8	40
MCP1	UPN 100	13	12	12	8,5	43
	HEA 340	12	11	12	8	42

4.6.4. MOVIMENTAÇÃO DENTRO DO ARMAZÉM

Muitas vezes a entrega dos perfis atrasa e compromete o correto funcionamento da cadeia de produção dos perfis. Por vezes, os perfis podem chegar a empresa alguns dias mais tarde e o plano de corte poderá ter de ser alterado de modo ao serrote não ficar parado durante estes dias.

Os perfis necessitam de serem movimentados antes do corte de modo a serem deslocados desde o sítio onde estão guardados dentro do armazém até ao tapete de corte de modo a serem cortados. No polo 1, esta movimentação pode ser incerta devido a alguns perfis, por norma os de maiores dimensões e sobras de cortes anteriores, serem guardados na parte exterior do armazém. Uma vez que estes casos são pouco comuns, não serão contabilizados. A maneira mais precisa de contabilizar é através do peso do perfil. Sendo perfis leves com uma área de secção menor, estes serão armazenados em conjuntos pelo que no momento de colocá-los no tapete de corte serão movidos vários de uma vez. No caso de perfis de grandes dimensões apenas serão movimentados 1 ou 2 de cada vez. Uma vez que o comprimento do perfil não tem influência, irá-se utilizar o peso do perfil por metro linear.

Previamente ao corte, o operador prepara os perfis que vai cortar colocando-os no tapete lateral da máquina. Este tapete lateral tem capacidade para armazenar muitos perfis para serem cortados durante várias horas.

No final do corte, as peças finais também têm de ser movimentadas. Dependendo das peças e da sua sequência de fabrico, podem ser arrumadas dentro do armazém ou movimentadas diretamente para a etapa seguinte da produção.

4.6.5. CONSUMÍVEIS

Dada a variedade de peças cortadas pela empresa é difícil associar um valor de consumíveis a cada corte pelo que a maneira escolhida foi contabilizar todos os consumíveis que a empresa gastou durante todo um ano.

Sendo calculado desta maneira, o valor correspondente aos consumíveis gastos será impreciso para alguns perfis no caso de terem muitos furos, poucos furos ou alguma característica diferente do comum.

Durante os anos de 2023 e 2024 foram gastos anualmente em média 17931 € em consumíveis para esta máquina num total de 253 dias de trabalho, os dias úteis. Sendo que a máquina corta 85% do tempo das 9 horas laborais, 7 horas e 39 minutos, corresponde a um gasto de 9,26 € por cada hora de corte.

Dentro dos consumíveis entram todos os produtos que a máquina utiliza durante a preparação dos perfis. São considerados todas as brocas, serras, fresas, óleo de corte.

No entanto, uma vez que a maioria dos projetos contam com muitos perfis e com características distintas, a orçamentação final do projeto terá um valor aproximado à realidade. No entanto, a pessoa responsável pelo orçamento do projeto pode jogar com o valor obtido na ferramenta no caso das peças para um determinado projeto terem um número reduzido ou alto de furos, de modo que a empresa consiga um orçamento preciso e seja mais competitiva.

4.6.6. CASO DE ESTUDO - IPE270 COLOMBO – MCP1

A pedido da empresa fez-se o estudo do tempo de corte e furação dos perfis IPE 270. A empresa tinha vários perfis IPE muito semelhantes, todos com o mesmo comprimento, e necessitava de saber o tempo de preparação dos perfis de modo a conseguir calcular quantos dias demoraria a concluir a preparação de corte. Estes perfis diferiam de uns para os outros apenas em alguns furos, o que não tinha um efeito significativo no tempo de preparo.

O objetivo da empresa passou por saber o tempo de corte relativo a cada perfil de modo a calcular o tempo total de produção desta etapa do projeto.

Durante o período em que o serrote operou, predominantemente, com perfis IPE 270, foi possível observar as variações nos tempos de corte durante os diferentes dias. Outro fator que apresenta grande variação e imprevisibilidade refere-se aos tempos externos, relacionados à

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

preparação dos perfis para o corte. Esses tempos incluem as etapas de descarregamento dos perfis do caminhão no momento da receção, o armazenamento adequado e a colocação dos perfis no tapete de corte, a fim de estarem devidamente preparados para o processo de preparação.

