

**Produção de uma torre eólica com transformador interno e
desenvolvimento do respectivo sistema de ventilação,
na Martifer Energy Systems**

Paula Mariana Lopes Pinto de Almeida

Relatório do Projecto Final



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Janeiro 2008

O relatório aqui apresentado descreve o trabalho desenvolvido no âmbito de Projecto Final do Mestrado Integrado de Engenharia Mecânica, ramo de Gestão da Produção.

Foi realizado no Departamento de Engenharia da Fábrica de Torres, da empresa Martifer Energy Systems, do Grupo Martifer, em Oliveira de Frades.

O trabalho orientou-se inicialmente, no sentido de desenvolver e melhorar o sistema de ventilação de uma torre eólica. Posteriormente, visto o contexto da sua realização, alargou-se ao estudo do fabrico dessa mesma torre, no sentido de planear e melhorar o processo de produção.

Para tal fez-se um estudo intensivo da torre, passando por diferentes áreas da engenharia. Desde a fase de desenho/projecto, passando pela modelação do protótipo em 3D, no SolidWorks (engenharia do Produto), ao processo de fabrico (engenharia da Produção e Processo).

Iniciou-se pela análise do projecto, desenhos da torre e especificações do cliente. Fez-se um estudo cuidadoso, dos fenómenos de transferências de calor no interior de uma torre com transformador interno e da fiabilidade do seu sistema de ventilação. Discutiu-se e testou-se soluções mais robustas.

De seguida passou-se ao estudo do Processo, desde o layout da fábrica, passando pelos seus diferentes processos e postos de trabalho, contagem e registo dos tempos de produção.

Para minimizar o impacto dos pontos fracos do fluxo produtivo, desenvolveram-se e implementaram-se métodos de gestão e melhorias de produção industrial, tais como os “5 S”, SMED, FMEAs, “buffers”, kanbans e sequenciamento de operações.

Para melhor estruturar e organizar este relatório, este divide-se em duas partes, sendo a primeira referente à análise do trabalho de melhoria do sistema de ventilação. E uma segunda que descreve o processo de produção da estrutura metálica tubular, componente da torre eólica, produto fabricado pela Martifer Energy Systems, na Fábrica de Torres de Oliveira de Frades

Existe ainda um longo trabalho a ser feito, no sentido de encontrar a solução menos dispendiosa e mais eficaz. Com este trabalho apenas ficou provada a ineficiência do sistema que é actualmente utilizado, se este tiver de trabalhar em climas quentes. Também se conseguiu estabelecer alguns requisitos mínimos, para que o transformador

consiga estar em funcionamento, com temperaturas exteriores até aos 35°C, que são os garantidos para a torre eólica, pelo cliente. No entanto, no contexto do Mercado, será necessário conseguir soluções para que o equipamento funcione a temperaturas mais elevadas.

Ainda nesse contexto foi reconhecida a necessidade de aumentar a capacidade da fábrica. Devido às projecções do aumento das vendas ao nível dos novos mercados e considerando as linhas estratégicas do Grupo Martifer, foi tomada como uma das prioridades ao nível da organização da fábrica a criação de uma área de Engenharia (Produto e Processo).

A necessidade de otimizar, melhorar e distinguir-se dos demais surge em resposta ao que o mercado dita.

PRODUCT DEVELOPMENT AND PRODUCTION PROCESS OPTIMIZATION – WIND TOWER SUPPORT STRUCTURE

ABSTRACT

This report describes the work developed in the scope of Final Project of the Integrated Masters of Mechanical Engineering, branch of Production Management. It was carried through in the Engineering Department of Towers Plant, in Martifer Energy Systems, Martifer Group, in Oliveira de Frades. The work was fulfilled, not only with the objective of planning and improving the process of production of a wind tower, but also developing the ventilation system for this tower, with transformer inside.

For such, an intensive study of the tower took place, through different areas of engineering. Starting in the drawing process (Product Engineering) and latter, studying production process (Production and Process Engineering).

Initiating the analysis in the tower's project, using the drawings and specifications that were given by the customer.

Then, focusing the study on its production, since the plant's layout, passing through its different processes and ranks of work, and ending with the counting of real production times.

For better knowledge of the tower and the disposition of the ventilation system, the survey of all its components, from structural parts (as for example, the plate), to the ones inside (as for example, electric handles or stairs).

Finally, one became a study of reliability and improvement of the system of existing ventilation in the interior tower.

To improve the production several methods of quality and management were studied, such as 5S, SMED and FMEA, in order to better minimize and solve the detected problems in the plant's processes. And choose the best way to its application.

