Instituto Superior
de Engenharia
Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Conceção e Desenvolvimento de Estruturas Metálicas

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

Jorge Daniel Teixeira Baltazar

Orientador

Prof. Doutor António Santos Simões

Supervisor na empresa Carvalho e Mota

Eng.º João Daniel Mota Carvalho

Coimbra, fevereiro, 2024

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à empresa Carvalho e Mota indústria metalomecânica, pela disponibilidade, em contexto industrial, poder realizar o estágio. Agradeço ao Eng.º Daniel Carvalho pelo acolhimento e a fácil integração na empresa, ao Eng.º Paulo Carvalho, Eng.º José Favas e Márcia Gonçalves, pela paciência, ajuda e tempo prestado durante a realização deste projeto. A todos os colegas da empresa que sem eles não era possível compreender todo o processo de construção das estruturas, assim como o funcionamento da maquinaria.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor António Santos Simões, pelo apoio e incentivo na orientação do trabalho, a demostração em ajudar a aprender coisas novas, garantindo o sucesso da pesquisa, e da organização do estágio.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas no incentivo e encorajamento no término de uma das fases importantes da minha vida.

Termino, agradecendo a todas as pessoas da minha família que me apoiam em todos os momentos, motivando e tranquilizando nos momentos de maior fraqueza e dificuldade.

RESUMO

O relatório de estágio aqui apresentado foi desenvolvido na empresa Carvalho e Mota, no setor de construção e desenvolvimento de estruturas metálicas.

Este trabalho aborda a estrutura organizacional da empresa desde o desenvolvimento do produto, produção e expedição, dando a conhecer as etapas necessárias para melhorar a compreensão dos conceitos de fabrico.

Para compreender melhor o funcionamento da empresa, é dado a conhecer o layout da área a de produção, a vantagem de um bom fluxo de processo, evitando um longo carregamento de peças.

Focar a importância de documentar as normas e requisitos de desempenho das estruturas metálicas, com a respetiva marcação CE, pois estes documentos são fundamentais na garantia de qualidade e conformidade.

Dar a conhecer o impacto que a preparação e montagem apresentam na conformidade das peças, devido as exigências impostas nos desvios permitidos das cotas, ângulos e empenos, no momento de inspeção dos componentes.

Posteriormente, adquirir conhecimento relativo aos equipamentos usados durante a fabricação dos componentes, dando especial atenção aos procedimentos de trabalho, parâmetros, limpeza e segurança, tentando obter o nível de qualidade pretendida.

No processo produtivo, é dada uma especial atenção aos métodos de soldadura, sendo de elevada importância respeitar as normas, as inspeções e realizar ensaios não destrutivos, de forma a estabelecer segurança e confiança no trabalho realizado.

Termino o presente relatório dando sugestões de melhoria relativamente à importância de aprimorar os dispositivos de segurança durante a operação de fabrico, pois são constante preocupação os gases e partículas libertados no processo de soldadura. Estes gases e partículas contribuem para um ambiente saturado com elevada deposição de substâncias na área de trabalho e sobre os equipamentos, levando a uma manutenção adicional e menor produtividade dos operários.

Palavras-chave: Desenho de Fabrico; Planificação; Ficheiro NC; Furação Computorizada; Corte Laser.

ABSTRACT

The internship was carried out at the company Carvalho e Mota, which focuses on the creation and assembly of metallic structures.

This report addresses the company's organizational structure since product development, creation and shipping while demonstrating the necessary steps to improve the understanding of manufacturing concepts.

The layout of the production area is provided to understand the company's organization and the advantages of an adequate process flow, avoiding the long loading of parts and materials.

The importance of documenting the standards and performance requirements of metallic structures, with the respective CE marking, is considered, as these documents play a fundamental role in ensuring quality and compliance.

The document describes the impact that preparation and assembly have on the conformity of the parts due to the requirements imposed on the permitted deviations of dimensions, angles and warps when inspecting the components.

Subsequently, describes the acquire knowledge regarding the equipment used while manufacturing components, focusing on the work procedures, parameters, cleaning and safety while obtaining a desired level of quality.

In the production process, special attention is given to the welding methods. Respecting standards and inspections and carrying out non-destructive tests to establish safety and confidence in the tasks performed is extremely important.

The conclusions provide suggestions to improve safety devices during the manufacturing operation. Gases and particles released during the welding process are a constant concern. They contribute to a saturated environment with high deposition of substances in the working area and equipment, leading to additional maintenance and downtime for workers.

Keywords: Manufacturing Design; Planning; NC Files; Computerized Drilling; Laser Cut.

ÍNDICE

Agradecimentos 1
Resumo 2
Abstract 3
Índice de Figuras 7
Índice de Tabelas 10
Lista de siglas e acrónimos 11
Simbologia 11
1 Introdução 12
1.1 Enquadramento 12
1.2 Objetivos 13
2 Empresa 14
2.1 Áreas de Negócio da Empresa 15
2.2 Estrutura Organizacional Atual 16
2.3 Layout da Empresa Atual 17
2.4 Higiene, Segurança e Ambiente 18
2.4.1 Exposição ao Ruído 18
2.4.2 Exposição a Partículas 19
3 Normas, Legislação e Certificados aplicáveis 21
3.1.1 Aplicação em Aços 21
3.1.2 Soldadura 21
3.1.3 Furação 22
3.1.4 Galvanização 22
3.2 Preparação e Montagem em Fábrica 23
3.2.1 Verticalidade dos Apoios 24
3.2.2 Flecha 24
3.2.3 Posicionamento e Desvios na Furação 25
3.2.4 Desvios Permitidos nos Entalhes 25
3.2.5 Perpendicularidade dos Cortes 25
3.2.6 Tolerância Permitida no Corte 26
3.2.7 Tolerância nos Ângulos 26
4 Principais Materiais Utilizados 27

4.1.1 Aço S355 27
4.1.2 Aço S235 27
4.1.3 Aço DX51D 28
4.1.4 Alumínio AW5005 29
5 Atividades Desenvolvidas 30
5.1 Concetualização 31
5.2 Parâmetros Obtidos dos Desenhos 32
5.3 Conversão e Planificação 36
5.3.1 Desenhos para o Fabrico de Vigas 36
5.3.2 Planificação de Tubos 37
5.4 Atividades no Setor de Produção 38
5.5 Engenharia de Processos por Laser 39
5.6 Processo e Otimização do Corte 2D 40
5.7 Processo de Corte Laser de Tubos 41
5.7.1 Secção de Alimentação 42
5.7.2 Secção de Corte 43
5.7.3 Secção de Descarga 44
5.8 Parâmetros do Processo de Corte por Laser 44
5.8.1 Potência de Radiação 45
5.8.2 Velocidades de Corte 45
5.8.3 Posição do Ponto de Focalização 45
5.8.4 Diâmetro do Feixe 47
5.8.5 Tipo de Gás 47
5.8.6 Pressão do Gás 48
5.9 Defeitos na Escolha Indevida dos Parâmetros do Processo 49
5.10 Furação Computorizada 50
5.10.1 Método de Furação 51
5.10.2 Tipos de Ferramentas 52
5.10.3 Trocas de Ferramentas e Parâmetros de Operação 52
5.11 Problemas Ocorridos em Contexto de Trabalho 56
5.12 Processo de Soldadura MIG/MAG e Métodos de Transferência 58
5.12.1 Transferência Curto Circuito 58
5.12.2 Transferência Globular 58

5.12.3 Transferência por Spray 58
5.13 Processo de Soldadura TIG 59
5.14 Métodos Utilizados na Produção 60
5.15 Decapagem por Processo Abrasivo 61
5.16 Aspersão Térmica por Arco Elétrico 62
5.17 Galvanização 63
5.18 Processos de Galvanização 64
5.19 Limpeza e Controlo de Peças 65
5.20 Não Conformidades e suas Causas 65
5.20.1 Erros de Interpretação de Desenhos Técnicos 65
5.20.2 Erros de Execução 66
5.21 Ensaios Não Destrutivos 66
5.21.1 Inspeções Visuais 66
5.21.2 Líquidos Penetrantes e Etapas de Ensaio 67
5.21.3 Ultrassons 68
5.22 Relatório de Inspeção 71
6 Sugestões, Comentários e Propostas de Melhoria 72
7 Conclusão 73
8 Bibliografia e Webgrafia 75
8.1 Bibliografia 75
9 Anexos 77
Anexo A - Rastreabilidade do Lote 78
Anexo B - Proteção Gasosa 79
Anexo C - Soldadura MAG com Fio Sólido e Proteção Gasosa 80
Anexo D - Aprovação aos Operadores de Soldadura 81
Anexo E - Revestimento e Espessura do Galvanizado 82
Anexo F - Parâmetros de Corte Fresa 14 [mm] 83
Anexo G - Exigências dos Relatórios de Inspeção 84
Anexo H - Relatório de Inspeção 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sede Carvalho e Mota (Fonte: Carvalho & Mota, 2010) 14
Figura 2.2 Vista Interna de um aerogerador (Fonte: Aguerri, 2013) 15
Figura 2.3 Organograma empresarial atual (Fonte: Carvalho & Mota) 16
Figura 2.4 Layout atual da empresa (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 17
Figura 2.5 Tampão auditivo (Fonte: Protrabalho s.d) 19
Figura 2.6 Protetor auricular (Fonte: Sove s.d) 19
Figura 2.7 Máscara FFP3 (Fonte: Moldex, s.d) 20
Figura 3.1 Verticalidade dos apoios soldados (Fonte: NP 1090, 2010) 24
Figura 3.2 Flecha permitida (Fonte: NP 1090, 2010) 24
Figura 3.3 Desvio na furação (Fonte: NP 1090, 2010) 25
Figura 3.4 Desvios nos entalhes (Fonte: NP 1090, 2010) 25
Figura 3.5 Retilinearidade nos cortes (Fonte: NP 1090, 2010) 25
Figura 3.6 Tolerância de Corte (Fonte: NP 1090, 2010) 26
Figura 3.7 Desvio angular (Fonte: NP 1090, 2010) 26
Figura 5.1 Secção interna de um aerogerador (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 30
Figura 5.2 Desenho técnico de um enrolador de cabos (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 33
Figura 5.3 Conjunto enrolador de cabos (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 34
Figura 5.4 Planificação da individual com cotas (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 34
Figura 5.5 Planificação da peça individual (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 35
Figura 5.6 Desenho técnico individual (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 35
Figura 5.7 Peças dispostas no Autocad (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 36
Figura 5.8 Visualização do perfil no Advance Steel (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 36
Figura 5.9 Aproveitamento e corte de tubos no programa Lantek (Fonte: Carvalho & Mota) 37
Figura 5.10 Máquina de corte laser (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 39
Figura 5.11 Cabeça de corte (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 40
Figura 5.12 Nesting máquina laser (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 41

Figura 5.13 Estrutura corte de tubos (Fonte: Maqfort, s.d.) 42
Figura 5.14 Bucha e secção de suporte do tubo (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 42
Figura 5.15 Corte laser com luneta rotativa e cabeça de corte fixa (Fonte: Carvalho & Mota) 43
Figura 5.16 Possíveis movimentações da máquina de corte laser (Fonte: Abreu, P. 2021) 43
Figura 5.17 Comparação entre cortes com e sem rotação da cabeça laser (Fonte: Abreu, P. 2021) 44
Figura 5.18 Qualidade de corte em função da distância focal (a) Aço de 15 [mm] (b)Aço Inoxidável 8 [mm] (Fonte: Amaral, I. 2018) 46
Figura 5.19 Largura de corte em função da distância focal (Fonte: Amaral, I. 2018) 47
Figura 5.20 Corte de aço de 15 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 48
Figura 5.21 Corte de aço de 20 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 48
Figura 5.22 Máquina de furação computorizada (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 50
Figura 5.23 Furação de entalhes com fresa de 14 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 51
Figura 5.24 Broca com desgaste prematuro (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) .. 57
Figura 5.25 Ferramenta porta pastilhas inutilizada (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 57
Figura 5.26 Processos de deposição de material de adição (Fonte: Cleber, F. 2005) 59
Figura 5.27 Processo de soldadura TIG (Fonte: Aços Nobre. s.d) 60
Figura 5.28 Decapagem por jato abrasivo (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 61
Figura 5.29 Processo de obtenção do revestimento (Fonte: Sulcromo s.d) 62
Figura 5.30 Aplicação do revestimento de zinco (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 62
Figura 5.31 Peças Galvanizadas (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 63
Figura 5.32 Sequência de Galvanização (Fonte: Eurogalva. s.d) 65
Figura 5.33 Aplicação de Líquidos Penetrantes (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 68
Figura 5.34 Procedimento pulso-eco (Fonte: Oliveira, D. 2019) 69
Figura 5.35 Metodologia por transparência (Fonte: Oliveira, D. 2019) 69

Figura 5.36 Método por imersão (Fonte: Oliveira, D. 2019) 70
Figura 5.37 Plataforma de óleo (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 70
Figura 9.1 Parâmetros de Corte Fresa 14 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 83
Figura 9.2 Exigências dos Relatórios de Inspeção (Fonte: Carvalho & Mota) 84
Figura 9.3 Relatório de Inspeção (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 85

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Tempo de arrefecimento do cordão de soldadura (Fonte: NP 1090, 2010) 22
Tabela 2 Folgas admitidas na furação (Fonte: NP 1090, 2010) 22
Tabela 3 Requisitos do revestimento por galvanização (Fonte: NP 1090, 2010) 23
Tabela 4 Características do aço S235 (Fonte: Ramada Aços, s.d) 27
Tabela 5 Característico do aço DX51D (Fonte: Ramada Aços. s.d) 28
Tabela 6 Propriedades da liga AW5005 (Fonte: Ramada Aços. s.d) 29
Tabela 7 Informação detalhada da obra (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 31
Tabela 8 Tabela de secções e preço (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 32
Tabela 9 Características da focalização do laser (Fonte: Amaral, I. 2018) 45
Tabela 10 Defeitos ocorridos segundo os parâmetros de corte (Fonte: Amaral, I. 2018) 49
Tabela 11 Ferramentas utilizadas (Fonte: Empresa Carvalho & Mota) 52
Tabela 12 Parâmetros de corte para brocas da Palbit (Fonte Palbit 2020) 53
Tabela 13 Parâmetros de corte para fresas Palbit (Fonte Palbit 2020) 55

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

CAD - Desenho Assistido por Computador

CAM – Fabrico Assistido por Computador

CNC - Controlo Numérico Computorizado

EN - Norma Europeia

EPI - Equipamento de Proteção Individual

FFP - Filtering Facepiece

ISO - International Organization for Standardization

NC - Ficheiros de Controlo Numérico

Nesting - Processo de Disposição para Corte Laser de Forma a Minimizar o Desperdício.

s.d – Sem Data

ZTA - Zona Termicamente Afetada

SIMBOLOGIA

[HRA] - Dureza Rockwell A

[HV]- Dureza Vickers

[Ra] - Rugosidade Média

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A empresa Carvalho e Mota dedica-se à fabricação e construção de estruturas metálicas, para a indústria de aerogeradores, fabricado os internos, como zonas de pavimentação, varandins e portas, plataformas de óleo e suportes de escadas.

Este relatório pretende dar a conhecer as diversas tarefas realizadas durante o estágio, com o objetivo de apresentar sugestões com vista a melhorar o funcionamento de toda a indústria, demostrando todo o processo de conceção e produção em ambiente fabril, assegurando o cumprimento exigido na certificação normativa, como forma de assegurar os requisitos de qualidade, ambiente e segurança.

Numa fase inicial, é necessário interpretar os desenhos 2D, os tipos de construções e os materiais utilizados, para melhor compreender o conjunto de condições exigidas nas operações de maquiagem, corte laser e soldadura, assim como, a influência dos seus parâmetros na qualidade dos componentes durante o processo de fabricação.

No desenvolvimento deste trabalho é demostrada a opção viável no tratamento superficial, galvanização, expondo todo o trabalho necessário para obter um bom acabamento, desde a preparação da superfície, processo de galvanização e normas existentes.

Salientar o método usado na proteção de peças de menores dimensões, aspersão térmica que, de forma mais económica e viável, em relação a prazos de entrega, oferece uma proteção superficial que pode ser pintada, evitando a subcontratação de empresas específicas.

Por último, relacionar a importância dos relatórios de inspeção, na garantia de conformidade do produto, mostrando o rigor e a qualidade de construção, baseando as tomadas de decisão, em inspeções periódicas de ensaios não destrutivos, demostrando uma boa impressão a empresas interessadas em realizar o seu produto.

Desde já, refiro que todas as figuras retiradas da empresa foram devidamente autorizadas pela administração.

1.2 Objetivos

O principal objetivo do presente relatório é relacionar os conhecimentos obtidos durante a realização da formação académica, aplicando-os na prática em contexto real de produção.

O trabalho enquadra-se na área de conceção e desenvolvimento de produto, no setor da indústria de construção de torres eólicas. Serão abordados temas como a elaboração de desenhos de construção, os planos de fabrico, preparação e acompanhamento de trabalho de produção.

No Capítulo 2 é dada uma introdução da empresa onde decorreu o estágio, assim como, as suas áreas de negócio e a estrutura organizacional.

No capítulo 3 são especificadas as normas aplicadas em aços e, inclusive, a preparação e montagem em fábrica de acordo com as tolerâncias permitidas.

No Capítulo 4 são abordados os principais materiais utilizados na construção dos internos de um aerogerador.

No Capítulo 5 é dado ênfase aos processos fundamentais de fabrico e, igualmente, aos métodos de proteção do aço, não conformidades e ensaios não destrutivos.

No Capítulo 6 são apresentadas sugestões, comentários e propostas de melhoria de acordo com a observação e recolha da informação da fábrica.

No final, contribuir para o desenvolvimento da empresa e implementar possíveis melhorias quer no processo de fabrico, ambientais ou processamento de informação.

Para o efeito foi desenvolvido um plano de trabalhos que previa o desenvolvimento das seguintes atividades:

- Preparação do estágio e aprofundamento das matérias a desenvolver;
- Introdução à indústria metalomecânica;
- Descrição específica da metodologia de trabalho da empresa;
- Desenvolvimento de conhecimentos na área de preparação de desenhos de fabrico;
- Acompanhamento do plano na área de produção;
- Metodologias e planeamento de trabalho, análise de problemas;
- Implementações e melhorias.

2 EMPRESA

A empresa Carvalho e Mota (Fig. 2.1) destina-se ao fabrico de caixilharias e estruturas metálicas. Iniciou atividade em 1982 em São Martinho de Anta, no concelho de Sabrosa. Em resultado de um crescimento da produção, em 1991, houve a necessidade de mudar a sede para o parque industrial de Vila Real, apostando na modernização e expansão quer em infraestruturas e equipamentos.

Em 2012, foi implementado um sistema de qualidade segundo as normas ISO 9001 certificada pela Société Générale de Surveillance (SGS), permitindo à Carvalho e Mota ser das primeiras empresas de criação de caixilharias normalizadas, elevando a qualidade dos serviços prestados [12].

Com a mudança de gerência para a segunda geração, foi possível abrir novos horizontes na construção de estruturas, dedicando-se às energias renováveis, sendo como principal objetivo a criação de peças individuais para posterior montagem por empresas secundárias.

De forma a minimizar os custos de fabrico adquiriu novos equipamentos para evitar a subcontratação de empresas, modificou o layout de trabalho para evitar perdas de tempo e desgaste dos trabalhadores, e assim escoar o produto sem interromper a linha produtiva.

Figura 2.1 Sede Carvalho e Mota (Fonte: Carvalho & Mota, 2010)

2.1 Áreas de Negócio da Empresa

Os principais mercados em que a empresa se posiciona envolve, essencialmente, duas áreas, o fabrico de componentes para aerogeradores e a construção de caixilharias eficientes. Dada a incidência do meu estágio, se circunscrever na área do fabrico de componentes internos de torres eólicas, irei aprofundar o processo da sua construção, a partir da ordem de fabrico, até ao controlo e expedição das peças, não dando ênfase ao desenvolvimento de caixilharias. Assim, irei fazer uma breve descrição destes equipamentos e do tipo de peças que são produzidas.

As torres eólicas variam consoante o relevo e a quantidade de energia a produzir, podendo apresentar entre 20 e 170 metros de altura. São constituídas por 3 a 5 secções, podendo pesar na totalidade entre 130 e 200 toneladas. No processo produtivo, a Carvalho e Mota apenas fornece os elementos estruturais internos (Fig. 2.2), sendo constituídos, principalmente, por plataformas de óleo, elementos de suporte de escadas e elevadores, varandins, vigas de suporte das secções e elementos de fixação das plataformas pedonais [1].

Todas as peças são elaboradas em alumínio ou em aço sujeitas a tratamentos de corrosão, galvanizadas que, apesar de, estarem no interior por secções protegidos das intempéries, seguem normas específicas de fabrico.

Figura 2.2 Vista Interna de um aerogerador (Fonte: Aguerri, 2013)

2.2 Estrutura Organizacional Atual

A empresa encontra-se dividida em 6 departamentos, sendo que o estágio decorreu no departamento de conceção e desenvolvimento de produtos e no departamento de produção.

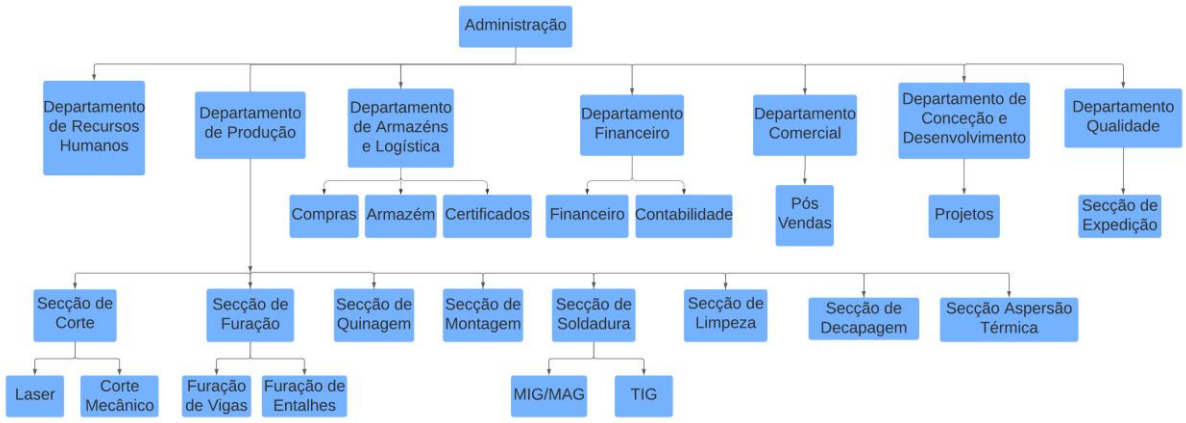


Figura 2.3 Organograma empresarial atual (Fonte: Carvalho & Mota)

É importante definir uma boa estrutura organizacional de acordo com organograma apresentado (Fig. 2.3), para garantir o sucesso da administração, tornando assim mais claras as funções desempenhadas, assim como, as suas relações, evitando problemas de comunicação e garantindo agilidade na execução de tarefas.