Estudou-se o tempo de corte de um perfil IPE 270 com 15,5 metros utilizado na preparação “FE0242.2022 - PTP 203.R0 – *Pattern* 3 – LP203002”, que irá originar duas peças iguais IPE 270 com 7730 mm de comprimento, cada um com 18 furos de diâmetro de 22 mm e 12 furos de diâmetro de 18 mm.

O perfil original terá 15,5 metros de comprimento e irá permitir fazer duas peças, sendo assim necessários fazer 3 cortes com ângulos de 0°.

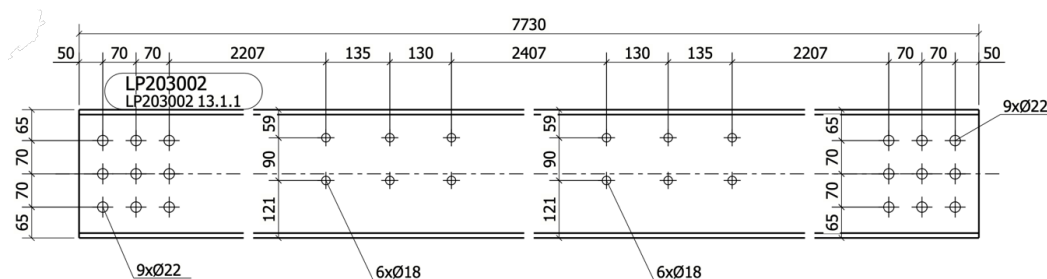


Figura 55 - Desenho técnico da peça LP203002.

Para os 9 furos de diâmetro de 22 mm, os tempos relativos à furação são apresentados na tabela 25.

Tabela 25 - Tempos de furação para os furos com diâmetro de 22 mm.

Parâmetro	Tempo (s)	Tempo total (s)
Furação	6,12	55,08
Movimentação vertical	0,8	4,8
Movimentação Horizontal (70 mm)	4,3	8,6
TEMPO TOTAL		68,5

Por outro lado, no caso dos 6 furos de 18 mm, os tempos relativos à furação são visíveis na tabela 26.

Tabela 26 - Tempos de furação para os furos com diâmetro de 18 mm.

Parâmetro	Tempo (s)	Tempo total (s)
Furação	8,3	49,8 (8,3x6)
Movimentação vertical	0,8	2,4 (0,8x3)
Movimentação Horizontal (70 mm)	5	10
TEMPO TOTAL		67,2

A sequência de corte da máquina passa por:

1. Fechar as pinças laterais que fixam a peça;
2. A serra desce com uma velocidade de 600 mm/min até à peça;
3. Corte do perfil com a velocidade de corte programada;
4. Após o corte as pinças abrem em simultâneo com a subida da serra;
5. O propulsor empurra as peças finais e a sucata, caso exista.



Figura 56 - Pinças de fixação dos perfis.

Dependendo da posição da serra no eixo y, o tempo de corte irá variar.

No primeiro corte, a serra parte de cima e as pinças de fixação da serra estão totalmente abertas. No final do corte a pinça e a serra só abrem até uma posição intermédia para deixar o perfil avançar.

No segundo corte, a serra e a pinça avançam da posição intermédia e no final do corte abrem totalmente, a serra sobe até à posição mais em cima e a pinça em abertura máxima. Isto acontece como medida de segurança pela máquina de modo a dar espaço ao propulsor para se deslocar, uma vez que o último corte do perfil neste caso fica muito próximo do final da peça, cerca de 40 mm.

No último corte as pinças seguram a peça deslocando-se desde a posição mais aberta e a serra desce desde o topo. No final, acontece o inverso, a serra sobe novamente até cima e as pinças abrem na totalidade.

No final do primeiro corte, a máquina leva a extremidade do perfil cortado para a sucata. Este processo leva em média 23 segundos. De seguida, a máquina continua as etapas da preparação do perfil.