To better structuralize and organize this report, it's divided in two parts. Being the first one, the analysis the production process of a metallic component structure, the support

of a wind tower. And a second one that it describes the work of improvement of the system of ventilation of this same structure.

There still is a long way to go until this work is done, and till the best and cheapest solution is found and implemented. With this project it only was proved the inefficiency of the system that is used nowadays, if this is working in warmer climates. As also been accomplished to establish some minimum requirements, for that the transformer may be working at exterior temperatures until 35°C, which are specified on the tower's warranty. Although it will be imperative, in terms of Market, that the equipment may work at higher temperatures

AGRADECIMENTOS

Expresso, em primeiro lugar, o meu agradecimento ao Engenheiro António Carvalho Brito pela compreensão, interesse e disponibilidade demonstrados.

Agradeço igualmente ao Engenheiro Eduardo Ribeiro pelo interesse, incentivo, ajuda e simpatia com que sempre me apoiou.

Agradeço ao Bruno Antunes pela disponibilidade, compreensão e interesse demonstrados.

Agradeço ao José Reis por partilhar comigo o seu conhecimento e por ter sido sempre uma ajuda disponível e preciosa.

Agradeço a todos os meus colegas, que por serem como são, contribuíram para o óptimo ambiente de trabalho necessário à realização deste projecto.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial ao João Resende, por toda a amizade carinho e apoio.

Agradeço aos meus irmãos, Isabel, Rita e Luis, pelo papel crucial que desempenham na minha vida e todo o apoio, carinho e amizade que sempre me deram e ajudaram a ultrapassar os momentos difíceis.

Agradeço ao meu pequenino Miguel, por todos os momentos de ternura e alegria, que me deram boa disposição e força de espírito.

Obrigada, muito especial ao meu namorado, Nuno Manaia, pelo amor, carinho, dedicação, apoio, incentivo, e por estar sempre ao meu lado a dar-me força, numa fase tão importante da minha vida.

Aos meus queridos Pais, Delminda e Augusto, quero expressar todo o meu carinho pelo apoio incondicional, confiança e infinito amor que sempre demonstraram.

Enfim, agradeço a todos os que de uma forma ou de outra contribuíram para eu ser ainda mais feliz.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

Introdução.....	15
1.1 O grupo Martifer S.A.....	15
1.1.1 A Actividade.....	15
1.1.2 Evolução Histórica do Grupo	15
1.1.3 A estratégia.....	19
1.1.4 Mercados	20
1.2 Metodologias aplicadas na realização deste trabalho	21
1.2.1 Desenvolvimento e melhoria do Produto – Sistema de Ventilação.....	21
1.2.2 Optimização do Processo Produtivo	22
2. Descrição e contextualização dos temas abordados neste trabalho	28
2.1. Desenvolvimento e Melhoria do Produto – Sistema de Ventilação.....	28
2.2. Descrição de Processos (Fluxograma - Sequência de Operações).....	32
3. Apresentação do problema	53
3.1. Desenvolvimento e Melhoria do Produto – Sistema de Ventilação.....	53
3.2. Os Problemas do Fluxo Produtivo.....	54
4. Apresentação da resolução	56
4.1. Análise do sistema de ventilação	56
4.2. O Fluxo Produtivo	61
4.2.1. Armazém de Chapa.....	61
4.2.2. Documentação de Posto - Oxicorte	61
4.2.3. Planeamento e Tempos de Fabrico	65
4.2.4. Buffers.....	68
4.2.5. SMED	77
5. Discussão dos resultados encontrados e do projecto desenvolvido	78
5.1. Análise do sistema de ventilação	78

5.2. O Fluxo Produtivo	79
6. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	81
7. Referências e bibliografia.....	84
ANEXOS.....	85
Desenho do sistema de ventilação (A1)	85
Desenho da estrutura da torre (A2).....	85
Layout “antigo” (A3)	85
Documentação de Posto (A4)	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2 – Modelação em SolidWorks – Pormenor do troço inferior	29
Figura 3 – Modelação em SolidWorks – Pormenor do orifício de extracção	30
Figura 4 – Fluxograma produtivo	33
Figura 5 – Diagrama Esparguete - 1	33
Figura 6 - Diagrama Esparguete – 2	34
Figura 7 - Diagrama Esparguete – 3	34
Figura 8 - Diagrama Esparguete – 4	35
Figura 9 – Parque Exterior de Chapa.....	35
Figura 10 – Transfer de entrada de chapa	36
Figura 11 – Mesa de Oxicorte	36
Figura 12 – Perspectiva aérea da mesa de corte	37
Figura 13 – Perspectiva do processo de limpeza.....	37
Figura 14 – Chapa proveniente do corte contendo escória na zona de corte	38
Figura 15 – Chapa depois da limpeza do chanfro	38
Figura 16 – Imagem aérea da Calandra	38
Figura 17 – Chapa em posicionada em cima da mesa da Calandra.....	39
Figura 18 – Chapa calandrada	39
Figura 19 – Soldadura longitudinal interior de uma virola	40
Figura 20 – Robot de Armação	40
Figura 21 – Armação de um troço de uma torre eólica.....	41
Figura 22 – “Cristo” de Soldadura por Arco-Submerso	41
Figura 23 – Processo de soldadura exterior de troço de uma torre eólica	42
Figura 24 – Viradores de rotação dos troços.....	42
Figura 25 – Junta flange/virola arqueada	43
Figura 26 – Limpeza da junta interior.....	44