O departamento de conceção e desenvolvimento de projetos é responsável por iniciar o processamento da obra, garantindo o encadeamento do desenho técnico, criação de programas de fabrico, já o departamento de armazém e logística, é responsável por obter o material necessário à produção.

Aquando da ordem de fabrico, o departamento de produção inicia os processos para a produção de forma eficaz dos componentes pedidos.

O controlo de qualidade da empresa está sobre chefia do departamento de produção, que é realizada na zona de expedição das peças, obtendo uma apreciação de todas as secções produtivas.

2.3 Layout da Empresa Atual

A Figura 2.4 representa o layout atual da empresa da área de produção.

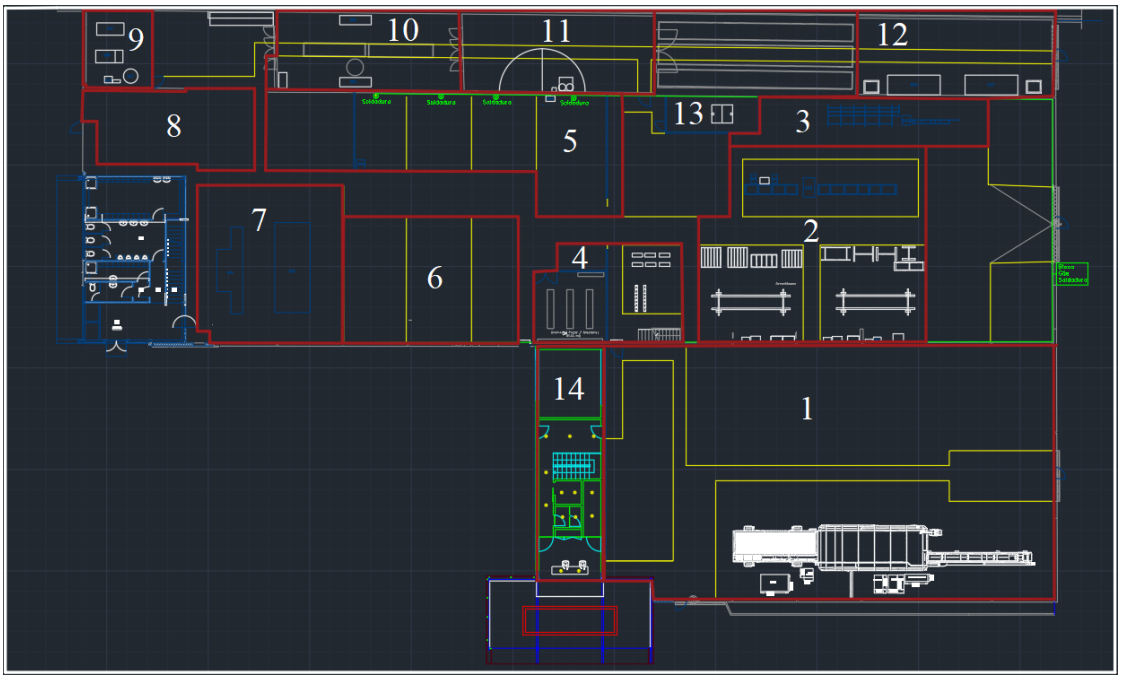


Figura 2.4 Layout atual da empresa (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

1- Secção de corte laser

2- Secção de corte e montagem

3- Secção de maquinação

4- Arrumos de consumíveis

5- Zona de soldadura

6- Secção de limpeza

7- Secção de quinagem

8- Zona de expedição

9- Zona dos compressores

10- Zona de aspersão térmica

11- Secção de decapagem

12- Secção de preparação e seleção

13- Zona de filtragem

14- Departamento de conceção

2.4 Higiene, Segurança e Ambiente

A prevenção e segurança no trabalho tem uma importância acrescida nas organizações, pois, existem comportamentos e riscos que comprometem o bem-estar dos funcionários. Assim, é necessário que exista uma estruturação dos processos de segurança garantindo o cumprimento dos requisitos legais, promovendo a participação e a formação dos seus colaboradores.

Aquando da formação a disciplina operacional cria hábitos de segurança que ao longo do tempo diminuem os comportamentos inseguros, nunca os eliminando completamente. No entanto, nada adianta tentar mudar a mentalidade dos funcionários se não existirem alterações por parte da organização relativamente a situações com potencial de gerar acidentes [14].

2.4.1 Exposição ao Ruído

Um dos problemas com o qual os trabalhadores têm de lidar é com a exposição ao ruído em ambiente laboral. Pelo Decreto-lei 182/2006 de 6 de setembro estabelece-se o valor limite de exposição de ruído e um conjunto de medidas sempre que esse valor é alterado.

O valor limite de exposição é 87 decibéis com picos até 140.

O valor de ação superior é 85 decibéis com picos até 137.

O valor de ação inferior é 80 decibéis com picos até 135.

A avaliação dos riscos deve ser efetuada com uma periocidade anual sempre que os valores de ação superiores sejam ultrapassados devendo ser atualizados conforme as alterações que ocorrem nos processos produtivos, com a instalação de novos equipamentos ou introdução de insonorização.

Desta forma, o empregador deve possuir equipamentos de proteção individuais (EPI) que permitam obter valores de ruído inferiores ao estabelecido pelo Decreto-lei e assegurar a sua efetiva utilização.

A organização do processo de fabrico deve ser adequada de forma a proporcionar uma diminuição da exposição ao ruído adequando o local de trabalho ao funcionário.

- **Tampões Auditivos**

Os tampões auditivos (Fig. 2.5), inseridos no canal auditivo, são uma opção para diminuir o ruído até 35 decibéis. São constituídos por espuma de poliuretano garantindo uma acomodação ao ouvido do operador. Podem ou não ser descartáveis.

Figura 2.5 Tampão auditivo (Fonte: Protrabalho s.d)

- **Protetores Auriculares**

Os protetores de auriculares (Fig. 2.6) consistem em dois auscultadores ligados por uma banda ou capacete de proteção. Conseguem reduzir o ruído até 30 decibéis, tornando-se mais confortável relativamente aos tampões. São reutilizáveis, utilizando materiais que podem ser laváveis.

Figura 2.6 Protetor auricular (Fonte: Sove s.d)

2.4.2 Exposição a Partículas

Os funcionários, no seu dia a dia, enfrentam a exposição a poeiras ou a pós-particulados que comprometem a segurança respiratória em ambiente de trabalho.

Segundo a regulamentação técnica 102/2009 de 10 de setembro que normaliza as medidas a serem adotadas de forma a minimizar os riscos coletivos na exposição a

partículas, promovendo o uso de equipamentos de proteção respiratória normalizada.

Partículas inferiores a 100 mícrones constituídas, principalmente, por produtos metálicos, podem causar problemas respiratórios, já que os mecanismos de expulsão destes poluentes não são eficazes e podem levar em casos mais severos à morte prematura. No caso de partículas superiores estas podem ser removidas por tosse ou espirros podendo concentrar-se nos pulmões. A combinação destes dois processos potência o risco de futuros problemas respiratórios e diminuição da longevidade. Para combater este problema existem diversas proteções respiratórias pelo uso de máscaras protetoras e purificadoras do ar [16].

- Máscara simples FFP1, utilizada para concentrações até 4 vezes o valor limite de exposição em que 80% dos contaminantes no ar inalado são filtrados. São utilizadas para baixos níveis de poeiras.
- Máscara FFP2, são utilizadas para concentrações até 10 vezes o valor limite de exposição filtrando 94% do ar inalado. São utilizadas em partículas de madeira, metal e névoas de óleo possuindo pequenos respiradores laterais.
- Máscara FFP3 (Fig. 2.7), são utilizadas em ambientes com concentrações de contaminantes até 20 vezes o valor limite e filtra 99% dos contaminantes do ar inalado.

  Protegem de partículas perigosas na manipulação de metais pesados, substâncias cancerígenas bem como soldaduras de aços inoxidáveis devido à libertação de fumos.

Figura 2.7 Máscara FFP3 (Fonte: Moldex, s.d)

3 NORMAS, LEGISLAÇÃO E CERTIFICADOS APLICÁVEIS

A norma EN 1090 estabelece o desempenho e requisitos ao qual as estruturas metálicas devem obedecer, assegurando os níveis de resistência mecânica, estabilidade dimensional, especificações de fabrico, e durabilidade para o qual foi projetada. Para obter um bom controlo de produção e a respetiva marcação CE, a empresa deve incluir um plano de inspeção e ensaio, qualificação dos processos de fabricação e qualificação dos operadores. Pressupondo que existe competência e recursos adequados à realização dos trabalhos, a construção está de acordo com as diretivas europeias. As normas estabelecidas são aplicáveis a todas as entidades responsáveis pelo fabrico, só podendo ser colocado no mercado ou importado, após ter sido certificado pelas entidades de acreditação [2].

3.1.1 Aplicação em Aços

A Norma Europeia EN 1090 especifica os requisitos das estruturas em aço laminados a quente e frio até a classe S700, aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos, perfis laminados e perfis tubulares soldados. Para todos os produtos estruturais é adicionada uma rastreabilidade (Anexo A - Certificado 1) referente a lotes ou conjuntos, de forma a obter o destino no caso de possíveis não conformidades.

3.1.2 Soldadura

O procedimento de soldadura segue especificações que inclui os consumíveis, pré-aquecimentos das peças, forma e acabamento do cordão, e tratamento de superfícies englobados pela norma EN 10025.

- **Tipos de Soldadura Utilizados na Empresa Carvalho e Mota:**

O processo de soldadura é definido por uma numeração inserida na ISO 4063, que identifica e estabelece os parâmetros de soldadura, assim como, a respetiva proteção gasosa (Anexo B - Certificado 2).

131: Soldadura MIG, com fio elétrodo sólido sob proteção gasosa inerte

135: Soldadura MAG, com fio elétrodo sólido sob proteção de gasosa ativa (Anexo C - Certificado 3)

141: Soldadura TIG, com elétrodo do tungsténio com adição de vareta sólida, com proteção gasosa inerte

Os operadores de soldadura devem ser qualificados de acordo com a norma EN 1418, que realiza e aprova os testes de operadores de soldadura por fusão (Anexo D - Certificado 4). Os soldadores devem manter disponíveis todos os registos de testes realizados, ensaios específicos de determinados perfis, assim como registos médicos.

Os consumíveis devem ser armazenados de acordo com as normas do fabricante, devendo permanecer com baixos níveis de humidade. Aquando da soldadura, deve-

se realizar uma secagem acima dos 100ºC, devendo excluir fios elétrodos com oxidação ou danos no revestimento de cobre.

No processo de soldadura, todas as juntas devem estar isentas de fissuras, devendo ser verificadas por inspeção visual, tendo de respeitar as tolerâncias de preparação e posicionamento das juntas segundo a norma ISO 15614. A temperatura do material a soldar não deve ser inferior a 5ºC, devendo efetuar um aquecimento de acordo com a percentagem de carbono e espessura da peça, podendo ir dos 10ºC para retirar humidade da peça até 150ºC. De acordo com a Tabela 1 deve respeitar-se o tempo de arrefecimento de forma a diminuir o aparecimento de fissuras. Na execução, deve evitar-se o escorvamento do arco elétrico, fissuras e cavidades, devendo remover as imperfeições entre passagens.

Tabela 1 Tempo de arrefecimento do cordão de soldadura (Fonte: NP 1090, 2010)

Dimensão do cordão de soldadura [mm]	Tempo de espera aço S235 a S460
$s \leq 6$	Arrefecimento ao toque
$6 < a$ ou $s \leq 12$	8h
$S < 12$	12h

Sendo:

a- Espessura nominal do cordão de soldadura.

s- Penetrâmetro total.

3.1.3 Furação

Esta secção é aplicada na execução de furos para ligações mecânicas, assim, de acordo com a Tabela 2, as folgas nominais em furos normalizados são:

Tabela 2 Folgas admitidas na furação (Fonte: NP 1090, 2010)

Diâmetro Nominal do Parafuso [mm]	12-14	16-24	27 ou superior
Folga Normalizada [mm]	1	2	3

No caso de peças que são sujeitas a tratamentos térmicos superficiais, a folga nominal pode aumentar 1 mm devido à espessura do tratamento.

3.1.4 Galvanização

Esta secção especifica as exigências da superfície do aço adequadas à aplicação de produtos de proteção anti corrosão, que segundo a norma ISO 1461, pormenoriza o revestimento por galvanização, a espessura mínima admissível e preparação das superfícies de ancoramento (Anexo E - Certificado 5). As superfícies cortadas termicamente devem ser suavizadas, enquanto as zonas soldadas devem ser rebatidas

para atingir uma rugosidade média ($2 > Ra < 4$) especificada na preparação da superfície. Todos os componentes que apresentam espaços fechados devem conter furos de ventilação e drenagem, possibilitando a galvanização interna. Áreas e superfícies de difícil acesso devem ser tratadas antes da montagem [2].

Os processos de enformagem a frio pelo método de quinagem, reduzem a ductilidade do material, assim deve ter-se em atenção o risco de fragilização no tratamento de galvanização por imersão a quente, devendo realizar um tratamento térmico nas zonas soldadas.

Tabela 3 Requisitos do revestimento por galvanização (Fonte: NP 1090, 2010)

Espessura da peça em [mm]	Espessura mínima do revestimento [μm]	Espessura média do revestimento [μm]
e>6	70	85
3<e≤6	55	70
1,5<e≤3	45	55
e≤ 1,5	35	45

Todas as peças devem apresentar valores de espessura similares aos apresentados na Tabela 3, não devendo ultrapassar os 222 μm de espessura de revestimento máximo.

3.2 Preparação e Montagem em Fábrica

Esta secção é específica para os processos dos elementos constituintes em aço, normalizado as tolerâncias do corte, furação e montagem em fábrica dos componentes.

O processo de corte deve ser feito de forma a serem cumpridas as tolerâncias geométricas e dureza do material, procedendo a suavização os bordos, ficando livres de arestas vivas.

No processo de corte térmico os aços de puncionamento é expectável o endurecimento local, assim, nesses locais para uma classe S235 até S460, os valores de dureza não podem ultrapassar os 380 vickers HV.

No caso de peças galvanizadas devem ser utilizados processos que minimizem os danos superficiais, evitando a exposição do aço base à corrosão.

As superfícies que apresentem rebarbas e causem desalinhamento, devem ser retiradas de modo a remover os defeitos significativos, sendo a profundidade mínima de 0.5 mm [2].

Na montagem de peças soldadas, estas têm de obedecer aos desvios permitidos segundo a norma EN 1090, sendo necessário realizar inspeções durante a realização do projeto.

3.2.1 Verticalidade dos Apoios

A verticalidade dos apoios soldados não pode ultrapassar o desvio permitido pela norma EN 1090 como indicado na Figura 3.1.

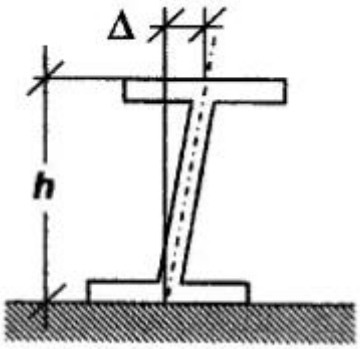


Figura 3.1 Verticalidade dos apoios soldados (Fonte: NP 1090, 2010)

h – Altura (mm)

Δ- Desvio permitido (mm)

$$\Delta = \frac{h}{200}$$

$$\Delta = [mm]$$

3.2.2 Flecha

No caso de peças com empenos (Fig. 3.2), a flecha permitida, é relacionada com o comprimento L da área afetada, sendo:

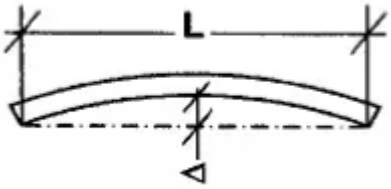


Figura 3.2 Flecha permitida (Fonte: NP 1090, 2010)

L-Comprimento da área afetada (mm).

Δ- Desvio permitido (mm)

$$\Delta = \frac{L}{750}$$

$$\Delta = [mm]$$

A flecha da peça tem de apresentar valores inferiores, caso contrário é rejeitada ou submetida a um tratamento de alívio de tensões.

3.2.3 Posicionamento e Desvios na Furação

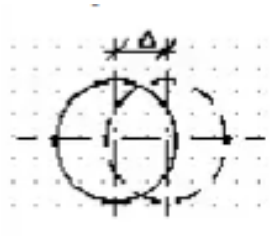


Figura 3.3 Desvio na furação (Fonte: NP 1090, 2010)

O desvio Δ (Fig. 3.3) do eixo de um furo em relação à posição pretendida é de $\pm 1\ [mm]$.

3.2.4 Desvios Permitidos nos Entalhes

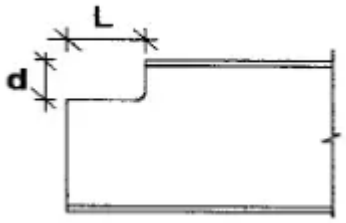


Figura 3.4 Desvios nos entalhes (Fonte: NP 1090, 2010)

O desvio Δ do comprimento L e altura d, (Fig. 3.4) de um entalhe é de:

$$-\Delta = 0\ [mm]$$

$$\Delta \leq 2\ [mm]$$

3.2.5 Perpendicularidade dos Cortes

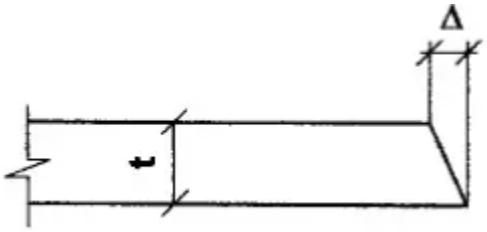


Figura 3.5 Retilinearidade nos cortes (Fonte: NP 1090, 2010)

O desvio Δ (Fig. 3.5) de um corte na extremidade a 90º, é dada por:

t- Espessura da peça em $[mm]$

$$\Delta = \pm 0{,}05t$$

3.2.6 Tolerância Permitida no Corte

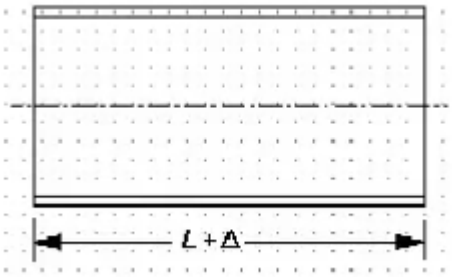


Figura 3.6 Tolerância de Corte (Fonte: NP 1090, 2010)

No comprimento de corte (Fig. 3.6), o desvio permitido é dado por:

$\Delta = \pm 1\ [mm]$

3.2.7 Tolerância nos Ângulos

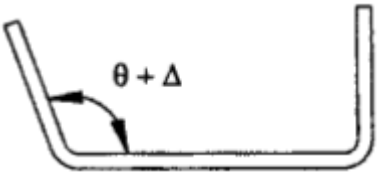


Figura 3.7 Desvio angular (Fonte: NP 1090, 2010)

O ângulo de curvatura θ entre componentes (Fig. 3.7) é dado por:

$$\Delta = \pm 2°$$

4 PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS

Na construção base dos órgãos constituintes de um aerogerador são utilizados materiais com diferentes constituições, sendo que todos os aços ao carbono são, posteriormente, galvanizados para evitar a sua corrosão.

Os aços apresentam abreviaturas de letras e números de forma a caracterizar por tabelas de forma simples os diversos tipos de aços [17].

S- Abreviação de aço estrutural

JR- Suporta uma energia de impacto de 27J à temperatura ambiente 20º

J0- Valor de impacto de 27J a 0ºC

J2- Valor de energia de impacto de 27J a -20ºC

K2 Valor de energia de impacto de 40J a -20ºC

4.1.1 Aço S355

O aço S355 é um aço estrutural europeu de médio teor em carbono, que de acordo com a EN 10025-2 este material pode ser subdividido em 4 tipos de qualidades.

S355JR

S355J0

S355J2

S355K2

O valor associado à abreviatura S refere-se ao limite de escoamento, 355 MPa para espessuras inferiores a 16 mm.

4.1.2 Aço S235

O aço S235 é um aço estrutural não ligado, sendo que pode ser encontrado em 3 tipos de graus de qualidade.

S235JR

S235J0

S235J2

Tabela 4 Características do aço S235 (Fonte: Ramada Aços, s.d)

Tipo de Aço	Limite de Escoamento (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento $[mm]$
Aço S355	355	510-680	22
Aço S235	235	360-510	26

Estes tipos de aços podem ser adquiridos em chapas de 3000x8000 mm com espessuras até 500 mm [17].

O aço estrutural S355 é superior ao aço S235, nas suas propriedades mecânicas, mas o seu custo é mais elevado.

O aço S355 apenas é utilizado em situações onde existe um maior esforço localizado, como reforço de peças e ligações mecânicas entre as estruturas internas e o exterior dos aerogeradores.

4.1.3 Aço DX51D

Este aço é de baixo carbono, revestido por uma camada de zinco. São utilizados elementos de liga como alumínio cobre e magnésio, com valores inferiores a 5%.

Este aço apresenta 2 tipos de graus de qualidade segundo a norma europeia EN 10346:

DX51D+ Z275

DX51D+Z275MAC

Representação da abreviação

D- Aço plano para conformação a frio

X- Tipo de laminação do substrato

51-57- Número de serie do grau do aço

Z- Revestimento de zinco puro

275- Gramas de zinco chapeado $[\frac{G}{m^2}]$

M- Sem lantejoulas

A- Resistente a impressões na superfície

C- Tratamento de passivação

Tabela 5 Característico do aço DX51D (Fonte: Ramada Aços. s.d)

Tipo de Aço	Limite de Escoamento (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento $[mm]$
DX51D	140-300	270-500	22

Este tipo de material é utilizado na fabricação de condutas de ventilação e em componentes não estruturais, sendo adquiridos em chapas 3000x12000x1.5 mm.

4.1.4 Alumínio AW5005

O alumínio AW5005 é uma liga utilizada na indústria devido as suas propriedades anticorrosivas, assim como a sua boa resistência mecânica em função do peso.