Após o segundo corte, o primeiro perfil já está finalizado. De seguida, é levado até ao tapete localizado no final da máquina onde são colocados os perfis já preparados.

Depois do terceiro corte, o último, após a serra e as pinças abrirem na totalidade, o tapete rolante leva o último perfil até à zona das peças finalizadas e por fim a última sobra é empurrada para a sucata. Na tabela 27 apresenta-se o tempo relativo a cada fase do corte e em qual dos 3 cortes se inserem.

Tabela 27 - Tempos de cada fase e em que corte se enquadram.

Parâmetro	Tempo (s)	Cortes onde se insere
Corte	121	1,2,3
Serra descer de cima	11	1,3
Serra descer corte meio	4	2
Fechar pinças longe	12	1,3
Fechar pinças perto	5	2
Levantar serra	21	1
Levantar serra até cima	40	2,3

Deste modo, os tempos totais correspondentes a cada um dos 3 cortes são apresentados na tabela 28.

Tabela 28 - Tempo de cada corte.

Corte 1 (s)	Corte 2 (s)	Corte 3 (s)
163	169	183

Verificou-se que o tempo médio do percurso do propulsor entre cortes e furos é de cerca de 14s. A variação é muito curta, mesmo comparando percursos com 1 e 2 metros. Tal deve-se à maior parte do tempo relativo à deslocação ser gasto na aceleração e na travagem. Durante este processo de corte, foram verificadas 8 deslocações.

No final de todas as etapas, o propulsor desloca-se para a posição inicial, no início do tapete de corte. Este processo leva cerca de 110 segundos.

Após o propulsor recuar até à posição inicial, demora aproximadamente 2 minutos até o perfil seguinte começar a ser furado e cortado.

Deste modo, os tempos detalhados para cada etapa da preparação destes perfis são apresentados na tabela 29. No final é apresentado o tempo total esperado para a preparação “FE0242.2022 - PTP 203.R0 – *Pattern* 3 – LP203002”. É apresentado também o tempo para cada peça.

Tabela 29 - Tempo detalhado de cada etapa e tempos totais de corte.

Etapas	Etapas	Tempo (s)
1	Colocar peça desde o tapete lateral até zona de furação	120
2	9 furos de diâmetro Ø22	68,5
3	Movimentação da peça	14
4	6 furos de diâmetro Ø18	67,2
5	Movimentação da peça para a frente	14
6	Corte 1	163
7	Retirar sucata	23
8	6 furos de diâmetro Ø18	67,2
9	Movimentação da peça para a frente	14
10	9 furos de diâmetro Ø22	68,5

Análise de Tempos / Métodos e Consumos de Centro de Corte
Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos

11	9 furos de diâmetro Ø22	68,5
12	Movimentação da peça para a frente	14
13	Corte 2	169
14	Levar a 1ª peça preparada para o tapete final	62
15	Movimentação da peça para a frente	14
16	6 furos de diâmetro Ø18	67,2
17	Movimentação da peça	14
18	6 furos de diâmetro Ø18	67,2
19	Movimentação da peça	14
20	9 furos de diâmetro Ø22	68,5
21	Movimentação da peça	14
22	Corte 3	183
23	Levar a 2ª peça preparada para o tapete final	41
24	Retirar sucata	23
25	Propulsora recua para a posição inicial	110
Tempo total da preparação		25min 49s
Tempo da preparação de 1 peça LP203002		12min 55s

O tempo total de corte real da preparação foi de 25m47s pelo que foi possível chegar a um valor bastante preciso.

Durante um turno de trabalho, o tempo médio de corte total por perfil é esperado que esteja entre os 30 e 32 minutos, já com o tempo de colocar a peça no tapete e os possíveis imprevistos que possam acontecer ao operador, como trocar a serra, trocar as brocas, ir à casa de banho, entre outros.

Assim, num turno de 9 horas de trabalho, é esperado que os operadores cortem entre 17 e 18 perfis, correspondendo entre 34 e 36 peças finais, no caso destes perfis IPE270.