Figura 27 – Braço de soldadura interior.....	44
Figura 28 – Troço a ser soldado pelo seu interior	44
Figura 29 – Inspeção de Ultra-Sons a um troço.....	45
Figura 30 – Easy-Laser	46
Figura 31 – Medição de uma flange através do Easy-Laser	46
Figura 32 – Flange a ser mecanizada.....	47
Figura 33 – Soldadura dos pernos de uma torre eólica.....	47
Figura 34 – Perspectiva da câmara de Decapagem	48
Figura 35 – Troço antes de entrar no processo de decapagem.....	48
Figura 36 – Troço depois do processo de decapagem	49
Figura 37 – Perspectiva de uma das câmaras de pintura.....	49
Figura 38 – Troço com acessórios montados dentro da cabine de pintura	50
Figura 39 – Troço durante o processo de acabamento.....	50
Figura 40 – Perspectiva da zona de acabamentos.....	51
Figura 41 – Montagem de componentes internos de uma torre	51
Figura 42 – Expedição de uma torre eólica.....	52
Figura 43 – Os níveis de fluxogramas do processo de corte.....	62
Figura 44 – Instrução de Trabalho (IT).....	63
Figura 45 – Instrução de Equipamento (IE).....	63
Figura 46 – Diagrama esparguete do fluxo produtivo com os buffers implementados..	68
Figura 47 – Buffer A5.....	69
Figura 48 – Buffer A6.....	71
Figura 49 – Instrução de Operação – Aplicação de Acessórios de Pintura	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre caudal mássico e variações de temperatura.....	58
Tabela 2 – Registo de Temperaturas.....	60
Tabela 3 – Análise de Tempos de Produção da Torre em estudo.....	65
Tabela 4 – Resumo das necessidades dos buffers	76

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Dados dimensionais da torre de 80 metros	28
Quadro 2 – Características do Ventilador	30
Quadro 3 – Propriedades do ar	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise de temperaturas ao longo do tempo.....	60
Gráfico 2 – Análise de Tempos de produção entre os processos de Transporte e Armação de Virolas	66
Gráfico 3 - Análise de Tempos de produção entre os processos de Sold. Exterior – L1 e Rep. Soldadura – L2	66
Gráfico 4 - Análise de Tempos de produção entre os processos de Sold. Internos e Acabamentos	67

INTRODUÇÃO

1.1 O GRUPO MARTIFER S.A.

1.1.1 A ACTIVIDADE

O Grupo Martifer centra a sua actividade principal nas Construções Metálicas. Desde a sua criação em 1990, tem vindo a aumentar permanentemente a sua dimensão, a diversificação e volume de negócios. Actualmente ocupa o lugar cimeiro na liderança do mercado de construção metálica na Península Ibérica, tendo já alargada a sua actividade à Europa Central. A Martifer está instalada em 7 países europeus: Portugal, Espanha, Polónia, República Checa, Eslováquia, Alemanha e Roménia.

As instalações modernas e equipadas com as melhores tecnologias, as equipas vastas de pessoas altamente motivadas em volta dos desafios da empresa e a solidez financeira, são trunfos do sucesso deste grupo, que possibilitam a grande flexibilidade de produção, e uma elevada capacidade de resposta às solicitações do mercado.

Para além da actividade de Construção Metálica, a Martifer já alargou o âmbito de negócios à produção de equipamentos para Energia e à promoção Imobiliária.

1.1.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO GRUPO

A Martifer foi constituída a 21 de Fevereiro de 1990, como uma sociedade por quotas com um capital social de 4.500 contos sedeadas em Oliveira de Frades.

Em Maio de 1998, a empresa foi transformada em sociedade anónima, alterando a sua estrutura accionista. O capital social passou a ser detido pela MTO SGPS e pela Engil SGPS, posições que a partir de 2001 passaram a ser igualitárias.