É fornecido em lotes de 1500x3000 com espessuras até 6 mm [17].

Tabela 6 Propriedades da liga AW5005 (Fonte: Ramada Aços. s.d)

Tipo de Aço	Limite de Escoamento (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento [mm]
AW 5005	80	105-145	19

Este material é utilizado no fabrico de pequenas secções onde são fixas as escadas de alumínio, chapas de fixação e peças localizadas no exterior das torres eólicas.

5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Apesar de, não ser o foco predominante do estágio, o tempo de adaptação permitiu adquirir competências para o melhoramento da organização do trabalho. Desta forma, o levantamento de desenhos dimensionais e criação de modelos 2D e 3D a partir de componentes já existentes, concedeu uma visualização mais pormenorizada da modelação obtendo uma aprendizagem específica dos desenhos de fábrica.

As atividades desenvolvidas foram variando ao longo do estágio. Numa primeira fase, houve a necessidade de conhecer de forma geral o processo de fabrico (Fig. 5.1) de componentes internos das torres eólicas, passando por visualizar todas as secções montadas e desmontadas e diferenciando os vários tipos de torres e plataformas.

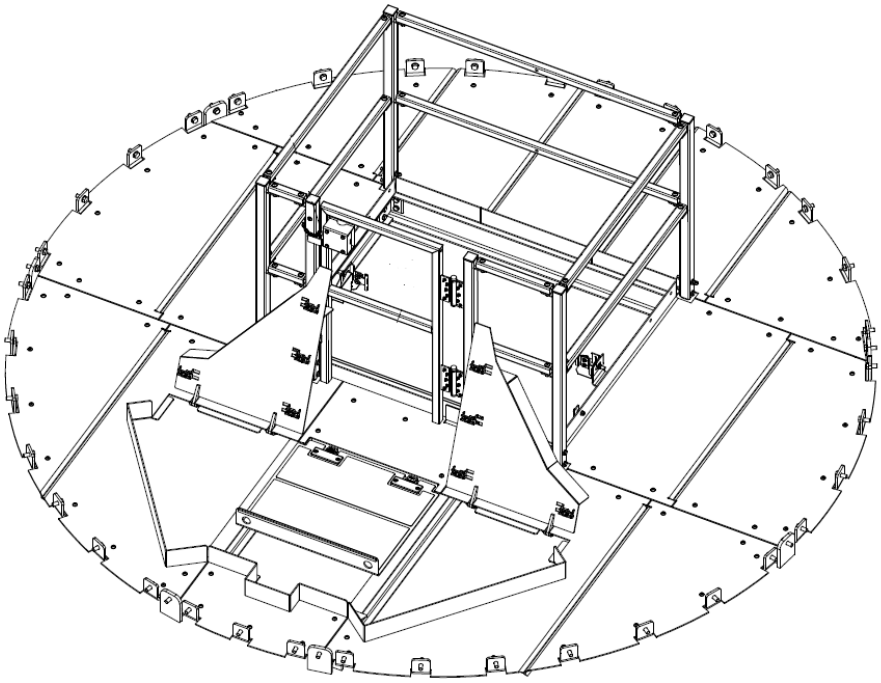


Figura 5.1 Secção interna de um aerogerador (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

Grande parte do estágio decorreu no departamento de conceção e desenvolvimento, onde se desenvolve a criação e limpeza de desenhos dos diversos componentes de uma torre eólica usando, principalmente, os programas Autocad e Advance Steel.

Numa segunda fase, são preparados os desenhos de cada componente em papel A3, com as quantidades pretendidas e a secção a que pertence, dando ênfase a cotas importantes, chanfros e métodos de soldadura que possam passar despercebidos.

Na fase final, dada por concluída a entrega da obra, é realizado um levantamento de todos os desenhos, devidamente assinados pelo operador que realizou os trabalhos em cada peça, de forma a criar um relatório certificado da obra.

5.1 Concetualização

Dada a ordem de fabrico de uma determinada torre eólica, o departamento de conceção encarrega-se de organizar e coordenar a encomenda de acordo com as quantidades previstas, tipos de materiais, preparar os desenhos para fabricação e estipular o tempo de entrega.

É apresentada uma tabela Excel com as informações necessárias para a criação das peças das diversas secções conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 Informação detalhada da obra (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

Código	Descrição	Qt total	Desenho	Tipo	Descrição	Desvios ao projeto	Peso
E10107955	Strip air-filter housing trafo TiT	6	03170-e0004403821_0	GALV	CH5	OK	3,4
E10107957	Bracket air-filter housing trafo TiT	6	03170-e0004408153_1	GALV	CONJ_CHAPA		27,4
E10107958	Exhaust air box trafo TiT	6	03170-e0004408173_1	GALV	CHAPA+REDE		10,3
E10107959	Exhaust box cover trafo TiT	6	03170-e0004408178_1	GALV	CHAPA+REDE		3,5
E10107960	Pipe air-filter housing trafo TiT	6	03170-e0004408184_1	GALV	CONJ_CHAPA		26,7
E10107961	Cap air-filter housing trafo TiT	6	03170-e0004408199_1	GALV	CHAPA+REDE		7,8
E10107999	Cover element for transformer, B=1112mm	6	03020-e0003623074_2	DX51D	CH1,5	OK	19,2
E10108000	Cover element for transformer, B=415mm	6	03020-e0003648400_2	DX51D	CH1,5	OK	7,5
E10108005	Cover element for transformer, B=939.5mm	6	03020-e0003922003_1	DX51D	CH1,5	OK	14
E10108006	Cover element for transformer, B=399mm	6	03020-e0003999260_1	DX51D	CH1,5	OK	7,3
E10108007	Bracket transformer cover	48	03170-e0004561070_0	GALV	CH3	OK	3,6
E10108008	Bracket for transformer cover	48	03170-e0004565907_0	GALV	CH3	OK	0,3
E10108300	Support rod for hatch tower access	18	03010-e0003668600_1	GALV	CH5	OK	0,4
E10108301	Braket for heat exchanger	12	03090-e0003023488_1	GALV	CH6		12,3
E10108302	Spacer bushing for heat exchanger	24	03090-e0003023546_1	GALV	roxo		0,2
E10108303	Cover sheet for heat exchanger	12	03090-e0003812747_0	GALV	CH3	OK	0,5
E10108304	Support frame left for heat exchanger	6	01700-e0003805879_1	GALV	CHAPA+REDE		62,4
E10108305	Support frame right for heat exchanger	6	01700-e0003805884_1	GALV	CHAPA+REDE		62,9
E10108306	Support frame back for heat exchanger	6	01700-e0003812295_1	GALV	CHAPA+REDE		32,5
E10108307	Cover for heat exchanger	6	01700-e0003812315_1	GALV	CHAPA+REDE		39,4
E10108308	Grid frame for heat exchanger	6	03020-e0003815250_2	GALV	L_REDE		12,1
E10108309	Support frame front for heat exchanger	6	03171-e0003805881_1	GALV	CHAPA+REDE		17
E10108310	Cable ladder converter console	6	03000-E0002972079_0	GALV	CONJ_CHAPA		3,6

Nesta tabela consta os tipos de peças ou conjuntos necessários, as quantidades do projeto, sendo obrigatório multiplicar a quantidade afixada pelo número de torres pretendidas.

Para cada peça é atribuído um código de fabrico, o que possibilita a monitorização das peças em diferentes projetos, evitando-se a criação de novos desenhos de fábrica e, posteriormente, a criação de ficheiros de corte, facilitando o trabalho ao departamento de produção.

A cada peça é atribuído o tipo de material, espessura e acabamento, o que facilita a separação das peças por lotes no momento do corte. A representação do peso é importante pois tem por base o custo da matéria-prima para fabricação de uma determinada peça. As peças que sofreram alterações, em relação a projetos anteriores, são indicadas na tabela dos desvios e no código de desenho, representado pelo último algarismo, indicando o número de revisões efetuadas na peça.

Tabela 8 Tabela de secções e preço (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

Section	Drawing	Peso	TIPO		Unit Price
S03	01420-e0003463621_0	18,9	Alu	Tubo red110	100,73 €
S03	01420-e0003463627_0	1,5	Alu	Tubo red95	7,98 €
S03	01420-e0003463630_0	3,6	Galv	Varandim	19,02 €
S03	01420-e0003463632_1	0,4	Galv	CH4_S355	2,38 €
S03	01420-e0003463876_1	18,8	Alu	Tubo red110	100,23 €
S03	01420-e0003464112_0	7,8	Galv	Conjunto	41,57 €
S03	01421-E0002867592_0	10,1	Galv	Gota4	53,66 €
S03	01421-E0002882380_0	4,4	Galv	Gota4	23,30 €
S02	01421-E0002891884_1	0,5	Galv	Ch6	2,46 €
S03	01421-e0002983852_4	95,1	Galv	Gota3	506,70 €
S03	01421-e0002984464_5	67,6	Galv	gota3	360,23 €
S01	01421-e0003944574_0	0,1	Galv	ch5	0,47 €
S02	01421-e0003950633_2	2,1	Galv	ch6	11,41 €
S02	01421-e0003950634_2	2,1	Galv	ch6	11,41 €
S01	01424-e0003587146_0	9,9	Galv	Varandim	52,62 €
S01	01424-e0003589466_3	14,7	Galv	Varandim	76,59 €
S02	01424-e0003589466_3	14,7	Galv	Varandim	76,59 €
S03	01424-e0003589466_3	14,7	Galv	Varandim	76,59 €
S01	01424-e0003597595_0	2,3	Galv	Varandim	12,47 €
S01	01424-e0003609861_1	22,7	Galv	Varandim	120,77 €
S02	01424-e0003609861_1	22,7	Galv	Varandim	120,77 €

A Tabela 8 apresenta a informação da secção das diversas peças e o preço. A informação da secção é importante, pois, existem expedições que são realizadas por lotes de acordo com os pisos, assim em cada desenho disponibilizado para a produção são introduzidas as informações correspondentes.

5.2 Parâmetros Obtidos dos Desenhos

O processo de planeamento é subdividido em duas etapas. A primeira é o tratamento de dados que tem como objetivo o levantamento de informação relativa a furos, cotas e agrupamento das peças. A segunda fase é a preparação para o corte, que consiste em converter os conjuntos em peças individuais, retirando a informação da posição e a sequência de corte.

A Figura 5.2 representa um enrolador de cabos, constituído por três peças soldadas entre si. O objetivo é desagregar peça a peça e convertê-las numa planificação para poderem ser cortadas pelo laser.

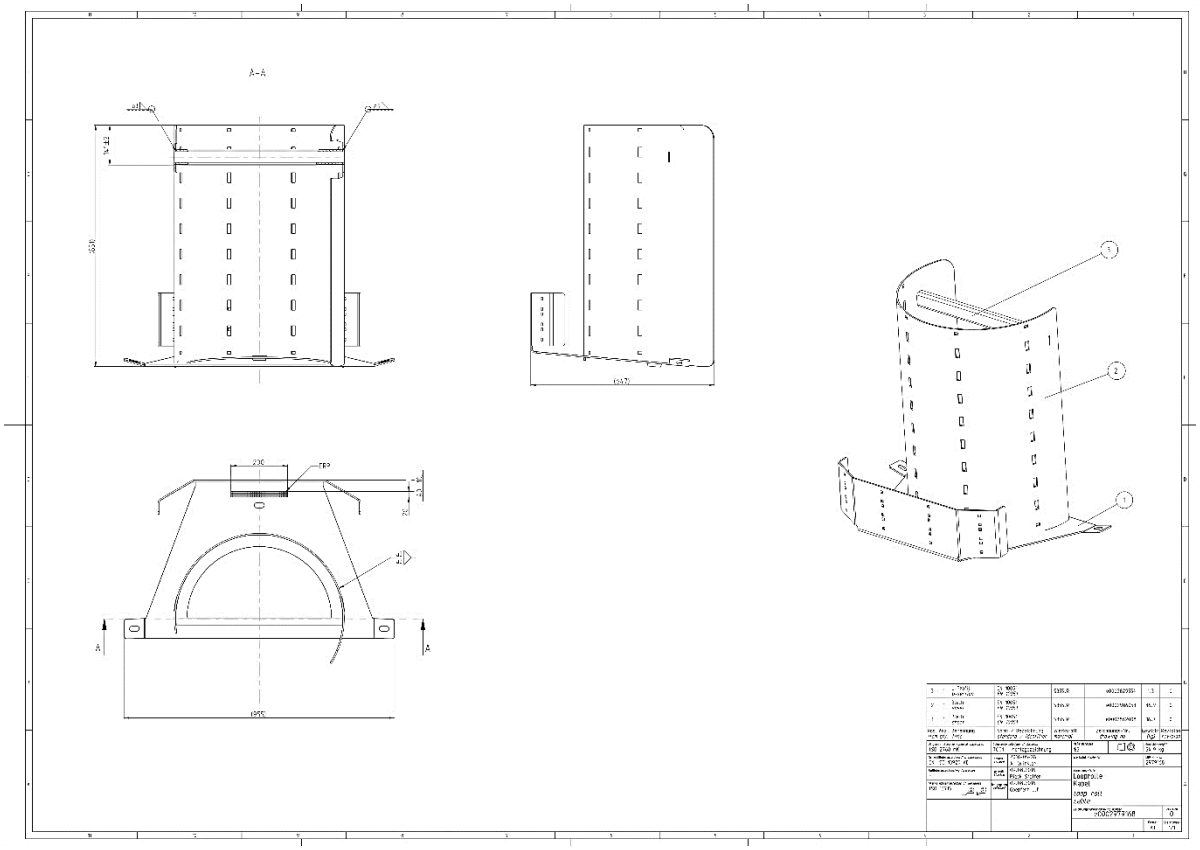


Figura 5.2 Desenho técnico de um enrolador de cabos (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

Para obter os parâmetros de corte das peças é necessário recorrer aos seus desenhos específicos. Nas Figuras (5.3, 5.4, 5.5 e 5.6) seguintes, a partir dos desenhos técnicos, adquirimos a espessura da chapa a cortar, o tipo de acabamento, as dimensões da quinagem, os diâmetros dos furos e a localização dos furos roscados.

Retiradas as informações necessárias, procedemos ao desenho das peças em software 2D, obtendo uma planificação diferenciada pelo tipo de material e espessura.

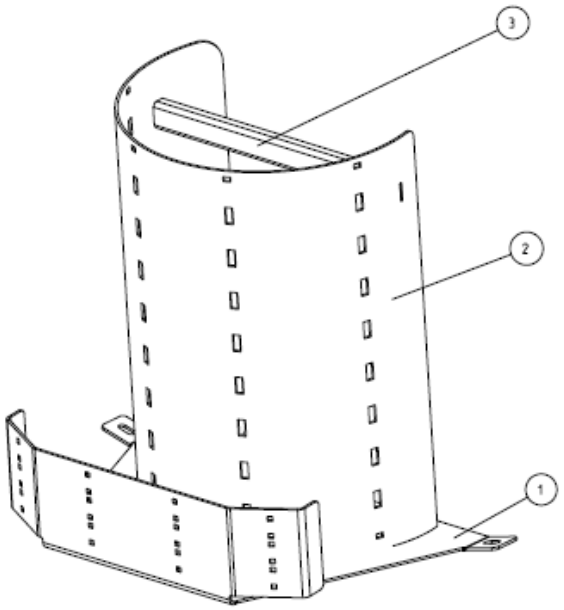


Figura 5.3 Conjunto enrolador de cabos (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

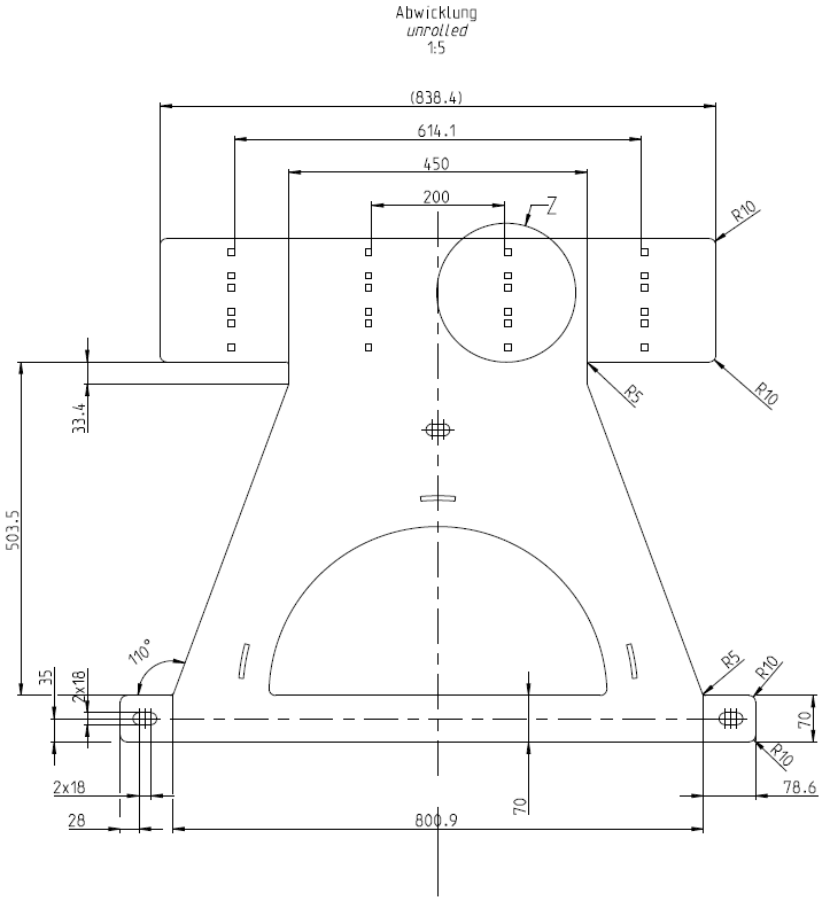


Figura 5.4 Planificação da individual com cotas (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

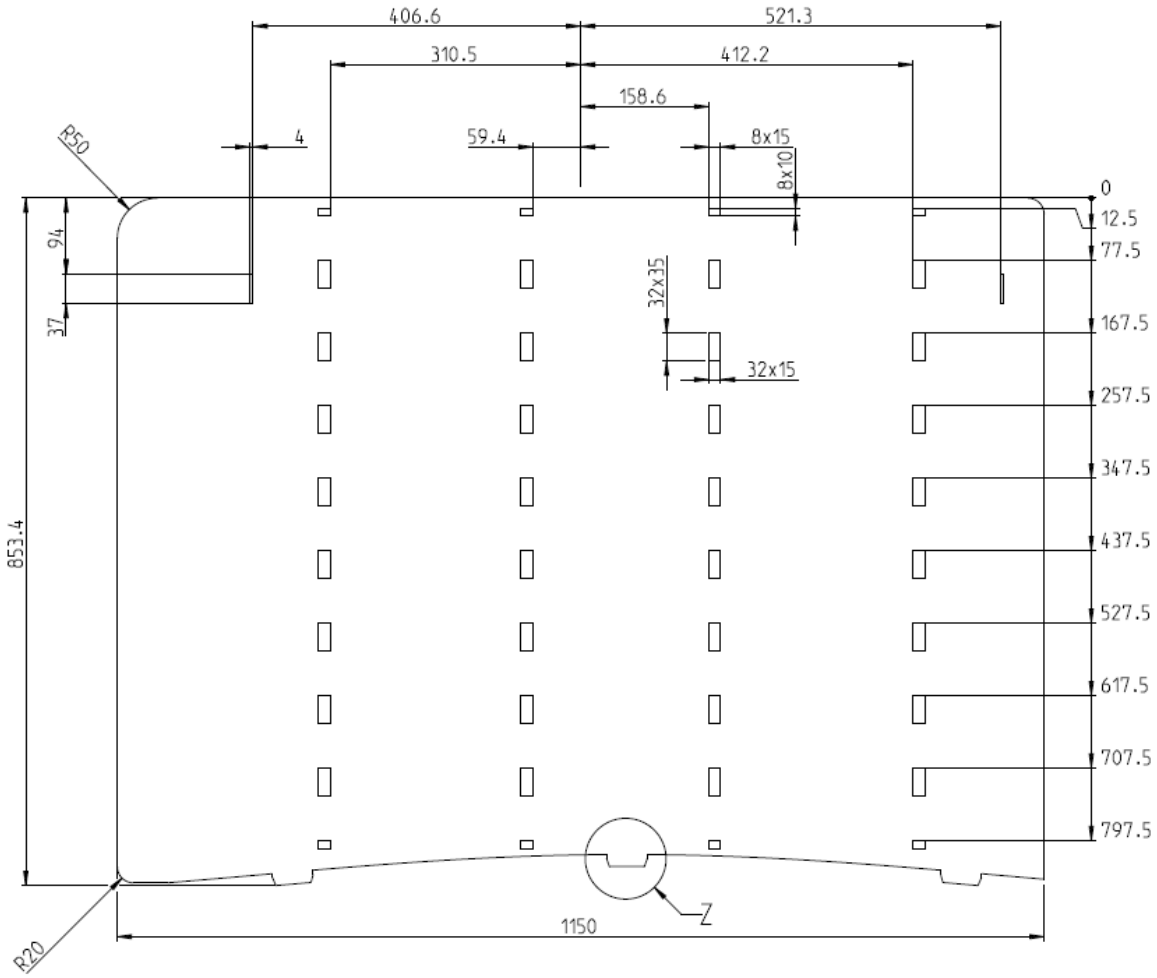


Figura 5.5 Planificação da peça individual (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

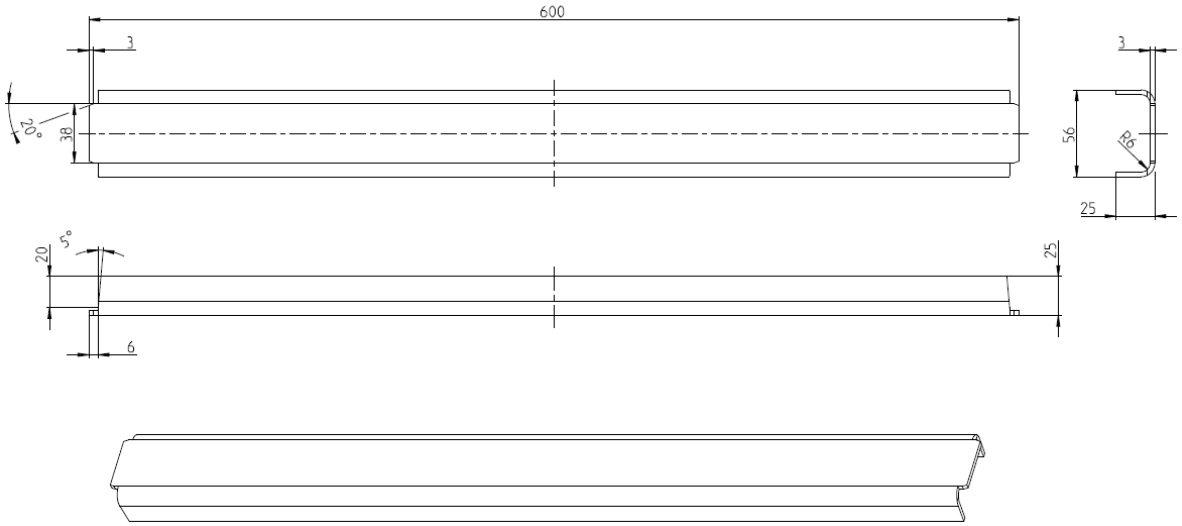


Figura 5.6 Desenho técnico individual (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.3 Conversão e Planificação

No Autocad são desenhadas as peças (Fig. 5.7) em duas dimensões, indicando as zonas de furação e linhas de quinagem. Numa próxima fase, são guardados os ficheiros e organizados por componentes e espessuras, com o intuito de agrupar as peças para a criação de DXF Nestings. A obtenção de elementos de todas as formas, diminui a área útil das chapas em bruto e, como tal, é necessário organizar e ajustar os objetos de dispondo-os de forma a minimizar o desperdício.