No caso da MCP3, estimou-se que a máquina é cerca de 20% mais rápida no processo total. No caso de perfis semelhantes, com o mesmo número de cortes e o mesmo número de furos, o tempo total de corte da máquina variou entre os 19 e 22 minutos.

No dia 2/5/2024, o operador cortou 40 perfis durante o turno noturno de 9 horas de trabalho o que corresponde ao previsto. Irá haver dias em que o número será inferior e dias em que será superior, mas através desta estimativa a empresa consegue calcular o número de horas necessárias para o corte de um projeto, conseguindo ter uma previsão dos custos e da data de entrega do cliente final.

Na MCP3 estudou-se também o tempo de corte para perfis IPE 270 com geometrias semelhantes. Apesar do tempo correspondente aos furos ser semelhante, o processo decorre bastante mais rápido. O tempo de movimentação do perfil é inferior e a agilidade da máquina é superior, o que faz que o processo demore menos tempo.

4.7. CORTE DE PERFIS – MCP3

4.7.1. TEMPOS DE CORTE DOS PERFIS

No caso da MCP3 é mais fácil existirem variações no tempo de corte uma vez que é mais fácil alterar a velocidade de avanço da serra. Deste modo, os operadores alteram frequentemente a velocidade de corte de acordo com as características do perfil. Por norma, após a serra ser mudada, a velocidade de avanço da serra é reduzida para em média 85 mm/min de forma a deixar a serra fazer a rodagem de modo a prolongar a sua vida. Nos restantes cortes a velocidade será alterada de acordo com o perfil, quanto mais espesso o perfil menor ser a velocidade de corte colocada pelo operador. Para a maioria dos perfis, a velocidade de corte está entre 100 e 100 mm/min.

Os tempos de corte serão da ferramenta correspondem à utilização de uma velocidade de descida da serra em torno dos 100 mm/min, por defeito. Verificou-se que esta era a mais utilizada

para a maior parte dos perfis dada a sua bola relação entre a velocidade do processo, o acabamento da peça e o desgaste da ferramenta.

Dada a escassez dos dados relativos ao tempo de corte desta máquina, optou-se por relacionar os tempos de corte com os obtidos na outra máquina de modo a encontrar uma relação entre os tempos. Na tabela 30 pode-se verificar que, em média, o tempo de corte da máquina do polo 3 é 17,5% inferior ao tempo de corte no polo 1.

Tabela 30 - Comparação dos tempos de corte entre a MCP1 e a MCP3.

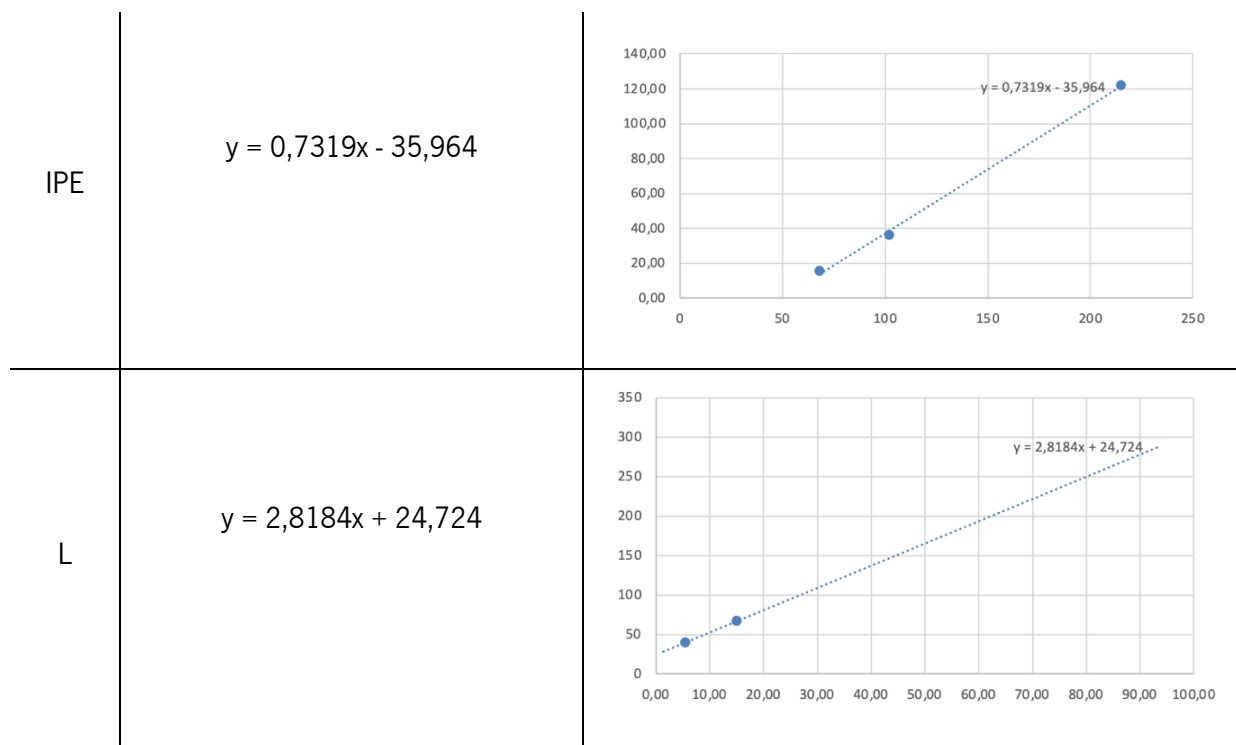
Perfil	Tempo de corte MCP1 (s)	Tempo de corte MCP3 (s)	% mais rápida
HEA 500	326	270	17%
IPE 160	83	68	18%
IPE 270	132	102	23%
UPN 120	61	50	18%
L 60X6	47	39	17%
L 100X10	81	67	17%