Em 1999 de forma a complementar a sua actividade, a Martifer adquiriu 55% da Caixilhar – Caixilharias de Alumínio, Lda., actualmente denominada de Martifer Alumínios, SA.

A Martifer deu início ao processo de internacionalização e criou em Novembro de 1999 a Martifer – Construciones Metálicas Espana, SA.

No 1º trimestre de 2002 deu início à construção da unidade produtiva de Benavente. Esta delegação da Martifer teve como objectivo dar resposta à construção dos estádios para o Euro 2004 e abastecer o mercado espanhol, já que a capacidade produtiva era insuficiente.

Em Fevereiro de 2003 continuou o processo de internacionalização com a criação da Martifer Polska Sp. Z.o.o em Gliwice na Polónia. A construção da unidade na polónia ficou concluída no 2º semestre de 2004. Esta unidade tem por objectivo o abastecimento dos mercados Polacos e também os países vizinhos.

Em Fevereiro de 2004 deu-se a entrada no sector da energia eólica e criou a Martifer Energia – Equipamentos para Energia, SA. Esta nova unidade produtiva está instalada na Zona Industrial de Oliveira de Frades e destina-se ao fabrico de torres metálicas que servem de suporte aos aerogeradores eólicos.

Em Agosto de 2004 deu início à actividade de promoção Imobiliária através da Martifer – Gestão de Investimentos, SA.

Em Novembro de 2004 criou a holding Martifer SGPS que tem como objectivo a gestão das participações sociais das empresas do Grupo Martifer.

Ainda em Novembro de 2004 e com objectivo de entrar no mercado de promoção imobiliária na Polónia, criou a sociedade MZI Polska.

Em Janeiro de 2005 foram constituídas as sociedades Nagatel – Promoção Imobiliária, SA e Imavic – Gestão de Investimentos, SA, a primeira com o objectivo de lançar o projecto imobiliário do Retail Park de Viseu, e a segunda para realizar investimentos na Europa Central, nas áreas do biodiesel e da energia eólica.

Em Fevereiro de 2005, foram constituídas a Martifer Constructii, SRL, na Roménia, e a Martifer CZ, SRO, na Republica Checa, com o objectivo de alargar o raio de acção no mercado da construção metálica na Europa Central.

Para exercer actividade de exploração agrícola e comercialização de sementes de oleaginosas para a produção de biodiesel, foi criada, no mesmo mês, a Agromart Energy, SRL.

Ainda na Roménia, é constituída, em Março de 2005, a Biomart Energy, SRL para a produção de Biodiesel.

No mesmo mês foi constituída, na Polónia, a MZI Megawatt para estudo e consultadoria na área das energias renováveis, construção e exploração de parques eólicos na Polónia e países vizinhos.

Com o objectivo de fabrico, montagem e assistência a aerogeradores e parques eólicos, foi criada a Repower Portugal, SA, em Junho de 2005.

A Martifer Energy, SA foi constituída, em Setembro de 2005 para gerir todas as actividades na área da promoção de energias renováveis.

Em Outubro foi constituída, na Alemanha, a Martifer Deutschland GmbH com o objectivo de prospecção de mercado, orçamentação e elaboração de propostas comerciais e realização de construção metálica.

As principais linhas de orientação estratégica definidas pelo grupo para os próximos anos são:

- Consolidar a liderança no mercado ibérico de estruturas metálicas;
- Crescimento da actividade na Europa Central;
- Apostar na excelência operativa através da melhoria continua;
- Eliminar desperdícios;
- Implementar sistemas de gestão integrados de qualidade, segurança e ambiente nas empresas do grupo;
- Desenvolver actividade na área das energias renováveis;

A Martifer Energy Systems tem como actividades principais o fabrico de equipamentos e o desenvolvimento de tecnologias, para o mercado da produção de energia alternativa. Nomeadamente as estruturas de suporte a aerogeradores (torres eólicas), equipamentos para aproveitamento da energia das ondas e novas soluções para produtos geradores de energia eólica e solar.

Dentro da estratégia de entrada no mercado da Energia, a Martifer investiu em 2004 numa fábrica de torres para aerogeradores que se encontra actualmente em funcionamento.

O panorama nacional de fabricantes destes produtos traduzia-se à data de concretização do investimento, na existência de um único fabricante nacional com uma experiência

significativa de vários anos, mas aparentemente com uma postura pouco interactiva com os clientes que como a realidade veio a mostrar estão amplamente receptivos à troca de ideias e à concepção de novas soluções, desde que estas aportem alguma mais-valia ao produto.