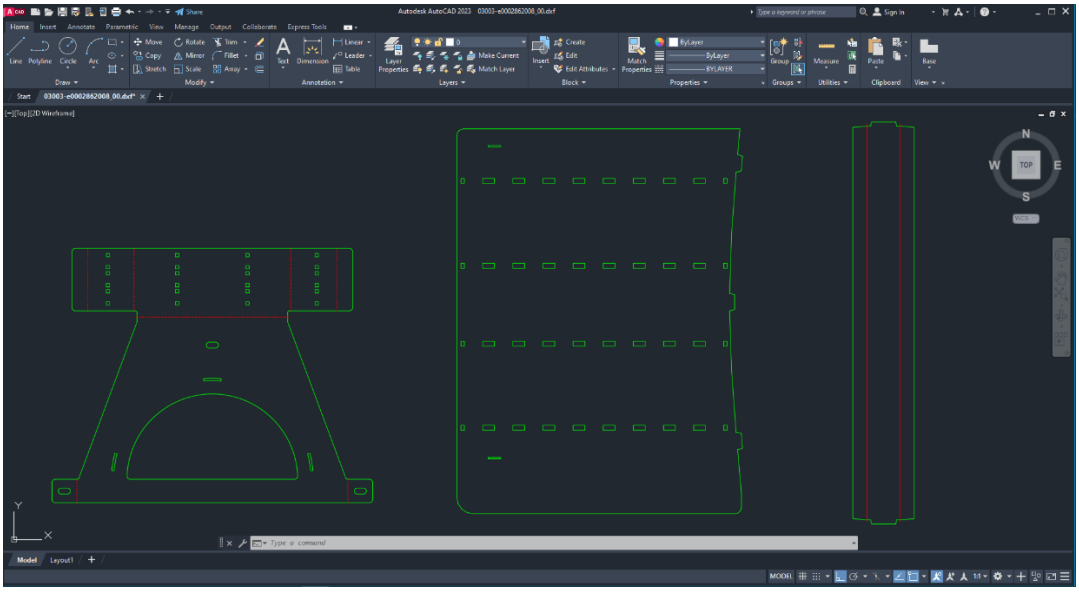


Figura 5.7 Peças dispostas no Autocad (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.3.1 Desenhos para o Fabrico de Vigas

O Autodesk Advance Steel é um programa que apresenta um banco de perfis normalizados, criado especificamente para contruir estruturas em aço. Neste caso, o objetivo não era a construção de estruturas complexas, mas a criação de perfis únicos com as cotas, posições dos entalhes e furação (Fig. 5.8) para, posteriormente, obter os ficheiros NC. Estes ficheiros apresentam uma linguagem numérica CNC, na forma de um programa sequencial de execução utilizado pela máquina de furação computadorizada Ficep.

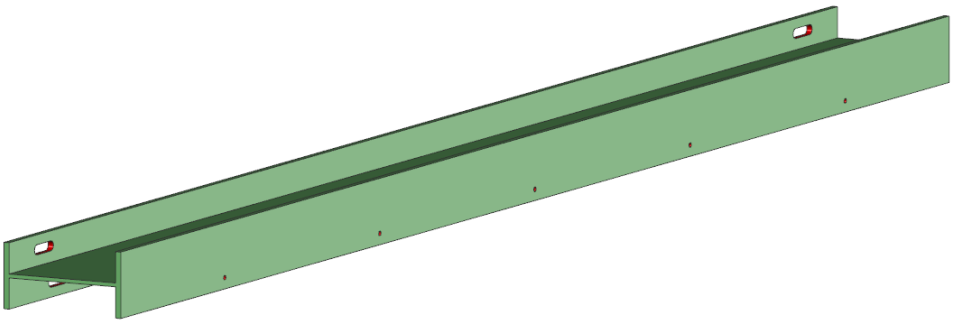


Figura 5.8 Visualização do perfil no Advance Steel (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.3.2 Planificação de Tubos

O Lantek é uma solução CAD/CAM para a programação de máquinas de corte CNC. Apresenta um software de gestão de retalhos, reduzindo o desperdício e maximizando a utilização da matéria-prima. Este programa é utilizado exclusivamente para elaborar perfis quadrados, redondos, em H ou I (Fig. 5.9), gerando as furações e entalhes possíveis de obter pela máquina laser. No final, é retirado um ficheiro numérico que é importado para o engenho de corte.

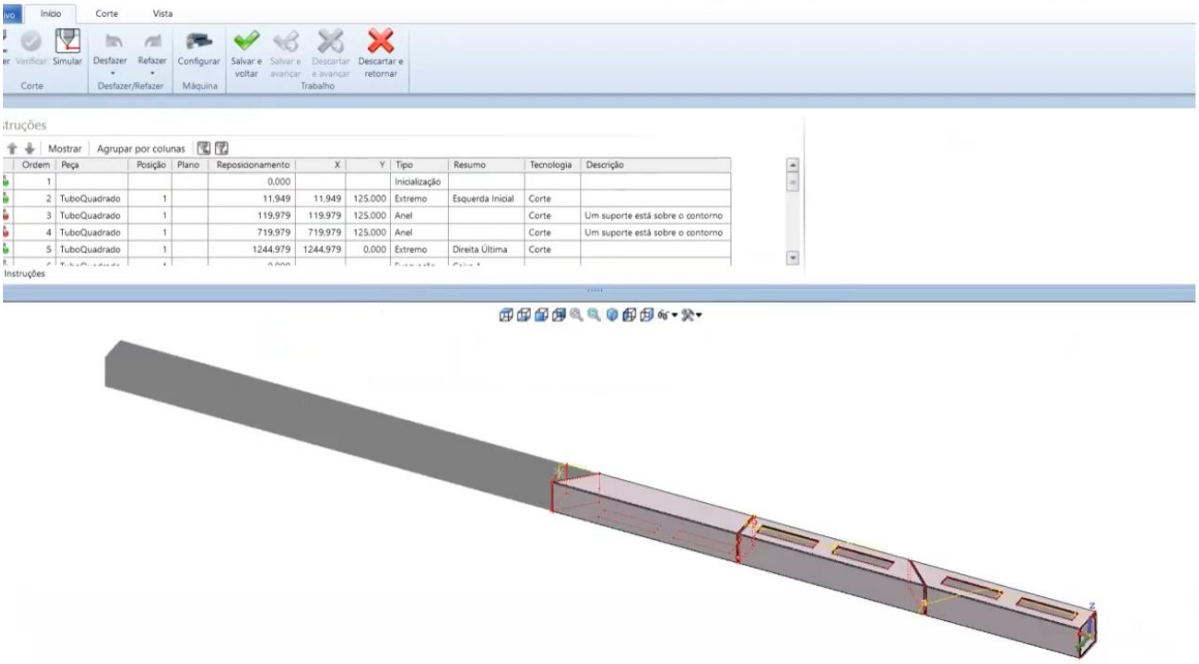


Figura 5.9 Aproveitamento e corte de tubos no programa Lantek (Fonte: Carvalho & Mota)

5.4 Atividades no Setor de Produção

No desenvolvimento da produção, tudo começa com a receção de material base das peças, aços, alumínios e cobre. Desta forma, inicia-se a separação dos componentes para cada secção. Um dos principais objetivos é manter sempre as máquinas em funcionamento, mantendo todo o processo em constante renovação e dando prioridade à máquina de corte laser e de furação automatizada. Numa primeira fase, as chapas de aço são inseridas no laser, onde ocorre o processo de corte. Os componentes que apesar de apresentarem o tamanho e tolerâncias indicadas pelos desenhos de fabrico, ainda estão em bruto, contendo diversas arestas vivas e material que fundiu, mas que voltou a agregar-se à peça final. Posto isto, todas as peças planas são, posteriormente, inseridas num tapete rolante onde uma cinta lixadora desbasta as arestas e retira o material em excesso.

Enquanto ocorre o corte no laser, todo o material que não é plano - ou seja, vigas, perfis e tubos - é cortado numa serra de fita com a medida indicada pelos desenhos. As vigas, cantoneiras e material onde é necessário abrir entalhes é instalado na máquina CNC de furação horizontal.

Seguidamente, as peças passam para a secção de quinagem, onde todo o material é quinado para os ângulos desejados sendo, de seguida, separadas por desenho de fabrico, formando lotes de montagem.

Na zona de armação todas as partes são "pingadas", sendo assim possível manter as estruturas juntas, para que, se possa inspecionar segundo as tolerâncias das peças, as medidas e ângulos.

Nesta fase, todas as peças estão prontas para soldar, é feita uma análise do tipo de soldadura, MIG/MAG ou TIG, as especificações do cordão e o tipo de gás de acordo com a peça. Logo de seguida, é feita uma inspeção visual e reparação de quaisquer inconformidades. Para obter o acabamento final, as peças passam por um processo de limpeza, uma vez que, o processo de soldadura deixa resíduos e pequenos respingos que aderem ao aço. Também são retiradas arestas vivas e pequenos desvios entre montagens, uniformizando o material.

Na fase final, os conjuntos são submetidos a testes não destrutivos com líquidos penetrantes, de acordo com as quantidades necessárias por torre. Caso existam poros ou irregularidades na fusão das peças, é necessário corrigir a soldadura. Enquanto isso, os conjuntos são agrupados para se deslocarem à zona de galvanização. Este método de proteção é realizado por empresas exteriores que, no final, envia os conjuntos novamente para a fábrica. Finalizando, os conjuntos sofrem novamente uma inspeção para verificar a qualidade do galvanizado, verificar furos e efetuar a limpeza de elementos roscados, procedendo-se à separação por lotes de entrega e melhor acondicionamento no camião.

5.5 Engenharia de Processos por Laser

No processo de corte de chapas lisas ou recortes específicos de tubos, é utilizada a máquina de corte laser, nukon vento 620 representada na Figura 5.10, apresentando duas mesas de corte de 6x2 m, com 6 kW de potência, pode cortar peças, como aço, aço inoxidável, alumínio, latão ou cobre, podendo chegar até 25 mm de espessura. No entanto, para cada material apresenta parâmetros de corte específicos e com gases diferentes.

Figura 5.10 Máquina de corte laser (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

O laser opera com oxigénio ou nitrogénio, com pressões de 15 a 25 Bar com velocidades de corte de 200 $\frac{m}{min}$, tudo controlado internamente por uma bancada computorizada [18].

O sistema de corte laser é constituído por um gerador laser que cria comprimentos de onda amplificados, baseados na teoria de emissão estimulada de fotões. O decaimento de um eletrão para um nível mais baixo de energia resulta na emissão de um fotão adicional com a mesma quantidade de energia, que, por meio de uma amplificação e incorporação espelhos, guiam e focalizam o raio em direção ao material a cortar. Na cabeça de corte apresentada na Figura 5.11 é adicionado um gás de assistência que tem a função de refrigerar e remover o material da fenda de corte. [3] É adicionado um emissor de laser vermelho para definir o foco e ajudar o operador a realizar o seu alinhamento.

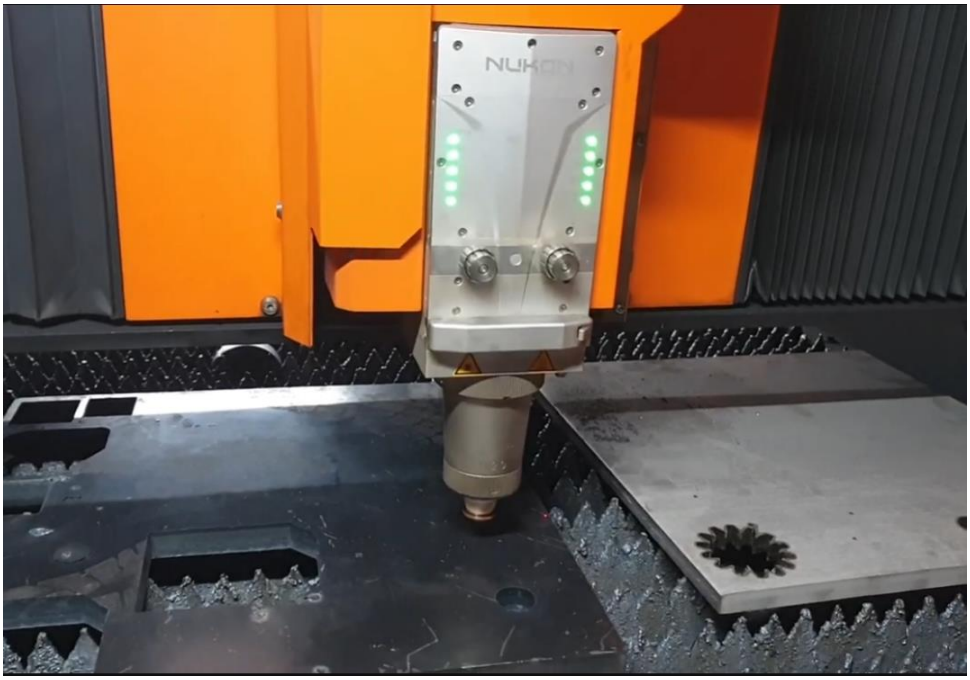
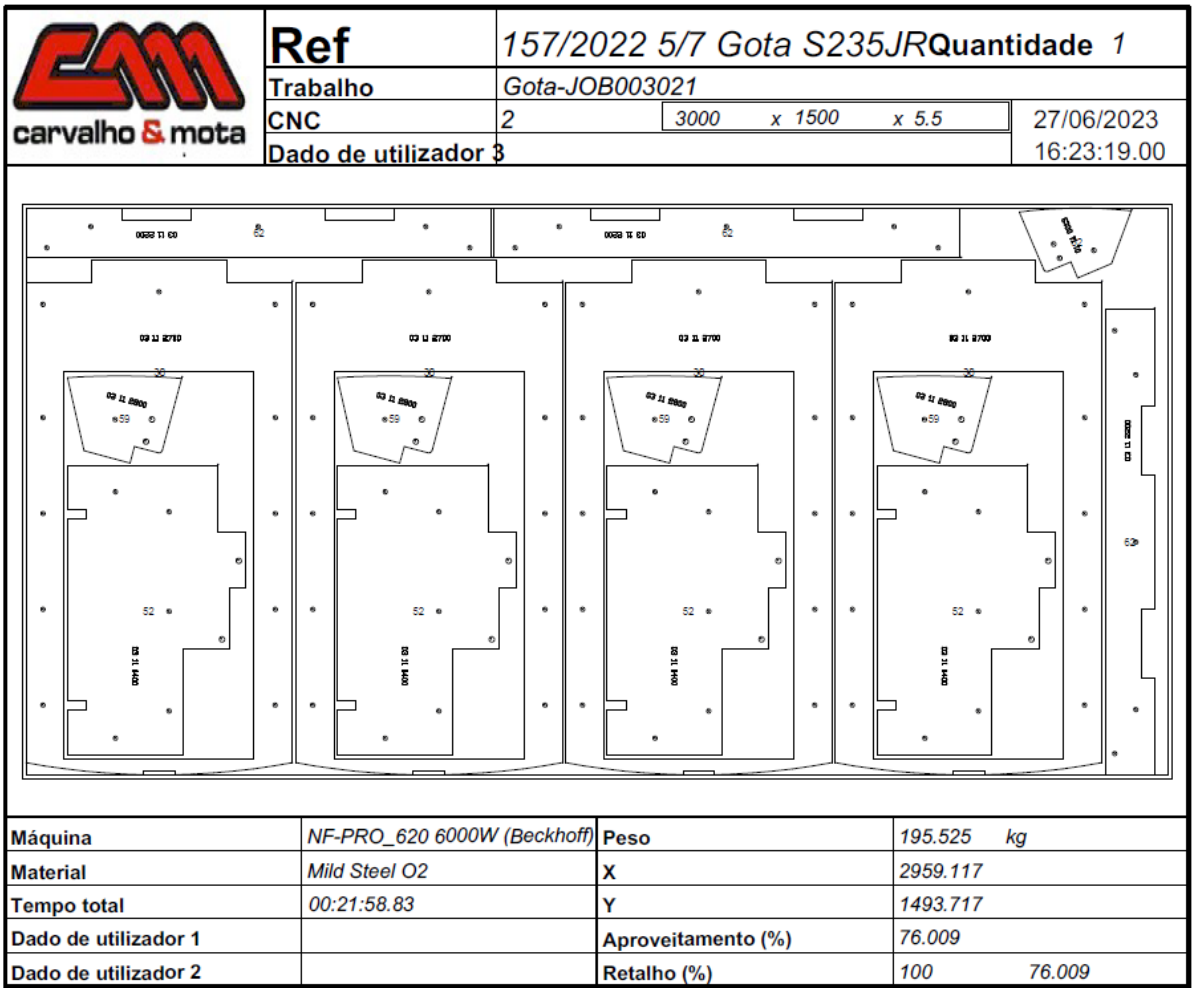


Figura 5.11 Cabeça de corte (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

O gás, bocal e lente de foco são consumíveis. No caso das lentes, os fumos e partículas que ressaltem durante o corte prejudicam o alinhamento e focalização do feixe, pois influenciam a lente na absorção da radiação, o que leva ao aquecimento provocando alteração da curvatura da lente. Esta dilatação eleva o índice de refração encurtando a distância focal e piorando o diâmetro de foco. A lente considera-se inutilizável quando a máquina indica um nível de rendimento baixo e perde qualidade de corte. Esses defeitos são visíveis a olho nu, verificando-se a presença de pequenos salpicos, resultantes dos pontos quentes criados [4].

5.6 Processo e Otimização do Corte 2D

Para iniciarmos o processo de corte, é necessário preparar uma sequência de processos para minimizarmos o erro e, desta forma, otimizarmos o tempo despendido e o material usado. Tudo começa com um software CAD onde são dispostas as várias peças com o intuito de evitar o menor desperdício possível. Quando obtermos a otimização desejada, cria-se um DFX Nesting em 2D (Fig. 5.12), numerando sequencialmente as peças para que, posteriormente, sejam agrupadas em lotes. Este programa é importado para a máquina, onde são escolhidos os parâmetros de corte.



carvalho & mota	**Ref**	*157/2022 5/7 Gota S235JR*	**Quantidade** *1*	
	Trabalho	*Gota-JOB003021*		
	CNC	*2*	*3000 x 1500 x 5.5*	27/06/2023 16:23:19.00
	Dado de utilizador 3			

Máquina	*NF-PRO_620 6000W (Beckhoff)*	**Peso**	*195.525 kg*
Material	*Mild Steel O2*	**X**	*2959.117*
Tempo total	*00:21:58.83*	**Y**	*1493.717*
Dado de utilizador 1		**Aproveitamento (%)**	*76.009*
Dado de utilizador 2		**Retalho (%)**	*100 76.009*

Figura 5.12 Nesting máquina laser (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

A figura representa a disposição possível para as peças, obtendo o tempo necessário para a totalidade do corte, assim como, a percentagem de aproveitamento do aço. Neste caso, é uma chapa gota de 5 mm, em aço 235JR, que será cortada com oxigénio como gás de assistência.

5.7 Processo de Corte Laser de Tubos

Os tubos são exemplos de elementos estruturais eficientes pois são capazes de suportar determinados esforços quando comparados com elementos de secção sólida. O corte a laser de tubos é uma tecnologia que revolucionou a forma como estas secções são processadas, criando soluções para as geometrias complexas e proporcionando uma qualidade superior nas superfícies de corte.

Por outro lado, a elevada automatização do processo, o rápido deslocamento do feixe e a possibilidade de manter sempre a ferramenta durante os vários processos, possibilita um aumento na produtividade e redução de custos de produção.

Figura 5.13 Estrutura corte de tubos (Fonte: Maqfort, s.d.)

A máquina representada na Figura 5.13 é constituída por três secções, no entanto, este processo não é totalmente automatizado, havendo necessidade da intervenção do operador para o abastecimento da matéria-prima.

5.7.1 Secção de Alimentação

A máquina a laser apenas processa um tubo de cada vez, sendo estes fornecidos pelo operador. Nesta secção, é medido o comprimento do tudo através de sensores, movimentando e suportando o seu peso durante o processo de corte.

É constituída por uma bucha solidária com uma luneta (Fig. 5.14) que se encontra junto à carcaça do laser, permitindo que sejam realizados dois tipos de movimentos, translação e rotação. A translação possibilita a movimentação de alimentação à cabeça de corte e a rotação propícia o movimento radialmente à cabeça de corte.

A luneta apenas tolera o movimento de rotação realizados por servomotores, fixando o tubo através de rolos [3].

Figura 5.14 Bucha e secção de suporte do tubo (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.7.2 Secção de Corte

Nesta secção é onde se localiza a cabeça de corte (Fig. 5.15), que direciona o feixe laser para o material a cortar. A bucha e luneta influenciam no posicionamento relativo entre a cabeça de corte e do material a cortar sendo, assim, designados por eixos principais.