Os únicos perfis que foi possível recolher dados suficientes para fazer uma linha de tendência dos tempos de corte foram os perfis IPE e as cantoneiras L. Assim, os tempos de corte destes perfis foram calculados através de uma linha de tendência linear. De modo a confirmar o resultado obtido, calculou-se também o tempo de corte destes perfis relacionando com os tempos de corte obtidos na MCP1. Os tempos obtidos são similares. As equações e as respetivas linhas de tendência da MCP3 para os perfis IPE e L são apresentadas na tabela 31.

Tabela 31 - Equações e respetivas linhas de tendência para calcular os tempos de corte da MCP3.

Perfil	Equação	Gráfico com linha de tendência
---------------	----------------	---------------------------------------

Automático de Corte e Furação de Vigas Metálicas e Otimização de Processos



Para os restantes perfis, calculou-se recorrendo aos tempos obtidos para a MCP1 e variação dos tempos de corte entre máquinas calculada anteriormente calculada anteriormente de acordo com a tabela 30.

4.7.2. MOVIMENTAÇÃO DENTRO DO ARMAZÉM

No polo 3 este processo acontece de maneira mais eficiente e previsível, quando comparado com o polo 1, uma vez que a máquina apenas trabalha durante o turno noturno. As peças são sempre descarregadas do camião durante o dia por outros trabalhadores que estejam nas instalações e colocadas perto da máquina para facilitar o corte. Deste modo, durante o seu turno, o operador tem sempre os perfis organizados para o corte e não precisa de parar para receber novos perfis. Uma vez que é a única máquina que trabalha durante a noite, também tem a ponte sempre à sua disposição para colocar os perfis no tapete de corte. Dada a geometria e organização do armazém do polo 3, também é mais fácil e rápido de colocar as peças no tapete de corte.

O resultado desta disposição é que o operador consegue ter um tempo de corte mais constante e de acordo com o previsto, já que os fatores que criam imprevisibilidade e variabilidade são reduzidos.

Futuramente, quando forem reunidas as condições de trabalhar também durante horário diurno, o funcionamento desta parte da ferramenta deve ser revisto uma vez que as condições de trabalho serão alteradas.

4.7.3. CONSUMÍVEIS

Os consumíveis utilizados por esta máquina são semelhantes à máquina presente no polo 1, tendo de acrescentar as fresas e o óleo de corte. O custo de corte desta máquina acaba por ser superior uma vez que as serras são mais caras e nesta máquina os consumíveis tem um tempo de vida útil menor. Apesar das brocas serem iguais entre as duas máquinas, é registado quais são utilizadas por cada máquina.

Nesta máquina foram registados todos os dados a partir do ano de 2024. No ano de 2024 a máquina teve um gasto de aproximadamente 22500 € em consumíveis num total de 253 dias de trabalho, os dias uteis. Sendo que a máquina corta 85% do tempo das 9 horas laborais, 7 horas e 39 minutos, corresponde a um gasto de 11,63 € por cada hora de corte.

À semelhança do que acontece na máquina 1, a pessoa responsável pelo orçamento deve ter em atenção o facto do gasto em consumíveis ser uma média anual e o valor pode ser aumentado ou diminuído no caso de um projeto que utilize muitos ou poucos consumíveis.

4.7.4. AMORTIZAÇÃO DA MÁQUINA

O crédito correspondente à amortização desta máquina está a ser pago mensalmente em prestações de 700 €. A empresa pediu que este valor seja tido em conta na orçamentação dos projetos. Deste modo, considerando que a máquina está em funcionamento 85% do horário laboral, o custo por hora de corte será de 4,36 €, assumindo uma média de 21 dias uteis por mês.

Custo por hora = Custo amortização mensal/Dias de trabalho/Horas de corte diárias

$$\text{Custo por hora} = \frac{700}{21} / 9 \times 85\%$$

$$\text{Custo por hora} = 4,36 \text{ €}$$

4.8. CORTE DE TUBOS

Os tubos conformados a frio são pouco utilizados na construção metálica dadas as suas características de utilização específicas. Durante o tempo passado na empresa foi medido o corte de

apenas sete tubos, entre as duas máquinas. Ao falar com a empresa, foi dito pelos representantes que para estes perfis era importante ter apenas uma estimativa do tempo de corte, já que são pouco utilizados e não tem uma interferência grande no tempo e custo dos projetos.

Entre os tubos quadrados, redondos e de forma retangular estão disponíveis para utilização mais de 2000 medidas diferentes, no entanto, os intervalos de aumento de tamanho e espessuras são muito baixos. Deste modo, foram selecionados apenas parte dos perfis com aumentos semelhantes aos perfis apresentados anteriormente.

Para calcular os respectivos tempos de corte, os perfis foram comparados com as vigas de características semelhantes obtendo deste modo uma estimativa para o tempo. Na figura 57 apresenta-se a base de dados com os tempos de corte dos tubos conformados a frio.

Tubulares Laminados a frio				
CHS40x4	3,55	0,126	40	28
CHS50X3	3,48	0,157	42	29,4
CHS55X6,3	7,57	0,173	51	35,7
CHS60X6,3	8,34	0,188	54	37,8
CHS70X6,3	9,90	0,220	58	40,6
CHS71,5X2	3,43	0,225	55	38,5
CHS80X6,3	11,50	0,251	65	45,5
CHS88,9X7	14,10	0,279	71	49,7
CHS88,9X10	19,50	0,279	73	51,1
CHS101,6X7	16,30	0,319	75	52,5
CHS101,6X10	22,60	0,319	77	53,9
CHS108X10	24,20	0,339	81	56,7
CHS125X3	9,03	0,393	78	54,6
CHS125X10	28,40	0,393	85	59,5
CHS125X12,5	34,70	0,393	87	60,9

Figura 57 - Base de dados com os tempos de corte dos tubos.

4.9. MOVIMENTAÇÃO DA PEÇA (PROPULSOR)

Uma grande parte do tempo correspondente à preparação de um perfil é relativo à movimentação da peça através do propulsor e do motor capaz de transportar as peças finais e a sucata. O propulsor é movido de acordo com as instruções presentes no programa feito pelo operador da máquina, contendo todas as informações da peça e todas as respectivas movimentações para a maquina.

A movimentação do propulsor durante o corte é, à semelhança de todas as etapas, mais rápido na MCP3.

Nesta tabela 32, estão presentes os valores médios relativos a vários ensaios. Neste processo, o peso e o tamanho da peça não tem influência no tempo das etapas já que o propulsor move-se sempre com a mesma velocidade.