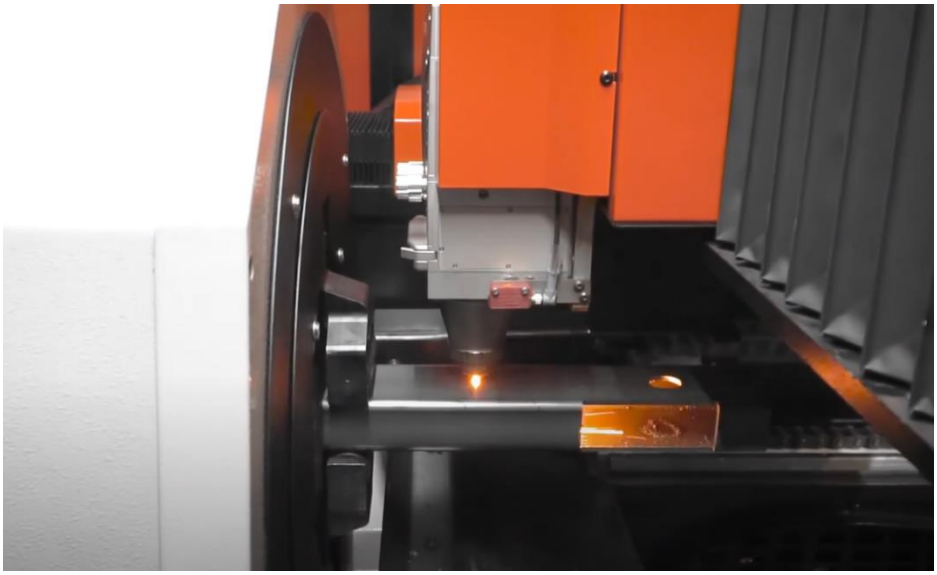


Figura 5.15 Corte laser com luneta rotativa e cabeça de corte fixa (Fonte: Carvalho & Mota)

A cabeça de corte apresenta movimentações em X, Y, Z, podendo ser dotada de rotação.

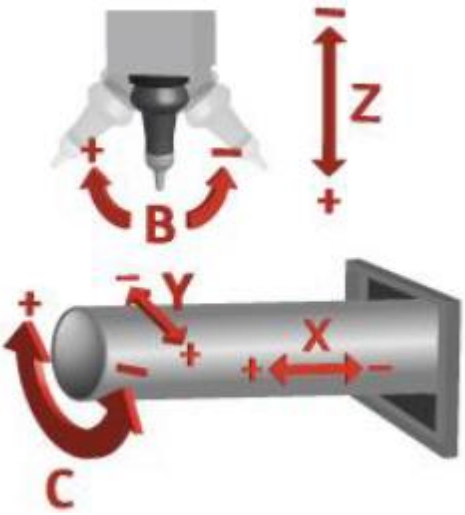


Figura 5.16 Possíveis movimentações da máquina de corte laser (Fonte: Abreu, P. 2021)

A rotação da cabeça de corte (Fig. 5.16) influencia diretamente o tipo de corte executado, podendo ser bidimensional ou tridimensional. Esta rotação possibilita que sejam realizados cortes em chanfro, mantendo a superfície de corte inclinada garantindo um melhor acabamento superficial.

A possibilidade do corte tridimensional representada na Figura 5.17 introduz novas possibilidades de design. No entanto, adiciona um aumento significativo do custo do equipamento, pela introdução de novos servomotores, transmissões e pela utilização de cabeças de corte com menos inércia. Posto isto, como estes tubos são utilizados para o fabrico de secções soldadas e o tipo de chanfro obtido não influenciam visualmente a peça, não sendo necessário a adição de um eixo para corte tridimensional [3].

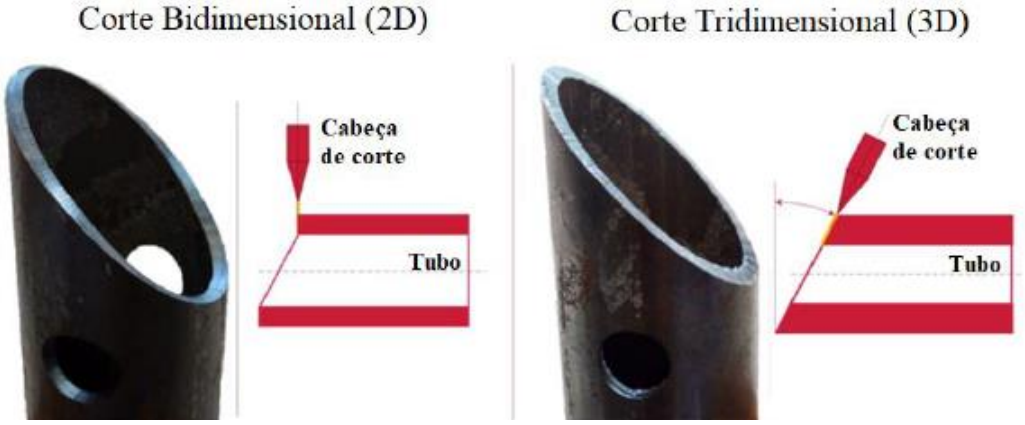


Figura 5.17 Comparação entre cortes com e sem rotação da cabeça laser (Fonte: Abreu, P. 2021)

5.7.3 Secção de Descarga

Nesta secção, após o processamento dos tubos, estes permanecem a uma temperatura elevada, impondo riscos para o manuseamento manual por parte do operador. Assim, nesta zona, existe um tapete rolante onde as porções de tubos são transportadas e armazenadas em gavetas exteriores [3].

5.8 Parâmetros do Processo de Corte por Laser

A seleção dos parâmetros de corte influencia diretamente o desempenho do feixe laser. No entanto a escolha dos indicadores não é intuitiva, pois não existe um método eficaz de corte ideal, sendo necessário realizar experiências em porções de material desperdiçado para verificar quais os parâmetros suportáveis para aquele tipo de matéria-prima. Destacam-se os seguintes fatores para um melhor ajuste.

- Potência da radiação, comprimento de onda;
- Feixe laser, podendo ser pulsado ou continuo;
- Tipo de lente, e diâmetro do feixe;
- Posição do ponto de focalização;
- Velocidade de corte;
- Gás de assistência, tipo de gás e pressão de trabalho;
- Tipo de material, espessura e limpeza superficial e propriedades mecânicas.

5.8.1 Potência de Radiação

Este parâmetro determina a densidade de energia introduzida no corte do material. A potência tem de ser determinada tendo em conta as características do material, minimizando a largura de corte e a zona termicamente afetada [4].

Um aço com baixo teor de carbono, com potências elevadas e velocidades lentas, apresenta uma menor zona térmica, mas a fenda de corte aumenta. Estes equipamentos devem funcionar no valor máximo de potência de radiação, para obter uma maior taxa de fusão numa fração de segundo, e assim obter uma menor zona térmica.

5.8.2 Velocidades de Corte

A velocidade de corte determina o avanço da cabeça. Este parâmetro está relacionado com a potência de radiação, assim, ao operar com velocidades altas, pode não ocorrer a incisão e, como tal, este parâmetro deve ser determinado experiencialmente.

Definida uma dada potência, a velocidade de corte pode ser aumentada 15% em relação à estipulado pelo fabricante, promovendo a diminuição da largura de corte, da zona termicamente afetada, da rebarba e da rugosidade, no entanto, em espessuras superiores obriga ao uso de maiores potências, estando limitada pela capacidade do laser [4].

5.8.3 Posição do Ponto de Focalização

Tabela 9 Características da focalização do laser (Fonte: Amaral, I. 2018)

	Distancia Focal Curta	Distancia Focal Longa
Área da Densidade de Potência	• Maior densidade de potência • Maior velocidade de corte • Menor fornecimento de calor	• Menor densidade de potência • Menor velocidade • Maior fornecimento de calor • Fendas mais largas • Componentes espessos
Profundidade de Foco	• Maior variação de densidade de potência ao longo do feixe • Menor facilidade de posicionamento	• Menor variação de densidade de potência ao longo do feixe • Maior facilidade de posicionamento
Manutenção	• Bico mais próximo de salpicos e fumos	• Bico mais afastado da região de corte

A distância focal (Fig. 5.18) determina o diâmetro da densidade de potência sobre o material e profundidade de foco, assim, para cortar peças mais finas utilizam-se distâncias focais reduzidas, proporcionando diâmetros de densidades menores de acordo com a Figura 5.19, possibilitando que sejam atingidas velocidades de corte mais elevadas, com potências inferiores.

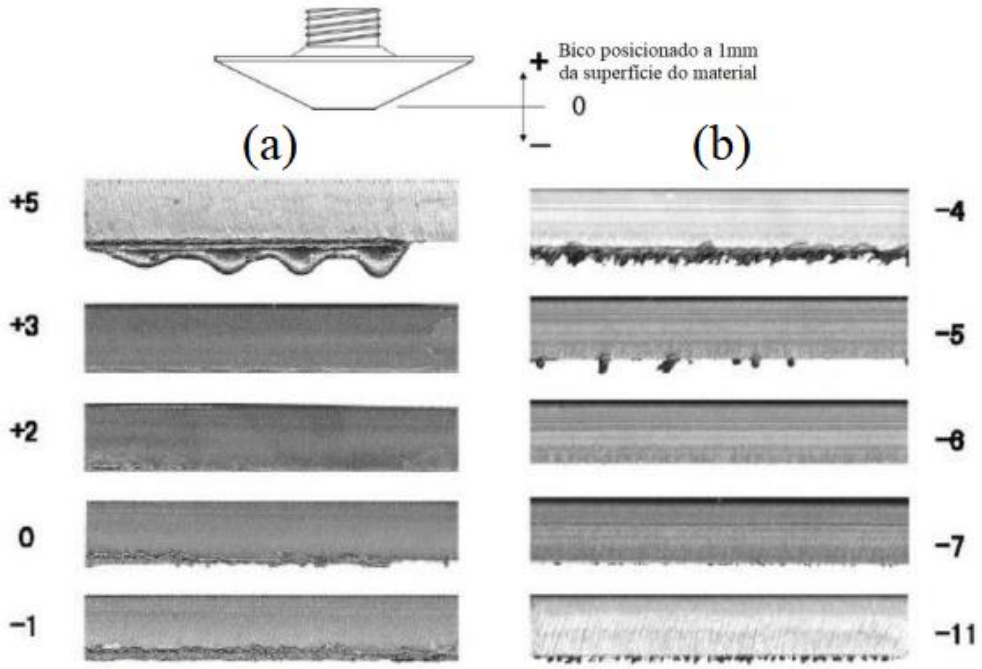


Figura 5.18 Qualidade de corte em função da distância focal (a) Aço de 15 [mm] (b)Aço Inoxidável 8 [mm] (Fonte: Amaral, I. 2018)

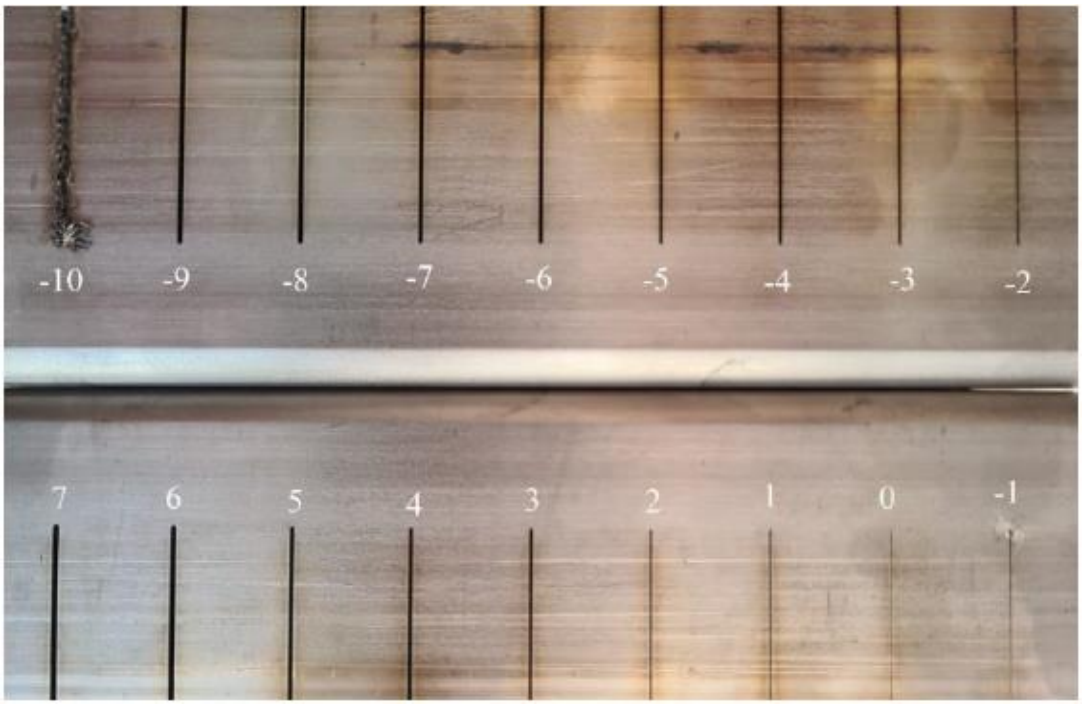


Figura 5.19 Largura de corte em função da distância focal (Fonte: Amaral, I. 2018)

5.8.4 Diâmetro do Feixe

O diâmetro do feixe é determinado pela distância focal na região de trabalho, sendo influenciado pela quantidade de absorção de energia e curvatura das lentes utilizadas.

Quanto maior a distância focal da lente, maior será o diâmetro do feixe. Como consequência, se a lente for grande, o material pode ser apenas aquecido e não cortado.

5.8.5 Tipo de Gás

Na indústria, são utilizados dois tipos de gases, o oxigénio e o azoto. Para aços, utiliza-se, maioritariamente, oxigénio e em aços inoxidáveis utiliza-se sempre azoto, no entanto o uso de azoto diminui a espessura de corte devido à diminuição da energia disponível [4].

O oxigénio fornece mais energia ao corte devido as reações exotérmicas, sendo vantajoso para cortes de alta espessura, já que substitui parte da potência requerida no corte.

O azoto, como auxiliar de corte, protege a superfície contra as reações de oxidação e altas temperaturas, obtendo uma menor fenda de corte.

5.8.6 Pressão do Gás

No caso do oxigénio, o aumento da pressão promove um aumento de energia na zona de fusão tal como uma maior taxa de remoção, facilitado o corte, contudo, aumenta a fenda de corte assim como a zona afetada termicamente.

Na utilização de azoto, não ocorre oxidação e ocorre a diminuição da zona termicamente afetada, melhorando a taxa de remoção de material na zona de corte, no entanto, necessita de potências superiores [4].

Como representado nas Figuras 5.20 e 5.21, na perfuração de uma superfície, identificam-se três zonas de corte, sendo o penetrâmetro, a zona de formação de estrias (1), a saída, a de formação de escória (3), a envolvente ao corte, a zona termicamente afetada (2).

Figura 5.20 Corte de aço de 15 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

Figura 5.21 Corte de aço de 20 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.9 Defeitos na Escolha Indevida dos Parâmetros do Processo

Tabela 10 Defeitos ocorridos segundo os parâmetros de corte (Fonte: Amaral, I. 2018)

Parâmetro do processo	Reduzida	Elevada
Potência Laser	-Fenda estreita; -Perda de penetração;	-Fenda alargada; -Aumento da camada refundida, da escória aderente e da ZTA; -Estrias pronunciadas;
Velocidade de Corte	-Fenda alargada; -Aumento da camada refundida, da escória aderente e da ZTA; -Estrias pronunciadas; -Menos perpendicularidade da fenda;	-Fenda estreita; -Perda de penetração;
Posição Focal	-Fenda alargada; -Aumento da camada refundida, da escória aderente e da ZTA; -Perda de penetração;	
Pressão do Gás de Assistência	-Escória aderente; -Ejeção inadequada do material fundido; -Fenda parcialmente fechada;	-Estrias pronunciadas; -Erosão da parte inferior do corte; -Superfície de corte queimada;
Diâmetro do Bico	-Dificuldade na centragem do feixe; -Ejeção inadequada do material fundido; -Fenda parcialmente fechada;	-Escória aderente; -Elevado consumo de gás; -Aumento da camada refundida, da escória aderente e da ZTA (utilizando gás reativo);

5.10 Furação Computorizada

Na secção de furação é utilizada a Ficep Excalibur 12, sendo esta uma máquina CNC horizontal de 3 eixos, não sendo possível a rotação da mesa. É possível realizar processos como furação, fresagem, numeração de peças e roscagem.

Opera até uma rotação de 5000 rpm com uma potência na árvore de 19 kW, apresentando apenas uma cabeça de corte com diâmetro de perfuração até 40 mm, e suportando até 6 ferramentas de troca automática.

Apresenta uma mesa de trabalho de 15 m, onde pode furar vigas em série. Desta forma, não é necessário trocar vigas iguais pois, ao dispor em linha com a anterior, a furação será realizada sempre pelo mesmo programa [19].

Esta máquina representada na Figura 5.22 é controlada internamente por uma bancada computorizada, que pode receber programas em formato numérico ou criar os próprios programas de furação. Os programas NC são criados no Advance Steel e importados para o engenho de furar, no entanto, é necessário um pós processamento para determinar qual o programa indicado para cada furo, pois apenas é criado o furo no seu diâmetro, sem programa específico.

Figura 5.22 Máquina de furação computorizada (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.10.1 Método de Furação

Para realizarmos uma furação numa dada viga é necessário já possuir um programa em formato Nc, com a furação pré-estabelecida. O programa é importado para a máquina, ficando ao dispor do operador. De seguida, é escolhido o tipo de operação que vamos realizar em cada furo, sendo os mais usados a furação e fresagem. É feita uma verificação das cotagens dos furos e do tamanho da viga para verificar se coincide com a norma.

Internamente, existe uma biblioteca de ferramentas que já estão estabelecidas entre si, com os parâmetros de corte, medidas de comprimento, e rotação, sendo apenas necessário atribuir a cada operação.

De seguida é escolhido no programa a face e a sequência de furação, colocando-a no suporte. É retirado a zero peça dando início a sequência do programa, neste processo (Fig. 5.23), o operador apenas tem de fazer a rotação das faces de acordo com a furação e verificar as cotas.

Figura 5.23 Furação de entalhes com fresa de 14 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.10.2 Tipos de Ferramentas

A Ficep Excalibur 12 apresenta um suporte até 6 ferramentas representadas na Tabela 11, com troca automática ou manual, pois no caso de não haver espaço de armazenagem, o operador pode trocar a ferramenta manualmente para um programa específico. Todas as ferramentas apresentam lubrificação interna, que é automatizada pela máquina CNC.

As brocas usadas são de metal duro, constituídas por carboneto de tungsténio. São produzidas por prensagem e sinterização de uma mistura de pós, apresentam uma elevada dureza, 75 e 95 HRA, são pouco porosas e com grão de tamanho reduzido, baixo teor de elementos ligantes sendo, por isso, pouco tenazes.

Tabela 11 Ferramentas utilizadas (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

Ferramenta	Diâmetro	Tipo de Processo	Posição
Furação	10mm	Drill_1	1
Furação	12mm	Drill_2	2
Furação	14mm	Drill_3	3
Furação	16mm	Drill_4	4
Furação	18mm	Drill_5	5
Fresa	10mm	Pocket_1	
Fresa	14mm	Pocket_2	6
Fresa	18mm	Pocket_3	
Marcação	--	Scribing	

5.10.3 Trocas de Ferramentas e Parâmetros de Operação

No processo de fabrico, por vezes, existem furações específicas, ao qual é necessário trocar as ferramentas para diâmetros diferentes. Para tal, é preciso colocar a máquina no sistema manual, Jog, onde podemos movimentar qualquer um dos eixos e posicioná-los na posição pretendida. Com o equipamento no zero, executa-se o chamamento da ferramenta de acordo com a sua posição.

De seguida, abre-se a porta de segurança e retira-se o porta-ferramentas da árvore. Neste caso, apresenta uma fixação mecânica, sendo necessário mudar a pinça para a medida desejada. Fixada a ferramenta, recorre-se à medição manual do comprimento, evitando um possível choque devido ao seu desconhecimento por parte do equipamento. Perante a montagem da ferramenta na árvore, é necessário preencher os parâmetros de corte, definindo o diâmetro, a rotação da árvore, o avanço por rotação, comprimento, ângulo de afiação, tipo e quantidade de lubrificação.

5.10.3.1 Velocidade de Corte para Brocas

$$Vc = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \tag{8.1}$$

Sendo:

D- Diâmetro da Ferramenta $[mm]$

N- Rotação da Árvore $[rpm]$

Vc- Velocidade de Corte $[\frac{m}{min}]$

5.10.3.2 Velocidade de Avanço para Brocas

$$Vf = F_r \cdot N \tag{8.2}$$

Sendo:

Fr- Avanço por Rotação $[\frac{mm}{rot}]$

N- Rotação da Árvore $[rpm]$

Vf- Velocidade de Avanço $[\frac{mm}{min}]$

5.10.3.3 Parâmetros de Corte para Brocas Recomendados pela Palbit

Tabela 12 Parâmetros de corte para brocas da Palbit (Fonte Palbit 2020)

ISO	Material Group Grupo Materiais Grupo Materiales	Vc (m/min)	Ø3~8mm	Ø8~12mm	Ø12~16mm	Ø16~20mm
P	UNALLOYED STEEL (-0,25%)	80-100	0,10-0,20	0,15-0,25	0,20-0,40	0,25-0,50
	LOW-ALLOY STEEL (0,25%-)	70-100	0,10-0,20	0,20-0,30	0,20-0,35	0,25-0,40
	HIGH-ALLOY STEEL	40-70	0,08-0,15	0,12-0,22	0,20-0,40	0,25-0,40
M	STAINLESS STEEL	35-50	0,08-0,15	0,12-0,25	0,15-0,30	0,20-0,35
K	MALEABLE CAST IRON	70-100	0,10-0,30	0,20-0,40	0,25-0,40	0,25-0,50
	GREY CAST IRON	70-100	0,10-0,25	0,20-0,35	0,30-0,45	0,35-0,55

Para uma broca 14 mm com material de baixa percentagem de carbono obtemos os seguintes parâmetros pela Tabela 12:

Vc- 70-100 $[\frac{m}{min}]$

Fr- 0.2-0.35 $[\frac{mm}{rot}]$

Pela aplicação das fórmulas temos:

Rotação:

$$100 = \frac{\pi \cdot 14 \cdot N}{1000}$$

$$N = 2273\ RPM$$

Velocidade de Avanço:

$$Vf = 0.2 \cdot 2273$$

$$Vf = 454{,}6\ [\frac{mm}{min}]$$

Assim, para uma broca de 14 mm, obtemos uma rotação de 2273 RPM e velocidade de avanço de 454,6 mm/min.