Tabela 32 - Tempos de movimentação do propulsor na MCP1 e MCP3.

Máquina	Perfil	Levar sucata (s)	Levar peça (s)	Levar última peça e sucata (s)	Propulsor atras (s)
MCP1	HEA 550	31	62	64	110
	IPE 270	31	62	63	110
MCP3	SHS 400 x 8	36	54	59	90
	IPE 270	36	55	59	90

O processo de levar a sucata corresponde ao tempo de levar a sucata correspondente à primeira extremidade do perfil, cortada no primeiro corte. O tempo de levar as peças corresponde ao tempo referente às peças finais, excluindo a última. Por fim, o processo de levar a última peça e a sucata corresponde à etapa após o último corte, em que a última peça e a outra extremidade do perfil são levadas em simultâneo.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E SUGESTÃO DE MELHORIAS

Ao recorrer a esta ferramenta para a orçamentação, a empresa irá ter uma redução do tempo gasto na cotação dos projetos e um resultado mais preciso e detalhado dos custos relativos a cada uma das etapas. Uma vez que a ferramenta tem uma utilização fácil e intuitiva, pode ser utilizada por operadores diferentes mantendo sempre a consistência e a precisão dos resultados.

A empresa tem todo o processo de fabrico dos perfis muito otimizado e organizado. A principal melhoria na cadeia de fabrico de perfis passa por conseguir orçamentar os projetos de maneira mais precisa de modo a conseguir ser mais competitiva no mercado, minimizando assim possíveis falhas e aumentando a sua competitividade. Algo que pode ser melhorado é a receção dos perfis. Receber os perfis dentro dos prazos e de maneira organizada de modo a serem fáceis de arrumar iria facilitar bastante o processo e reduzir os custos. Contudo, isto é algo que a empresa tenta combater com as empresas de transporte e os fornecedores diariamente, mas até ao momento, com pouco sucesso.

A ferramenta necessita de ser atualizada periodicamente no caso de alterações nos preços e metodologias de fabrico. O preço da energia deve ser alterado constantemente já que, uma vez que atualmente o contrato de energia da empresa está de acordo com o preço indexado, o preço varia diariamente. Por outro lado, sempre que existam alterações aos salários dos operadores este valor também deve ser atualizado.

Durante as primeiras utilizações da ferramenta após ser aplicada na empresa, devem ser comparados os resultados obtidos pela ferramenta e os resultados reais para os projetos. Isto irá possibilitar a corrigir e aprimorar a ferramenta. O aprimoro continuo da ferramenta irá contribuir para que esta se torne mais robusta e alinhada às necessidades do mercado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo e a construção de uma ferramenta de orçamentação para o corte e furação de vigas metálicas para a empresa Metaloviana S.A. tem o objetivo de facilitar e otimizar significativamente os processos de fabrico, proporcionando um aumento na precisão dos orçamentos dos projetos e uma redução nos custos operacionais. Tal proporciona a capacidade de realizar orçamentos mais rápidos e precisos, aumentando a competitividade da empresa no mercado.

Foi desenvolvida um modelo de cálculo através do software Microsoft Excel que permite integrar todas as variáveis e etapas relativas aos processos de fabrico, de forma a obter estimativas precisas do tempo do custo de produção. Verificou-se que o tempo de corte e furação é diretamente influenciado por fatores como a espessura e altura do perfil, a velocidade de descida e de rotação e o estado de desgaste da ferramenta. Além disso, o estudo destacou a importância de um planeamento detalhado e organizado para minimizar os tempos de paragem e aumentar a eficiência.

A introdução de uma ferramenta de orçamentação baseada em dados reais medidos ao longo do tempo passado na empresa corresponde a um avanço significativo da empresa, permitindo estimar custos com rigor e reduzir os desvios entre orçamentos e resultados. Este desenvolvimento contribui para uma gestão melhorada e mais eficiente dos recursos, permitindo que a empresa se torne mais competitiva no mercado.