5.10.3.4 Velocidade de Corte para Fresas

$$Vc = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \tag{8.3}$$

5.10.3.5 Velocidade de Avanço para Fresas

$$Vf = Z_n \cdot F_z \cdot N \tag{8.4}$$

Fz- Avanço por Dente $[\frac{mm}{Dente}]$

N- Rotação da Árvore $[rpm]$

Zn- Número de Gumes de Corte

Vf- Velocidade de Avanço $[\frac{mm}{min}]$

5.10.3.6 Profundidade de Corte para Fresas

$$Ap = 0.7 \cdot F_z \tag{8.5}$$

Ap- Profundidade de Corte $[mm]$

5.10.3.7 *Parâmetros de Corte para Fresas Recomendados pela Palbit*

Tabela 13 Parâmetros de corte para fresas Palbit (Fonte Palbit 2020)

ISO	Material Group Grupo Materiais Grupo Materiales	Vc (m/min)	Ø12,5~15	Ø15,5~21,5	Ø22~27,5	Ø28~33	Ø34~41	Ø42~50	Ø50~60	Ø60~75	Ø75~80
P	UNALLOYED STEEL (-0,25%)	180-250	0,05-0,08	0,06-0,10	0,06-0,12	0,07-0,13	0,08-0,15	0,08-0,16	0,06-0,12	0,08-0,12	0,08-0,12
	LOW-ALLOY STEEL (0,25%-)	160-220	0,06-0,12	0,08-0,15	0,10-0,18	0,12-0,22	0,12-0,24	0,13-0,25	0,10-0,14	0,12-0,18	0,11-0,18
	LOW-ALLOY STEEL	150-220	0,06-0,12	0,08-0,14	0,10-0,18	0,12-0,22	0,12-0,23	0,13-0,24	0,08-0,15	0,10-0,18	0,10-0,18
	HIGH-ALLOY STEEL	130-180	0,06-0,10	0,08-0,15	0,10-0,20	0,12-0,23	0,12-0,24	0,13-0,25	0,08-0,14	0,09-0,15	0,09-0,14
M	STAINLESS STEEL	170-240	0,05-0,10	0,06-0,12	0,08-0,15	0,09-0,16	0,10-0,17	0,11-0,19	0,06-0,13	0,08-0,15	0,08-0,14
K	GREY CAST IRON	180-250	0,06-0,12	0,08-0,16	0,12-0,20	0,15-0,25	0,16-0,28	0,18-0,30	0,12-0,20	0,15-0,20	0,15-0,20
	CAST IRON WITH NODULAR CAST	130-200	0,06-0,10	0,08-0,15	0,10-0,18	0,12-0,20	0,15-0,23	0,16-0,25	0,10-0,15	0,09-0,18	0,10-0,18
N	ALUMINIUM FORGING ALLOYS	330-380	0,06-0,14	0,08-0,15	0,10-0,20	0,12-0,22	0,14-0,23	0,15-0,26	0,14-0,20	0,14-0,23	0,15-0,23
S	SUPER-ALLOYS AND TITANIUM	30-60	0,05-0,10	0,06-0,14	0,08-0,18	0,10-0,22	0,12-0,22	0,14-0,24	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,15

Para uma fresa 14 mm com 1 gume de corte para a fresagem de aço com baixa percentagem de carbono obtemos os seguintes parâmetros pela Tabela 13:

Vc- 160-220 $[\frac{m}{min}]$

Fz-0.06-0.12 $[\frac{mm}{Dente}]$

Ap- 0.7 x Fz $[mm]$

Como a Escalibur 12 apresenta velocidade máxima da árvore de 5000 rpm e 19kw de potencia, é impossível utilizar uma velocidade de corte de 220 m/min com avanços de 0.12 mm/dente.

Pela aplicação das fórmulas temos:

Rotação:

$$200 = \frac{\pi \cdot 14 \cdot N}{1000}$$

$$N = 4550\ RPM$$

Velocidade de Avanço:

$$Vf = 0.1 \cdot 4550$$

$$Vf = 455\ [\frac{mm}{min}]$$

$$A_p = 0.7 \cdot 0.1$$

$$A_p = 0.07\ [mm]$$

5.11 Problemas Ocorridos em Contexto de Trabalho

Na máquina existiram problemas que no decorrer do seu funcionamento colocavam em causa o aspeto final, assim como a alteração indevida de cotas.

Um dos problemas encontrados foi ao nível da instabilidade da corrente que, ao sofrer variações, provocava na Ficep uma perda da zero peça, ocorrendo duas situações distintas. Se a máquina já detivesse o zero da peça que ia maquinar, todas as cotas sofreriam uma alteração de 10 a 20 mm, provocando uma inconformidade e levando a rejeição da peça. Caso contrário, se a variação de corrente ocorresse antes da deteção da zero peça, a maquinação ocorria de forma normal, sem alteração dos parâmetros pré-estabelecidos. Neste caso, a função do operador era importante na deteção e paragem da máquina CNC para evitar erros.

Um dos parâmetros que a máquina CNC não faz automaticamente é a leitura do comprimento da ferramenta, como tal é necessário medir manualmente. Assim, um erro de visualização da cota provoca um erro de aproximação da ferramenta à peça. Caso a cota seja superior ao estabelecido, a ferramenta não vai tocar no componente, realizando todo o processo desnecessariamente e não existindo custos associados; no caso da cota ao ser inferior ao estabelecido, a aproximação do engenho à peça é rápida, provocando destruição da ferramenta de corte e da peça e causando possíveis danos como o empeno da árvore.

Um dos problemas mais frequentes é a introdução de parâmetros de corte acima ou abaixo dos valores pré-estabelecidos. Uma broca de 14 mm com velocidades de rotação de 2728 rpm, associado com avanços por rotação de 0.35 $\frac{mm}{rot}$, resulta numa combinação de velocidades de rotação médias, com valores de avanço altos, provocando um desgaste prematuro das ferramentas de corte (Fig. 5.24), marcações helicoidais nas zonas de maquiagem, esforços na árvore e sobreaquecimento.

Figura 5.24 Broca com desgaste prematuro (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

A escolha indevida de fresas com apenas um gume de corte (Fig. 5.25) e a introdução de parâmetros errados, com velocidades de 3865 rpm, avanço de 0.18 mm/dente e profundidades de corte de 0.3 mm, apesar de, apresentar uma rotação abaixo da estabelecida e avanços ligeiramente elevados. No caso da profundidade, 0.3 mm é um valor elevado para o parâmetro de corte da fresa, pois deveria apresentar valores de 0.126 mm (Anexo F – Fig. 9.1). Estes parâmetros levam à perda de fiação da pastilha de corte, elevados esforços na ligação mecânica pastilha de corte e porta pastilhas, assim como, sobreaquecimento da ferramenta, levando consequentemente à sua inutilização.

Figura 5.25 Ferramenta porta pastilhas inutilizada (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.12 Processo de Soldadura MIG/MAG e Métodos de Transferência

Na soldadura por arco elétrico com gás de proteção, designada por MIG onde é utilizado um gás inerte ou MAG, caso seja utilizado um gás ativo, tem como objetivo estabelecer uma ligação mecânica entre duas peças metálicas. Para tal, é utilizado metal de adição que é adicionado à poça de fusão protegido por uma atmosfera protetora.

O desenvolvimento dos processos, acrescentaram novas metodologias de trabalho, como a opção de correntes pulsadas, baixas densidades de corrente e variadas gamas de materiais e gases de adição, proporcionando uma alta taxa de deposição de material, não existindo a necessidade de remoção da escoria, podendo ser executadas em todas as posições de solda.

O processo de soldadura MIG/MAG inclui três técnicas distintas do modo de transferência do metal de adição para a poça de fusão, por curto-circuito, globular ou por spray representado na Figura 5.26, dependendo de diversos fatores como a amperagem, voltagem de soldadura, diâmetro do arame, comprimento do arco e gás de proteção.

5.12.1 Transferência Curto Circuito

Na soldadura com transferência por curto-circuito, são utilizados arames de diâmetro na faixa de 0.8 mm e 1.2 mm, aplicando baixas tensões e baixas voltagens de soldadura, obtendo uma poça de fusão de rápida solidificação. Este processo ocorre apenas quando existe contacto entre o arame e a peça formando um curto-circuito, desta forma, existe a fusão do metal de adição para a poça de fusão. Logo de seguida, o arco é novamente reaberto, ocorrendo este processo entre 20 e 200 vezes por segundo. Esta técnica é utilizada em uniões de peças com pequena espessura, ou no enchimento de grandes aberturas, não importando a posição de soldadura. Uma das vantagens desta técnica é o facto de a mesma minimizar a distorção das peças [6].

5.12.2 Transferência Globular

Esta técnica não é utilizada devido ao aspeto e problemas de fusão, pois a voltagem e a tensão são aumentadas acima do recomendado, obtendo gotas de diâmetro superior ao recomendado, o que provoca fraca penetração do material e respingos. Como a corrente não estabiliza por vezes ocorre curto-circuitos ocasionais, influenciando no comprimento do arco [6].

5.12.3 Transferência por Spray

A transferência por spray ocorre aumentando a tensão e voltagem produzindo um arco em spray, obtendo gotas de pequenas dimensões, com grande estabilidade. Os curto-circuitos são raros, formando poucos respingos e altas taxas de deposição.

Esta técnica é utilizada em espessuras superiores a 4 mm, obtendo uma boa penetração e elevada deposição de material, no entanto o arco fica restrito a uma posição plana devido à elevada quantidade de material disponível na poça de fusão [6].

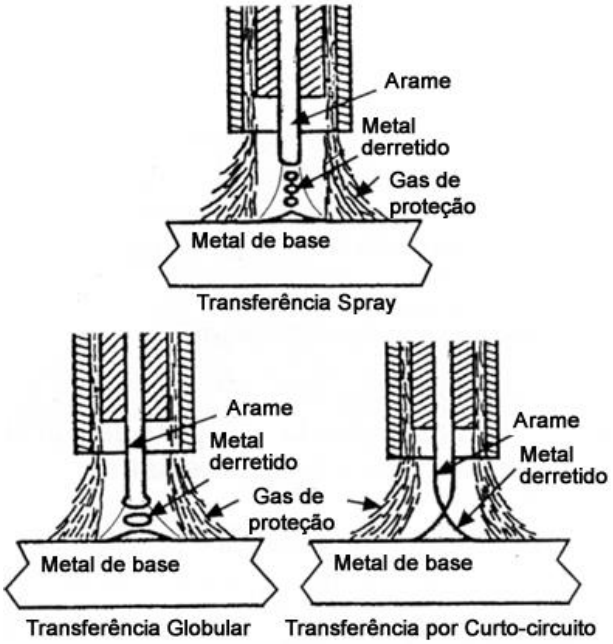


Figura 5.26 Processos de deposição de material de adição (Fonte: Cleber, F. 2005)

5.13 Processo de Soldadura TIG

O processo TIG consiste na soldadura por arco elétrico entre um elétrodo não consumível de tungsténio protegido por uma atmosfera protetora, e o material base, com inclusão ou não de material de adição. Neste processo, a tocha é composta por o elétrodo não consumível, (ocorre um pequeno consumo), que aquece a região a soldar, criando uma poça de fusão, onde as varetas de adição são inseridas manualmente por o operador.

O bocal possui orifícios por onde o gás é injetado para arrefecimento da peça. Neste processo utiliza-se o árgon por ser inerte e diminuir o consumo do elétrodo de tungsténio, podendo apresentar pequenas adições de hélio e azoto.

O processo TIG utiliza polaridade negativa, caso a utilização seja em aços, aços inoxidáveis ou ligas de cobre, ou alternada, em ligas de alumínio. Na polaridade negativa, ocorre um bom aquecimento do material base o que forma uma boa penetração, tal não ocorre na polaridade positiva, que provocaria um aquecimento excessivo do elétrodo e uma baixa penetração. A corrente alternada é utilizada no alumínio pois, é necessário remover os óxidos presentes na superfície, visto que, estes apenas se incorporam a temperaturas mais elevadas 2000 ºC muito acima do alumínio 600 ºC, possibilitando um arco mais estável, otimizando o desgaste do elétrodo de tungsténio [7].

O processo TIG apresentado na Figura 5.27 apresenta baixas taxas de deposição, sendo utilizado preferencialmente em soldadura de chapas finas e em locais de difícil acesso, pois minimiza a área a limpar, diminuindo o trabalho de homogeneização do cordão. Visualmente a peça é mais apelativa pois, devido à baixa transferência térmica, existe uma pequena área termicamente afetada, e uma menor possibilidade de empenamento.

Figura 5.27 Processo de soldadura TIG (Fonte: Aços Nobre. s.d)

5.14 Métodos Utilizados na Produção

No processo de soldadura de aços S235, S275, e S355, são utilizados os modos de transferência por curto-circuito e spray. O modo de transferência por curto-circuito é utilizado em espessuras até 8 mm em juntas de canto com uma passagem, podendo ir até 20 mm com múltiplas passagens. No caso da transferência por spray pode ir até 24 mm utilizado o gás de proteção, protar 12, uma mistura de árgon que contem 12% de dióxido de carbono.

No aço inoxidável os processos de soldadura são semelhantes. No entanto, é alterando do gás de proteção para 100% árgon e invertida a polaridade para DC-, diminuindo a temperatura na peça, evitando deformações em espessuras pequenas. Para espessuras elevadas, é utilizado gás protar 12 com tensões e voltagens elevadas para atingir o modo spray. Neste caso, é utilizado o modo de polaridade direta para obter taxas de penetrâmetro superiores.

No alumínio é utilizado árgon, com transferências do tipo spray, com espessuras até 8 mm, ficando restringido a posição de soldadura de canto e topo a topo com apenas uma passagem.

5.15 Decapagem por Processo Abrasivo

A decapagem mecânica, é um tratamento usado para erodir uma superfície, remover contaminantes ou alterar a rugosidade para obter um substrato ideal para ancoragem de novos tratamentos. Consiste em projetar um fluxo de material abrasivo com elevada velocidade por meio de ar comprimido (Fig. 5.28).

Os abrasivos utilizados podem ser não metálicos utilizando areia, vidro, ou bicarbonato, utilizado mais eficazmente na remoção de tintas e resinas epóxis, e apenas limpeza superficial, sem alteração dimensional da peça. Com este método não é possível obter um acabamento espelhado de uma superfície, contudo, obtém-se um acabamento fosco com baixo custo.

A utilização de abrasivos metálicos como a granalha de aço são, geralmente, empregues por serem mais eficientes nas ações abrasivas, onde removem facilmente rebarbas e arestas cortantes, suavizando a superfícies. A longo prazo este método é mais económico pois a granalha de aço não se deteriora com as repetitivas projeções sobre o material, algo que não acontece com o jato de areia, que se deve realizar mudas em períodos curtos [8].

Uma das particularidades de utilizar esferas de aço é o tratamento que realiza nas superfícies, pois a projeção promove o encruamento do aço, melhorando a resistência à fadiga e corrosão, favorecendo o fechamento da microporosidade superficial e eliminação de microfissuras e pontos de concentração de tensões.

Figura 5.28 Decapagem por jato abrasivo (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.16 Aspersão Térmica por Arco Elétrico

Este processo é conhecido vulgarmente por metalização, que consiste na proteção de componentes metálicos contra a corrosão, procurando revestir as peças com materiais de sacrifício para aumentar vida útil do material. Neste método, a metalização por spray representado na Figura 5.29 utiliza um arco elétrico direcionado por uma pistola composta por dois arames de zinco carregados eletricamente com polaridades opostas, aqui, ao serem reunidos num único ponto fundem-se continuadamente e com ajuda de ar comprimido projeta sobre a superfície da peça. A espessura do revestimento que é depositado por unidade de tempo, pode ser alterada, em função da amperagem, do diâmetro do fio e da velocidade de alimentação [21].

Para obter um bom revestimento da superfície, esta deve estar isenta de óxidos, gorduras e impurezas, de modo a garantir uma boa aderência do zinco. Para tal, é realizado um processo de decapagem por granalha de aço, o que evita a limpeza por solventes, melhorando a rugosidade da superficial.

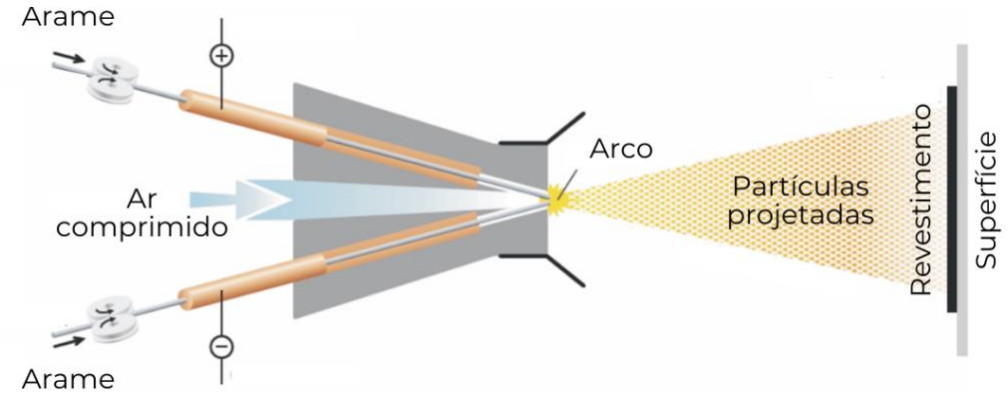


Figura 5.29 Processo de obtenção do revestimento (Fonte: Sulcromo s.d)

Figura 5.30 Aplicação do revestimento de zinco (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.17 Galvanização

O processo de galvanização por imersão a quente visa criar uma barreira de proteção entre o aço e o meio ambiente. Com a imersão das peças em zinco aquecido a 450 ºC é formado um substrato que penetra na rede cristalina do aço, garantindo uma proteção superior à utilizada convencionalmente.

Neste processo (Fig. 5.31) é utilizado zinco, pois apresenta um potencial de redução menor que o ferro, logo o zinco irá oxidar, sacrificando-se em detrimento do ferro, formando uma proteção catódica.

A galvanização pode ser aplicada independente do peso, ou complexidade das peças, aumentando significativamente a longevidade do aço, no entanto existe um custo adicional de 5% no valor total da obra, mas com uma grande redução de custos de manutenção.

O galvanizado é realizado de forma rápida e controlado pela norma ISO 1461 referentes à espessura do revestimento. O zinco depois de aplicado é compatível com a pintura, sendo por vezes necessário para efeitos de estética ou sinalização, prolongando ainda mais a longevidade do aço [9].

Figura 5.31 Peças Galvanizadas (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.18 Processos de Galvanização

1- Desengorduramento

Banho em solução ácida para remoção de gorduras entre 30 e 120 min à temperatura ambiente, dependendo do estado de sujidade dos componentes.

2- Decapagem Química

Decapagem em ácido clorídrico comercial para remoção de óxidos superficiais e galvanizações anteriores entre 45 e 120 min.

3- Lavagem

Passagem rápida por água destilada para evitar a contaminação dos banhos seguintes.

4- Fluxagem

Imersão em solução de cloreto de zinco e cloreto de amónio, melhorando a limpeza superficial e formando uma ancoragem para o zinco simples. A imersão ocorre a 45º.

5- Secagem

Secagem em estufa a 80 ºC para remoção da humidade e pré-aquecer o aço, evitando um choque térmico favorecendo uma reação mais estável aquando da imersão em zinco.

6- Imersão em Zinco

Banho em zinco fundido com temperaturas a rondar os 450 ºC compondo assim o revestimento final das peças. Cada conjunto de peças tem características que alteram segundo o seu formato, assim como, a velocidade de imersão e emersão, tempo de mergulho e angulo de saída e escorrimento, para atender as normas de proteção.

7- Arrefecimento

Passagem rápida por água a 30 ºC para arrefecer e interromper a reação entre ferro e zinco.

8- Passivação

Banho em solução de polímeros a 40 ºC para proteção do zinco contra a corrosão, hidróxido de zinco, e para prolongar o brilho da superfície tornando-a mais apelativa.

9- Inspeção

Limpeza dos escorridos assim como de pequenos respingos sólidos de zinco e inspeção do material segundo as diretivas da espessura da proteção [22].

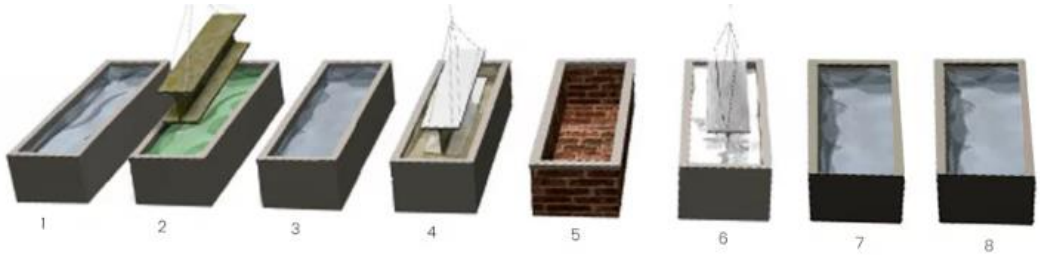


Figura 5.32 Sequência de Galvanização (Fonte: Eurogalva. s.d)

5.19 Limpeza e Controlo de Peças

Na fase final, é necessário garantir que o produto atende aos requisitos do cliente, para tal é desenvolvido um controlo de qualidade para melhorar o processo de produção.

Este programa retira unidades de cada lote, testando de forma individual a qualidade do produto, a existência de arestas vivas, o intervalo de tolerâncias dimensionais, assim como a espessura do material de revestimento, dando a conhecer a cada estação de produção os resultados obtidos, podendo assim implementar medidas corretivas, e detetar qualquer repetição de problemas e novas falhas. A falhas são caracterizadas por não conformidades, podendo estas serem reversíveis, caso a peça seja reaproveitada, ou irreversíveis, caso o valor do fabrico de uma nova peça seja inferior à já construída.

5.20 Não Conformidades e suas Causas

As não conformidades surgem quando as especificações exigidas pelo cliente não são cumpridas. Quando estas surgem, têm de ser resolvidas, acarretando sempre custos para a empresa. A deteção pode ocorrer em qualquer secção da empresa e após isso, a peça pode seguir caminhos distintos, recuperando-se caso o custo seja inferior ao de uma peça nova ou reproduzir-se uma nova.

Uma não conformidade é uma fonte de prejuízo para a empresa, pois influencia diretamente o funcionamento de toda a produção, aumentando a carga dos postos de trabalho e a execução atempada de todas as obras previstas para entrega. A não conformidade detetada pelo cliente representa uma má imagem da empresa pois causa desagrado no cliente, e possível mudança de interesses por empresas concorrentes [10].

5.20.1 Erros de Interpretação de Desenhos Técnicos

Grande parte das não conformidades ocorre devido à incorreta interpretação dos desenhos técnicos ou a programação efetuada pelo operador não corresponder as especificações.