Como perspetivas futuras, é importante a continuação da monitorização do desempenho das ferramentas e máquinas, assim como atualizar periodicamente as variáveis que sofram algum tipo de alteração.

Espera-se que a Metaloviana continue a crescer cada vez mais dentro deste mercado tão competitivo. A empresa tem mostrado crescimento anual e a procura da melhoria dos processos, fazendo obras com graus de exigências muito elevados por todo o país. Esta ferramenta vai auxiliar a empresa e conseguir ser mais competitividade dentro deste mercado e destacar-se da concorrência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Metaloviana S.A.. Published 2024. Accessed January 20, 2025. <https://www.metaloviana.pt/>
- [2] Davim, J. Paulo. "Machining and machine-tools: Research and development.". Published 2013. Accessed April 10, 2024.
- [3] Caroline Pereira Martendal. Aços com efeito TRIP. Published 2015. Accessed April 23, 2024. <https://engenheirodemateriais.com.br/2015/10/21/acos-com-efeito-trip/>
- [4] Biopdi - Equipamentos para Ensaio de Materiais. Published 2023. Accessed January 21, 2025. <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/>
- [5] Norma EN 1025. Published 2012. Accessed May 3, 2024.
- [6] Dlubal Software GmbH. Published Online. Accessed January 28, 2025. <https://www.dlubal.com/pt/propriedades-de-seccoes-transversais/S>
- [7] Norma EN 1090. Published 2018. Accessed May 3, 2024.
- [8] Senthilkumar, S. M., Sree Rangaraj, K. P., & Prabhukarthikeyan, M. "Experimental investigation and optimization of machining parameters in turning of AISI 304 austenitic stainless steel.". Published 2018. Accessed May 18 2024.
- [9] Odebrecht Johanna. "O que é Certificação ISO? Conheça as principais e saiba como obter na sua empresa" Published 2021. Accessed January 12 2025. <https://blog-pt.checklistfacil.com/certificacao-iso/>
- [10] Cardoso Miguel. "Implementação da Marcação CE para Estruturas Metálicas – Estudo de caso na serralharia da Carpincasais"- Published 2015. Accessed December 28, 2024. https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/39394/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Maciel%20Cardoso_PG24069_2015.pdf
- [11] https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_pt.htm

- [12] Brian Perret. Published 2012. Accessed January 5, 2025.
<https://web.archive.org/web/20120816025645/http://highfields-arc.co.uk/geninfo/thecemark.htm>
- [13] Instituto de Meteorologia, I. P.. Published 2000. Accessed November 12, 2024.
https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_71-00_VIANA_CASTELO.pdf
- [14] KALTENBACH GmbH + Co. KG. manual KALTENBACH KDS 615. Published 2006. Accessed January 14, 2025.
- [15] KALTENBACH GmbH + Co. KG. manual KALTENBACH KBS 750. Published 2006. Accessed January 14, 2025.
- [16] KALTENBACH GmbH + Co. KG. manual KALTENBACH KDP 1036. Published 2022. Accessed January 14, 2025.
- [17] KALTENBACH GmbH + Co. KG. manual KALTENBACH KBS 1051 DG. Published 2022. Accessed January 14, 2025.

<https://blog-pt.checklistfacil.com/certificacao-iso/>

Norma EN 1090-2

Norma EN 10219

https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_pt.htm

<https://www.dlubal.com/pt/propriedades-de-seccoes-transversais/>

Astakhov, V. P. (2007). "Machining of Hard Materials." Springer Science & Business Media

Shaw, M. C. (2005). "Metal Cutting Principles." Oxford University Press. (3)

Janabi-Sharifi, F. G. (2008). "Performance of sawing tools when cutting medium carbon steel."
Journal of Materials Processing Technology, 197(1-3), 372-377

Limbrunner, G. F., & Jensen, C. T. (2010). "Reinforced Concrete Design." Pearson

Altintas, Y., & Budak, E. (1995). "Analytical prediction of stability lobes in milling."

https://pt.wikipedia.org/wiki/Limite_de_escoamento

<https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/> foto tensao deformação

<https://aco.com.br/aco/tempera-cementacao-revenimento/> gráfico tempera