O operador ao definir as estratégias das diversas operações, erra ao introduzir as cotas, o posicionamento incorreto de furações e rasgos, o que provoca defeitos nas peças.

No corte laser existe, por vezes, o corte com dimensões erradas, ou com partes em falta devido a um lapso na criação do modelo 2D o que leva ao incumprimento geométrico e imprecisão final.

5.20.2 Erros de Execução

No caso de chapas gota, é necessário desbastar zonas onde existam agrupamento de peças na montagem, varandins e portas de emergência, contudo, a não visualização, promove uma não conformidade, que providencia uma intervenção de reparação.

No caso de corte de tubos para disposições angulares, a má fixação dos tubos ou o incumprimento das cotas, coloca em causa a precisão final das peças, levando a defeitos nas montagens dos varandins, sendo necessário a criação de novos componentes caso sejam inferiores ao estabelecido.

Na limpeza das peças, durante a sua execução, ocorre o desbaste excessivo das zonas soldadas, diminuindo largura da garganta e penetrâmetro, apresentando peças com cotas inferiores as previstas originalmente e revelando zonas de fraca ligação.

Na soldadura, a alocação de peças incorretas altera a geometria da peça, assim como, o aspeto desejado, aumentando os desperdícios caso os defeitos sejam irreversíveis.

5.21 Ensaios Não Destrutivos

Os ensaios não destrutivos são técnicas de inspeção de peças que visam procurar defeitos em aplicações de engenharia, tendo por base a preservação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e dimensionais do material. Estas inspeções tornaram-se indispensáveis para o controlo da produção de uma indústria moderna, pois avalia a qualidade de fabrico e a condição da matéria-prima. A constante melhoria dos processos justifica os investimentos em equipamentos com menores tempos de resultados, atendendo à rápida exigência de continuidade de produção.

5.21.1 Inspeções Visuais

A inspeção visual é considerada um dos ensaios não destrutivos mais aplicados na indústria, pois é independente da geometria da peça. Esta técnica pretende detetar descontinuidades, tais como, fendas, contaminações e acabamentos superficiais, fornecendo dados simples de baixo custo. A inspeção visual apesar da simplicidade da realização e do custo de operação, requer uma técnica apurada e conhecimento dos processos para uma correta aplicação.

Na soldadura a avaliação das condições superficiais pelo método visual, evita problemas de correção posterior como o ajuste incorreto das juntas a soldar, assim

uma verificação constante do operador previne possíveis descontinuidades detetadas no final da execução do processo.

5.21.2 Líquidos Penetrantes e Etapas de Ensaio

Este método de ensaio representado na Figura 5.33 consiste na aplicação de um líquido penetrante seguidamente de um revelador, permitindo detetar descontinuidades superficiais abertas, como poros e fendas. É utilizado em componentes metálicos com tamanhos e formas variáveis, ou em pequenas áreas, não requerendo equipamentos sofisticados.

A aprendizagem é simples e requer pouco tempo de aplicação, apresentando resultados simples dos defeitos, em contrapartida, o operador deve ter cuidados básicos como a limpeza das superfícies, e o tempo de aplicação, não sendo aconselháveis em superfícies muito rugosas e porosas.

Apresenta limitações no seu uso pois, apenas detetas descontinuidades abertas para a superfície, visto que, o líquido tem de penetrar nas descontinuidades para poder ser revelada, enganado os resultados obtidos.

- **Etapas de Ensaio**

1- Preparação da Superfície

Primeiramente deve-se examinar a superfície e avaliar os defeitos visíveis a olho nu, limpando resíduos utilizando um solvente anti gordura, e removendo-os de seguida.

2- Aplicação do Penetrante

Consiste na aplicação de um líquido penetrante de cor vermelha ou fluorescente, este deve ser aplicado em toda a área de interesse, notando que apenas as descontinuidades superficiais serão preenchidas. Após um tempo de penetração o líquido que ficou em excesso é removido da superfície.

3- Aplicação do Revelador

O revelador tem como função absorver o líquido excedente retido no material e nas cavidades, revelando qualquer descontinuidade presente no material.

4- Inspeção

Perante os resultados, o operador avalia as superfícies e as condições de acordo com a peça e normas do fabricante [11].

Figura 5.33 Aplicação de Líquidos Penetrantes (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.21.3 Ultrassons

A tecnologia ultrassons é considerada um ensaio não destrutivo utilizado na indústria para análise de propriedade de materiais, deteção de fissuras, porosidades ou descontinuidades do material, constituindo uma técnica de inspeção de uma estrutura. Através de fenómenos ondulatórios, ao incidir uma onda ultrassónica num material, esta irá propagar-se até detetar uma descontinuidade, nesse ponto a onda irá refletir sendo posteriormente detetada por um transdutor, desta forma é possível obter dados da localização, profundidade e tipo de descontinuidade. Estes aparelhos apresentam outras aplicações para a indústria, visto que é possível determinar distâncias, espessuras, ou corrosões internas, possibilitando uma compreensão da qualidade do material.

A principal vantagem em relação ao método de líquidos penetrantes, é a capacidade de detetar descontinuidades internas que não se revelam na superfície, no entanto apresenta um custo mais elevado, pois é necessário adquirir máquinas especificas.

Existem três possibilidades de inspeção, nomeadamente, a técnica de pulso-eco, a de transparência ou por imersão.

5.21.3.1 Técnica Pulso-Eco

Nesta técnica existe apenas um transdutor responsável por emitir e receber as ondas ultrassónicas que se propagam no material (Fig. 5.34). Ao acoplar um transdutor num determinado material, verifica qualquer descontinuidade, dimensão e localização na peça. É um método mais simples e com menos custo [11].

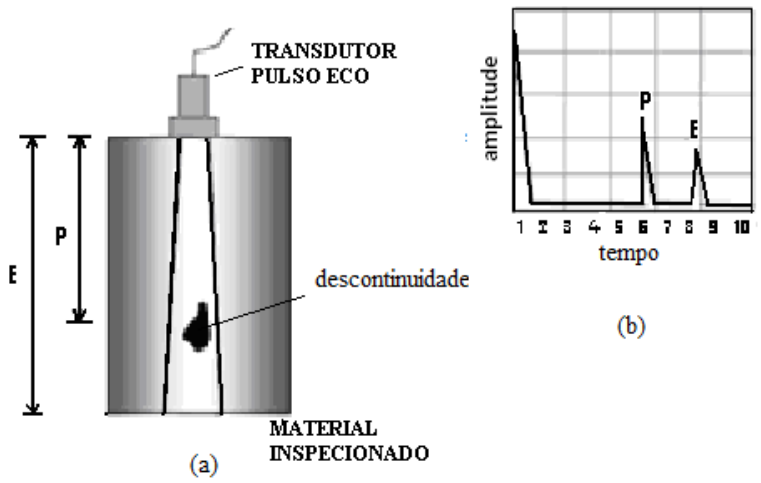


Figura 5.34 Procedimento pulso-eco (Fonte: Oliveira, D. 2019)

5.21.3.2 Técnica Transparência

Na técnica por transparência (Fig. 5.35), são utilizados dois transdutores um emissor e um recetor, separados pela peça a analisar. Este método é utilizado em chapas, e juntas soldadas sendo que, não consegue determinar a extensão da descontinuidade, ou localização, estabelecendo um critério comparativo entre a peça e as normas de avaliação, determinando se está ou não apta para a aplicação [11].

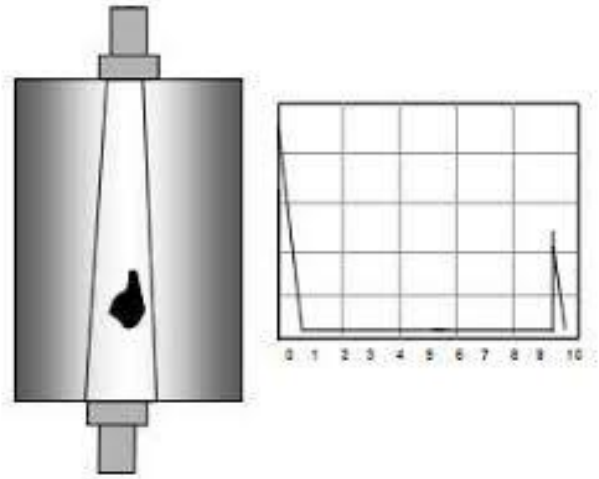


Figura 5.35 Metodologia por transparência (Fonte: Oliveira, D. 2019)

5.21.3.3 Técnica por Imersão

Na técnica por imersão a peça é colocada dentro de um tanque, permitindo um varrimento homogéneo da superfície. Este método (Fig. 5.36) é mais rápido pois percorre a peça de forma automatizada, revelando as descontinuidades [11].

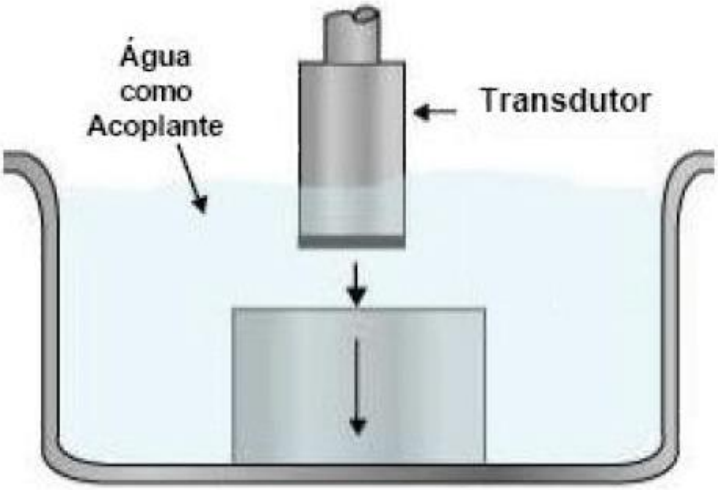


Figura 5.36 Método por imersão (Fonte: Oliveira, D. 2019)

Na empresa Carvalho e Mota, o método de ultrassons é realizado por empresas específicas pois, sendo utilizado com pouca frequência, apresenta um investimento significativo em inspetores qualificados com conhecimento de interpretação de resultados, normas e controlos exigidos.

As chapas das plataformas de óleo retratadas na Figura 5.37, apresentam normas especiais, pois ao serem cortadas no laser, estas devido ao tamanho, são subdivididas em duas peças, que posteriormente são soldadas. A soldadura de topo a topo para estar conforme, necessitando de ser inspecionada pelo método de ultrassons para obter uma informação detalhada da qualidade da soldadura e do material utilizado no processo.

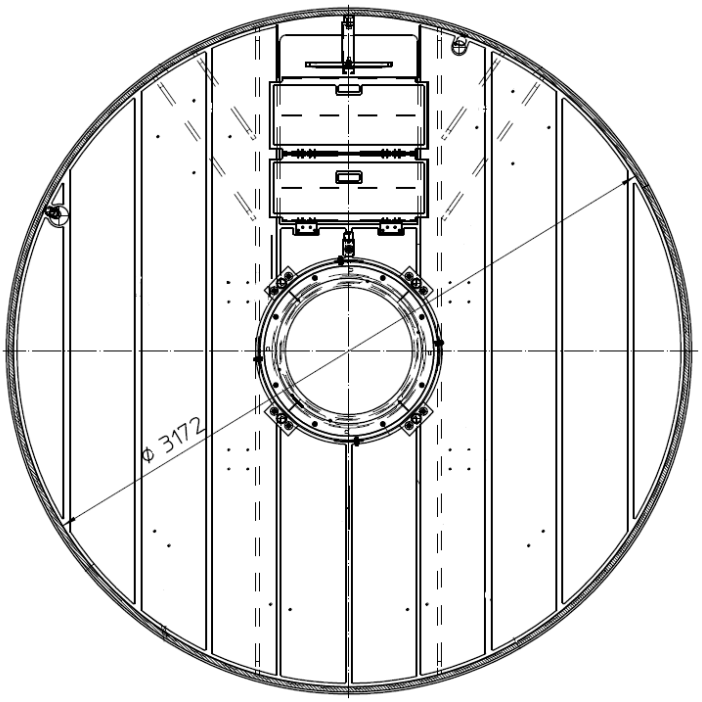


Figura 5.37 Plataforma de óleo (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

5.22 Relatório de Inspeção

A elaboração do relatório de inspeção é essencial para a atividade organizacional, garantindo a eficiência dos processos de fabrico, assim como o controlo das normas técnicas de qualidade e segurança.

Trata-se da criação de um documento, que com base numa inspeção técnica, procura inconformidades durante a fase de produção e expedição dos produtos, visando por meio de ações corretivas e preventivas assegurar o bom funcionamento da operação.

Os relatórios de inspeção são direcionados para todos os produtos desenvolvidos, seguindo as exigências das tolerâncias geométricas, norma EN 1090, da soldabilidade, norma EN 10025, de durabilidade, norma ISO 1461 e fratura. (Anexo G - Figura 9.2.)

As tolerâncias geométricas e de soldabilidade, necessitam de um controlo mais exigente, sendo por isso, realizadas em duas fases, antes e depois da soldadura, procurando manter as características iniciais das peças.

Antes da soldadura são verificadas as dimensões, ângulos, os ajustes das juntas e limpeza da área da soldadura e por fim suprimir quaisquer zonas de descontinuidade que posteriormente possam causar deformações e empenos.

Depois da soldadura, é verificado visualmente o cordão de soldadura, o penetrâmetro e possíveis deformações, procedendo a realização dos ensaios não destrutivos.

A durabilidade é relacionada com a preparação da superfície para, posteriormente, ser galvanizada. Assim, é realizada uma vistoria aquando da limpeza final para verificar se as peças apresentam um nível de ancoragem exigido pela norma ISO 1461.

O Anexo H - Figura 9.3, demostra que as realizações destes documentos desempenham um papel fundamental na tomada de decisões, garantindo qualidade e conformidade de acordo com as normas exigidas. É importante manter o rigor, sendo imparcial nos momentos de inspeção, pois estes relatórios, são uma forma eficaz de promover um impacto positivo baseado em resultados obtidos.

6 SUGESTÕES, COMENTÁRIOS E PROPOSTAS DE MELHORIA

Tendo por base a observação e recolha de informação, foi possível elencar situações que requerem intervenção para a melhoria das condições de trabalho nos diversos setores de fábrica. Assim, durante o processo de soldadura, são libertados gases e misturas de fumos que constituem uma preocupação para os operadores, assim como para os intervenientes na fase de projeto e conceção do produto. Os gases resultantes da soldadura surgem a partir dos materiais base e da camada protetora do arco elétrico. Apesar do avanço tecnológico, os soldadores ainda permanecem expostos aos produtos resultantes da soldadura, embora os novos processos e equipamentos permitam reduzir as suas emissões, estes ainda continuam presentes.

Durante a soldadura, as partículas e fumos ficam suspensas no ar ambiente enquanto quentes. No entanto, à medida que o ar condensa as matérias depositam-se na área de trabalho e nos equipamentos levando a uma manutenção adicional.

A legislação na área da higiene e segurança impõe medidas de exposição a gases resultantes da soldadura, contribuindo para a formação dos operários em relação à saúde e sensibilizando para a realização de exames de rotina as vias respiratórias e consultas de oftalmologia.

Embora a utilização de máscaras diminua o fluxo de ar contaminado, uma das melhorias é a introdução de estações de aspiração para extração de fumos nos locais de soldadura. Este método permite remover por completo os fumos e partículas na estação de soldadura, mantendo a zona de trabalho limpa e eficiente.

Outro mecanismo é a introdução de extratores de fumos de lamelas no topo da cobertura, que permite a extração natural ou artificial de grandes volumes de ar num curto espaço de tempo, obtendo uma melhoria significativa na qualidade do ar no interior do edifício. Caso a extração seja artificial, uma das intervenções é a aplicação de estações de tratamento do ar, evitando a contaminação do meio ambiente com gases provenientes essencialmente da soldadura.

Na secção de montagem dos componentes, uma das possíveis melhorias é o uso de mesas de montagem com furação para inserção de fixadores ou roletes. Desta forma, os fixadores ajudam o operador a realizar as esquadrias e fixação de peças aquando da soldadura, evitando o seu empeno e alteração de forma. Por outro lado, os roletes ajudam na movimentação acessível, sem aplicação de grandes esforços.

As distribuições das secções de um modo geral enquadram-se no fluxo tendencial dos componentes, promovendo uma boa fluência desde o corte bruto de peças, até à montagem e expedição do material.

No departamento de conceção de produto, uma das formas de otimizar o processo é a compra de licenças que permitam converter diretamente desenhos 3D em ficheiros numéricos, evitando a criação de um novo modelo no software usado pela máquina CNC.

7 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho, foi possível compreender os requisitos de desempenho ao qual as estruturas devem obedecer na fase de construção, procurando estabilidade dimensional e a durabilidade para os quais foram projetadas.

O layout é uma das principais áreas ao qual se deve dar importância, pois permite obter um fluxo de trabalho consistente sem interrupções das secções de fabrico. Uma boa organização dos funcionários diminui os comportamentos inseguros, criando hábitos de segurança na estruturação dos processos. A promoção e participação em ações de formação sensibilizam para as situações com potencial de gerar acidentes, procurando mudar a mentalidade dos funcionários.

Em relação ao planeamento das obras, a coordenação e organização das quantidades, dos tipos de peças e dos desenhos de fabrico, representa um trabalho importante na realização do fabrico dos componentes. A sinalização de pequenos detalhes nos desenhos de fábrica ajuda os operadores a evitar não conformidades, levando a uma diminuição do tempo despendido na alteração de parâmetros errados.

Analisando a máquina de corte laser e os seus parâmetros, foi possível ver a influência na qualidade da superfície cortada e o tempo despendido. A potência de radiação, pressão do gás e velocidade de avanço, são os parâmetros mais alterados, confirmando-se que, por vezes, os operadores realizam ensaios para modificar os valores definidos pelo fabricante para melhorar a qualidade do corte no produto final. No caso de um corte apresentar defeitos, possuir uma tabela com os parâmetros e falhas, ajuda na realização de um ajuste fino, diminuindo o tempo à procura de uma solução eficaz.

Na furação computorizada CNC, o processo de organização dos ficheiros NC ajuda o operador a verificar os programas, as dimensões, cotas, selecionando o melhor processo para a otimização da furação. A introdução de parâmetros de corte acima dos valores pré-estabelecidos pelo fabricante é um dos principais fatores para o desgaste prematuro e sobreaquecimento das ferramentas de corte, levando a esforços superiores na árvore e marcações helicoidais nas zonas de furação.

Como já referido, deve ser dada uma especial atenção à preparação e montagem das peças devido aos desvios permitidos das cotas e ângulos, de forma a obter uma junta soldada com qualidade.

Neste contexto, fica evidente que a escolha de um ensaio não destrutivo vai ter em conta diversos fatores como o custo associado, e o tipo de material a ser inspecionado. No entanto, no material menos exigente é utilizado o de líquidos penetrantes, oferecendo uma fiabilidade e segurança aos componentes produzidos em fábrica.

A partir da observação, as não conformidades representam custos diretos, sendo uma das fontes principais de prejuízo não só pela perda da peça, mas também pelo

tempo despendido na reparação ou fabricação de uma nova. Os erros de interpretação, assim como os erros de execução, devem ser resolvidos quando surgem, sendo necessário definir estratégias de operação para os minimizar.

Para concluir, em trabalhos futuros, deve analisar-se as diversas secções da fábrica e o modo de operação dos equipamentos e da produção, o fluxo tendencial das peças promove uma boa capacidade de escoamento de produção num curto espaço de tempo. No entanto, é necessário sensibilizar para a formação dos operários em relação aos cuidados à saúde, realizando exames de rotina as vias respiratórias e consultas oftalmológicas regularmente.

Uma das áreas a ter maior atenção é a introdução de estações de aspiração e extração de fumos nos locais de soldadura, e a instalação de extratores de lamelas no topo do edifício, com o objetivo de extrair grandes quantidades de ar num curto espaço de tempo.

8 BIBLIOGRAFIA E WEBGRAFIA

8.1 Bibliografia

[1] Almeida.G, - (2013). Conceção, Projeto e Instalação de um Carro para Movimentação de Torres Eólicas no Processo Produtivo. Relatório de Estágio de Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

[2] Normas Portuguesas EN 1090, - (2010). Norma Portuguesa Execução de Estruturas em Aço e de Alumínio. Instituto Português da Qualidade, Portugal.

[3] Abreu Paulo, - (2021). Corte a laser de tubos: Estudo do Processo e Metodologia de Parametrização em Função dos Materiais a Cortar e Forma dos Tubos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia do Porto, Porto.

[4] Amaral Ivo, - (2018). Influencia dos Parâmetros de Corte Laser na Qualidade da Superfície Cortada; Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

[5] Palbit, - (2020). Ferramentas de corte Palbit. Catálogo Palbit. Portugal

[6] Fortes Cleber, - (2005). Soldadura MIG/MAG. ESAB MIG Welding Handbook, União Europeia.

[7] Fernandes Tiago, - (2003). Estudo do processo de soldadura TIG. Licenciatura em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Faculdade de Engenharia do Porto, Porto.

[8] Prieto Anibal, (2014) Processo Abrasivo. Aprieto Jateamento e Pintura Industrial. Associação Brasileira de Corrosão, Brasil

[9] Galvaza, - (2017). Processo de Galvanização; Metalogalva Engineering and Protecting Steel, União Europeia

[10] Moreira, Tânia, - (2012) Análise da Relação entre as Não Conformidades e a Implementação dos Sistemas de Gestão da Qualidade. Dissertação de mestrado em Engenharia Industrial. Universidade do Minho, Braga.

[11] Oliveira Damião, - (2019). Ensaios Não Destrutivos: Fundamentos e Aplicações. Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba. Brasil.

[12] Carvalho & Mota, - (2010). Fábrica de Janelas Eficientes. Disponível em https://www.carvalho-mota.com/empresa. Acedido a 27 de julho de 2023.

[13] Aguerri, - (2013). Soluções de alumínio. Disponível em https://www.escaleras-aguerri.com/escalera-torre-eolica.html. Acedido a 15 de setembro de 2023.

[14] Protrabalho, - (s.d). Equipamentos de proteção individual. Disponível em https://www.protrabalho.eu/loja-pro-trabalho/tampoes-auditivos-30-db-402012/. Acedido em 15 de setembro de 2023.

[15] Sove, - (s.d). Equipamentos de proteção auditiva. Disponível em https://www.sove.pt/categoria/resgate-seguranca/epis/epis-proteccao-auditiva/. Acedido em 15 de setembro de 2023.

[16] Moldex, - (s.d.). Equipamentos de Proteção Individual. Disponível em https://www.moldex-europe.com/pt/moldex-informacoes-uteis/niveis-da-protecao-das-mascaras-ffp1ffp2-ffp3/. Acedido a 30 de julho de 2023.

[17] Ramada aços, - (s.d). Aços de construção. Acedido a 2 de setembro de 2023. Disponível em https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-de-construa-ao-ao-carbono/c1_.html

[18] Maqfort, - (sd). Máquinas de corte laser. Disponível em https://www.maqfort.com/produtos/maquina-corte-laser-tubo-chapa-vento-flex/. Acedido a 3 de setembro de 2023.

[19] Ficep, - (s.d) Equipamento Escalibur 12. Disponível em https://www.ficep.co.uk/equipment/steel-fabrication/steel-beam-drilling-lines/excalibur-12. Acedido em 6 de setembro de 2023

[20] Aços nobre, - (s.d) Tipos e aplicações de solda. Disponível em https://acosnobre.com.br/blog/tipos-de-solda/. Acedido em 10 de setembro de 2023

[21] Sulcromo, - (s.d) Aspersão Térmica por Arco Elétrico. Disponível em https://www.sulcromo.com.br/blog/metalizacao-de-pecas-conheca-o-processo-arc-spray/. Acedido em 10 de setembro de 2023

[22] Eurogalva, - (s.d) Vantagens da Galvanização. Disponível em https://eurogalva.pt/galvanizacao/. Acedido em 11 de setembro de 2023.

9 ANEXOS

ANEXO A - RASTREABILIDADE DO LOTE

TIPO DOCUMENTO – TYPE DOCUMENT (EN10204)
Certificato di Controllo 3.1
Inspection Certificate 3.1
Nr. : 21068177

Data – Date
17/08/2021

Pag. 1 / 1

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' CERTIFICATO SECONDO **UNI EN ISO 9001**

(42598) **Consegna:** Delivery: (42750)

D.D.T. – DELIVERY NOTE
21048168 – 17/08/2021

Riferimenti Normativi Tubi – Hollow Sections Standard: EN 10219–1

Profilati cavi formati a freddo e saldati longitudinalmente (ERW)
Cold formed and longitudinal welded hollow sections (ERW)

Composizione Chimica
Chemical Composition

Proprietà Meccaniche e Tecnologiche
Mechanical and Technical Properties

ORDINE CLIENTE – CUSTOMER ORDER 213562
ORDINE PADANA TUBI – P.T. ORDER S2 – 21037100
FATTURA – INVOICE L2 – 21029429– 17/08/2021

Dim. (mm)	Sp. Th. (mm)	L (mm)	Acciaio Steel	Fin.	Lotto	MT Tot. (m)	Peso WGT (kg)	Colata Heat	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Nb	%V	%Al	%Ti	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%N	%CEV	Trazione / Tensile Test ReH MPa	Rm MPa	A %	A80 %	Durezza Hardness HRB HB30	Resilienza Charpy Impact Test (KV) 1 (J)	2 (J)	3 (J)	X (J)	T (° C)
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07191241	48	2.142	24420	0,160	0,012	1,000	0,019	0,008	0,045	0,002	0,023	0,017	0,016	0,005		0,006	0,006	0,331	521	543	27,4		34	32	35	34	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07191302	48	2.130	24491	0,171	0,011	1,000	0,021	0,010	0,045		0,025	0,010	0,017	0,003		0,010	0,006	0,342	521	543	27,4		34	32	35	34	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07191320	48	2.120	24491	0,171	0,011	1,000	0,021	0,010	0,045		0,025	0,010	0,017	0,003		0,010	0,006	0,342	521	543	27,4		34	32	35	34	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07191339	48	2.124	24491	0,171	0,011	1,000	0,021	0,010	0,045		0,025	0,010	0,017	0,003		0,010	0,006	0,342	521	543	27,4		34	32	35	34	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07191362	48	2.112	24394	0,162	0,013	1,034	0,018	0,010	0,043	0,002	0,026	0,014	0,017	0,006		0,006	0,006	0,339	521	543	27,4		34	32	35	34	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07191386	48	2.123	24394	0,162	0,013	1,034	0,018	0,010	0,043	0,002	0,026	0,014	0,017	0,006		0,006	0,006	0,339	521	543	27,4		34	32	35	34	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07191413	48	2.128	24394	0,162	0,013	1,034	0,018	0,010	0,043	0,002	0,026	0,014	0,017	0,006		0,006	0,006	0,339	521	543	27,4		34	32	35	34	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07321688	48	2.142	32562	0,173	0,011	1,000	0,011	0,010	0,045		0,034	0,018	0,012	0,002		0,013	0,006	0,343	524	570	32,1		43	40	32	38	– 20
160X160	10,00	12000	S355J2H		TQ07321723	48	2.134	12446	0,174	0,018	1,032	0,013	0,009	0,045	0,002	0,029	0,013	0,017	0,006		0,007	0,006	0,351	524	570	32,1		43	40	32	38	– 20
100X100	8,00	12000	S355J2H		TQ07446741	144	2.386	170609	0,160	0,019	0,817	0,020	0,010	0,029	0,002	0,028	0,017	0,016	0,003		0,011	0,006	0,301	481	499	28,9		79	64	73	72	– 20

CE 0948
Padana Tubi S.p.A., Via Portamurata 8/A, I–42016 Guastalla (RE)
08
0948–CPR–0063 Rev.2 or 0948–CPR–0064 Rev.2

Controllo visivo e dimensionale:
esito positivo
Visual and dimensional control:
OK

Certifichiamo che il prodotto fornito è conforme ai requisiti dell'ordine
We certify that material supplied complies with the requirements agreed on order

EN 10219–1:2006
Profilati cavi di acciaio per strutture metalliche o compositi metallici e strutture di calcestruzzo
Steel hollow sections for metal structures or composite metal and concrete structures
Designazione del prodotto: vedi sopra
Product designation: see above
Sostanza pericolosa / Dangerous substance: NPD
Durabilità / Durability: NPD

DoP n. S235
DoP n. S275
DoP n. S355
DoP è disponibile su / DoP is available

P.N.D.: correnti indotte sulla saldatura:
esito positivo
NDT: Eddy Current test on the weld:
OK

Padana Tubi & Profilati Acciaio S.p.A.
Contpollo Qualità / Quality Department

M 7.5.19 – rev. 01

Certificado 1 Rastreabilidade do Lote

ANEXO B - PROTEÇÃO GASOSA

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE

Data de impressão 05/09/2022

Tipo de recipiente X50S
Conexão da válvula de saída MIE AP7 Tipo C
Pressão de enchimento em 15ºC: 200 bar

Material	Data fabricação	Data Análise	consumir até
62245-PR_PROTAR 12_X50S_COM__ES_U ISO 14175 Classification: M20 ArC 12	31/08/2022	31/08/2022	
Ordem de Processo 010014378430		Localidade 0645-PERAFITA DEPOT	

COMPONENTE	Limite Inferior	Limite Superior	Valor Nominal	UNIDADE	Análise Fase	Análise Frequência	Análise Metodo
Dióxido de Carbono	10.8	13.2	12	% mol/mol		B	
Argon			88	% mol/mol		B	
Água		10		ppm mol/mol		B	
Hidrocarbonetos totais		10		ppm mol/mol		B	
Azoto		100		ppm mol/mol		B	
Hidrogénio		100		ppm mol/mol		B	

CERTIFICAÇÃO:
Este produto está em conformidade com a especificação de produto acima definida. O produto cumpre os requisitos da norma ISO 14175 e AWS A5.32M / ASME SFA-5.32.
Sociedade Unipessoal está certificada pela ISO 9001.

OBSERVAÇÕES:
Método de Análise Frequência análise: I=Individual Análise ; B=Batch Análise; C=Calculada.
S=materia prima G-BIP=garantido pela tecnologia BIP® D= Diário
Não utilizar abaixo de uma pressão de 3 bar
Manter armazenado e usar à temperatura entre -10°C e 50°C

Coordenadora de Controle de Qualidade

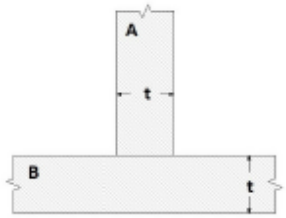
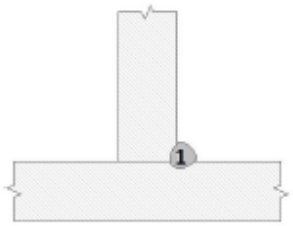
Certificado 2 Proteção Gasosa (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

ANEXO C - SOLDADURA MAG COM FIO SÓLIDO E PROTEÇÃO GASOSA

carvalho & mota	Especificação de Procedimento de Soldadura (EPS) *Welding Procedure Specification (WPS)*			I.187E1
	05			
	RQPS *WPQR*	2015/11	**Norma** *Standard*	EN ISO 15609

Material de base *Base Material*		**Grupo ISO/TR 15608** *Group ISO/TR 15608*	**Espessuras (mm)** *Thickness (mm)*	**Diâmetro (mm)** *Diameter (mm)*
A	S235	1.1	3,0 - 8,0	> 500 ou > 150 PA ou PC a rodar
B	S235	1.1	3,0 - 8,0	> 500 ou > 150 PA ou PC a rodar

Tipo de junta *Type of Joint*	**Método de soldadura** *Welding method*	**Garganta - a (mm)** *Welding Throat - a (mm)*	**Posição de soldadura** *Welding Positions*
FW - Canto	sl (mono passe)	3,7 - 7,5	Todas Exceto PG e J-L045

Preparação de junta *Joint Preparation*	**Sequência de soldadura** *Weld Sequence*
	

Parâmetros de soldadura *Welding Parameters*	
Passe de soldadura *Weld Run*	1
Processo de Soldadura *Welding Process*	135
Eletrodo de tugnsténio *Tungsten electrode*	---
Material de Adição *Filler Material*	**MG2** (EN ISO 14341-A: G3Si1)
Diâmetro (mm) *Diameter (mm)*	1,0 / 1,2
Fluxo/Gás *Flux / Gas*	**Protar 12** (EN ISO 14175 - M20)
Débito (l/min) *Flow rate (l/min)*	12 - 16
Tipo de corrente (Polaridade) *Type of current (Polarity)*	DC +
Intensidade de Corrente (A) *Current (A)*	170 - 210
Tensão (V) *Tension (V)*	17 - 21
Velocidade de Avanço (cm/min) *Welding velocity (cm/min)*	45 - 55
Entrega Térmica (KJ/mm) *Heat-input (KJ/mm)*	0,26 - 0,43
Modo de transferência *Transfer mode*	Curto-Circuito
Pré-aquecimento (ºC) *Pre-heat temperature (ºC)*	---
Tempreratura de interpasse (ºC) *Interpass temperature (ºC)*	---

Os valores da entrega térmica indicados correspondem a uma variação entre menos e mais 25% dos valores provenientes do provete de teste de qualificação.
The values of heat input indicated correspond to a variation between less and more than 25% of the values coming from the qualification.

Elaborado Por:		**Aprovado Por:**		**Data:**	

Certificado 3 Soldadura MAG com Fio Sólido e Proteção Gasosa (Fonte: Carvalho & Mota)

ANEXO D - APROVAÇÃO AOS OPERADORES DE SOLDADURA

CERTIFICADO DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR

DESIGNAÇÂO: EN ISO 9606-1 135 P BW FM1 S s12,0 PA bs

Especificação do Procedimento de Soldadura: 01 e 06 — Certificado Nº: 2021/20704

Nome do Soldador:

Identificação:

Método/Arquivo de Identif.: Cartão do Cidadão/Portugal

Data e Local de Nascimento: Vila Real

Empregador: Carvalho & Mota, Lda.

Código/Norma de Qualificação: EN ISO 9606-1:2017

Conhecimentos Tecnológicos: Não Testados

Fotografia

	Corpo de Prova		Domínio de Validade	
Processos(s) de Soldadura	135	———	135 (5.2 da Norma)	———
Modo de Transferência	135-D	———	135-D, outros	———
Forma do Produto(Chapa ou Tubo)	P		P,T	
Tipo de Soldadura	BW		BW;FW	
Grupo(s) Material Base	1		———	
Grupo(s) Material de Adição	FM1	———	FM1,FM2	———
Material de Adição	S	———	S,M	———
Gás de Proteção	EN ISO 14175-M20	———	———	———
Auxiliar (e.g. Gás Purga)	———	———	———	———
Corrente ou Polaridade	DCEP	———	———	———
Espessura de Material (mm)	12,00		FW >= 3.0	
Espessura Depositada (mm)	12,00	———	BW >= 3,0	———
Diâmetro Exterior do Tubo (mm)	———		>=500(Fixo:PA) >=75(Rot.:PA)	
Posição de Soldadura	PA		PA,PB	
Detalhes de Soldadura	bs	———	bs,ss mb	———
Multi Camada/Mono Camada	sl	———	sl, ml	———

Ensaio Suplementar de Junta de Ângulo (executado em conjunto com ensaio topo-a-topo): 135:Aceite

Tipo de Ensaio	Realizado e Aceite	Não Ensaiado
Inspeção Visual	X	
Radiográfico		X
Ultrasons	X	
Fratura	X	
Dobragem		X
Ensaio de Tração		X
Macroscópico		X
Exames Adicionais		X

Examinador:

Emissão:

Responsável:

Data de Soldadura: 10/09/2021

Obs: ---

Certificado 4 Aprovação aos Operadores de Soldadura (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

ANEXO E - REVESTIMENTO E ESPESSURA DO GALVANIZADO

Declaração de conformidade
Declaration of conformity / Déclaration de conformité
(Certificado tipo/Certificate type / Certificat de type: EN 10204/2.2)

DECLARAÇÃO/*DECLARATION/Déclaration* **No. DCL0000002931**

Cliente: *Customer Cliente*	CARVALHO & MOTA, LDA	**ENCOMENDA Nº:** *Order / Commande No.*	GT.ATDT202301GT/29
Morada: *Address Adress*	Zona industrial de Vila Real, lote 1 e 2. 5000-082 Constantim Portugal	**ORDEM VENDA Nº:** *Our Order / Order de Ventre No.*	504066129
		GUIA REMESSA Nº: *Delivery / Bon de Livraison*	9509087468 / 0509071662
Produtos: Products Produits	DIVERSAS PEÇAS EM TUBO E CHAPA, CONFORME. ESTRUTURAS EM TUBO. PEÇAS.		

A empresa , Lda declara que os produtos mencionados estão em conformidade com as especificações da(s) encomenda(s) nº 504066129.
Os produtos foram submetidos a um tratamento anticorrosivo de galvanização por imersão a quente, de acordo com a norma NP EN ISO 1461.

The company , Lda, declares that the products described above comply with the specifications of order(s) nº 504066129.
The products have been submitted to an anticorrosive treatment by hot dip galvanizing, in accordance with NP EN ISO 1461.

La société , Lda, declare que les produits mentionés sont conformes aux spécifications de(s) commande(s) nº 504066129.
Les produits ont été soumis à un traitement anti-corrosive de galvanisation à chaud, selon la norme NP EN ISO 1461.

	Espessura mínima do revestimento (µm) Minimum coating thickness Épaisseur minimale du revêtement	**Espessura média do revestimento (µm)** Average coating thickness Épaisseur moyenne du revêtement
e > 6 mm	70	85
3 < e ≤ 6 mm	55	70
1,5 < e ≤ 3 mm	45	55
e ≤ 1,5 mm	35	45

Certificado 5 Revestimento e Espessura do Galvanizado (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

ANEXO F - PARÂMETROS DE CORTE FRESA 14 [MM]

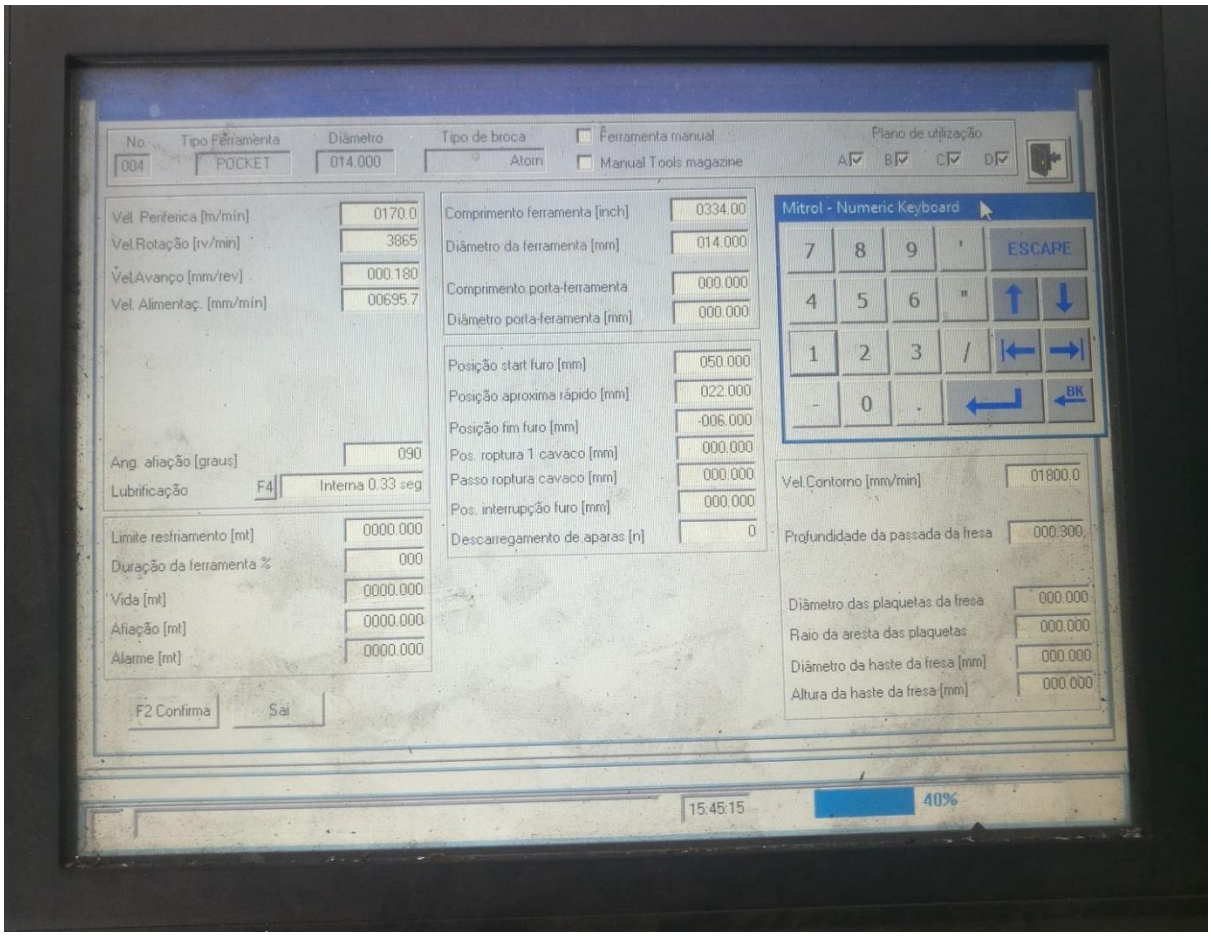


Figura 0.1 Parâmetros de Corte Fresa 14 [mm] (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)

ANEXO G - EXIGÊNCIAS DOS RELATÓRIOS DE INSPEÇÃO

CE

0866

Carvalho e Mota

19

EN 1090

Componentes galvanizados para torre

Tolerâncias da informação geométrica: EN 1090/Classe 1

Soldabilidade: S235JR de acordo com a EN 10025.

Fratura à tenacidade: 27 Joule a +20 ° C

Reação ao fogo: Material classificado: Classe A1

Emissão de cádmio: NPD.

Emissão de radioatividade: NPD.

Durabilidade: A preparação de superfície de acordo com EN 1090, P2 grau de preparação. Superfície galvanizada, de acordo com EN ISO 1461, ver especificação do componente para detalhes.

Caraterísticas estruturais/tensão de cedência:

Capacidade de carga do rolamento: Projeto de acordo com a Nota de Encomenda:

Resistência à fadiga: NPD.

Resistência ao fogo: NPD

Fabricação: De acordo com especificação de componente da nota de Encomenda EN 1090

Figura 0.1 Exigências dos Relatórios de Inspeção (Fonte: Carvalho & Mota)

ANEXO H - RELATÓRIO DE INSPEÇÃO

carvalho & mota	Relatório de Inspeção	

Nº de Obra	10 torres
Cliente	

	Verificação e Análise da Especificação de soldadura	Exist. Nº		Estado		
		Nova Nº		Conf.	Não conf.	NA
1	Para uma **Nova** Especificação de Soldadura (EPS) verificar as **5** primeiras soldaduras					X

	Antes da soldadura	Data:		Estado		
		CS:		Conf.	Não conf.	NA
2	Verificar se as dimensões e ângulos são as correctas, de acordo com o projecto / plano de soldadura.			X		
3	Confirmar a Adequação da Especificação de Soldadura (EPS) / Verificar se a qualificação dos soldadores / operadores de soldadura é adequada.			X		
4	Verificar se os materiais de base e consumíveis de soldaduras estão de acordo com plano de soldadura.			X		
5	Verificar se a preparação da junta e o ajuste das dimenções estão de acordo com o projecto / plano de soldadura.			X		
6	Verificar a existência de descontinuidades da supreficie que possam causar problemas posteriores na soldadura (ex. empenos, deformações, etc.).			X		
7	Verificar a limpeza da área de soldadura: ausência de sujidades que possam contaminar a soldadura (ex. vestígios de oxidação, oleos, etc.).			X		

	Após a soldadura	Data:		Estado		
		CS		Conf.	Não conf.	NA
8	Verificação visual do cordão de soldadura (ver tabela de impefeições - IT.33/ IT 35).			X		
9	Verificação visual do componente soldado (ex. empenos, deformações, etc.).			X		
10	Verificação dimensional do cordão de soldadura (ver plano de soldadura).			X		
11	Ensaios não destrutivos (ver plano de soldadura).			X		
12	Verificação dos parâmetros de soldadura de acordo com a EPS.			X		
13	Pré-tratamento / Temperatura interpasses					X
14	Limpeza dos cordões de soldadura			X		
15	Penetração total			X		
16	Sequência de soldadura			X		
17	Utilização e manuzeamento correto dos consumíveis de soldadura			X		
18	Controlo das deformações			X		
19	Qualquer verificação intermédia (ex. controle das dimensões)			X		

Figura 0.1 Relatório de Inspeção (Fonte: Empresa Carvalho & Mota)