As torres por terem uma significativa componente metalomecânica e portanto muito em comum com a tecnologia e know-how existente na Martifer, permitiram uma rápida implementação do investimento e o constante aumento de produção até ao ritmo de cruzeiro agora atingido.

O processo de fabrico das torres respeita elevados padrões de qualidade, muitos impostos pelos próprios clientes, que são exclusivamente produtores de energia eólica e, como tal qualificados para avaliar quer a qualidade final, quer os métodos de trabalho.

A função principal da torre é posicionar o gerador eólico à altura necessária para fazer o aproveitamento do vento. Tem de suportar além do peso do gerador, que pode ir além das 100 toneladas, a força do vento sobre todo o conjunto. É também aproveitada para instalar equipamento eléctrico e servir de acesso ao gerador.

A torre é constituída em chapa de aço soldada e calandrada, formando uma estrutura tubular cónica ou cilíndrica. Este tubo é constituído por troços de tamanho e peso que permitam o seu transporte até á obra, sendo depois unidos por juntas aparafusadas no local de montagem.

As dimensões mais habituais destas construções variam entre os 60 e os 100 metros de altura e os 2,5 e os 4,3 metros de diâmetro.

A torre, por limitações de transporte, é construída em troços que podem atingir 30 metros de comprimento e 65 toneladas de peso. A ligação entre troços é assegurada por ligações aparafusadas entre flanges, que estão soldadas ás virolas das extremidades dos troços.

Os tubos são produzidos em fábrica a partir de chapa de aço transformada por processos metalomecânicos comuns – corte térmico seguido de dobragem e soldadura das várias peças que compõem cada troço.

No seu interior as torres são equipadas com os diversos componentes internos, nomeadamente plataformas de trabalho, escadas de acesso, esteiras de fixação de cabos eléctricos e plataformas de suporte de equipamento eléctrico e ventilação.

Inicialmente projectada para produzir cerca de 100 torres/ano a fábrica de Torres Eólicas é hoje considerada um modelo dentro do Grupo Martifer.

Contabilizando cerca de 95 colaboradores nos seus quadros, esta unidade produziu 137 torres em 2007, com um volume de negócios que ronda os 20 milhões de euros.

Para o ano de 2008 estão vendidas cerca de 220 torres verificando um aumento de produção na ordem dos 40% face a 2007, tendo como maiores clientes, o maior fabricante mundial de aerogeradores, a Vestas e ainda a comparticipada alemã Repower.

Para fazer face às necessidades de mercado está neste momento em fase de construção a ampliação desta unidade, ficando com uma área coberta de 30000m² e capacidade de produção de 400 torres/ano.

Crescendo em produção, sentiu-se a necessidade de crescer em *know-how* capaz de acompanhar a realidade, surge então em Maio de 2006 o Departamento de Engenharia e Processos, com o principal objectivo:

1. Melhoria da produtividade do processo produtivo (*Recurso ao Software de Optimização QUEST*);
2. Redução dos custos operacionais;
3. Criação de competências ao nível do processo e do produto.

Como prova da aposta feita no desenvolvimento deste departamento, foi certificado em finais de 2007 pela norma NP 4457:2007 – Certificação de Sistemas de Gestão da Investigação, Desenvolvimento e Inovação.

1.1.3 A ESTRATÉGIA

O investimento associado à implementação dos parques eólicos, potência investimentos em unidades industriais e de serviços, que suportem os fornecimentos de equipamentos, de componentes e dos serviços de montagem, arranque, operação e assistência. Nestas actividades de suporte à implementação dos parques assume grande importância a actividade de fabricação e montagem de torres metálicas.

A Martifer Energy Systems está apta, sempre que o cliente o solicitar, a fornecer um “produto integrado”, para além de fabricar, fornecer e montar a torre (estrutura metálica), pode também fazer a montagem da gôndola e das pás.

Para os trabalhos de construção civil previstos na fase de montagem das torres a empresa irá recorrer ao *know-how* do Grupo.

A Martifer Energy Systems apresenta, em relação á concorrência, as vantagens de oferecer serviços complementares de montagem das torres e de outros componentes utilizando os meios de elevação que estão previstos e beneficiando da larga experiência em montagens de grande porte adquirida ao longo dos anos.

A Martifer Energy Systems tem como alvo prioritário o mercado mundial de parques eólicos, tendo como objectivo entrar para o top 10 mundial de fabricantes de torres.

Neste momento é líder nacional de mercado e opera em diversos países do globo, como Espanha, Alemanha, ou a Roménia.

As principais linhas de orientação estratégica, são portanto:

- Posicionar-se como fornecedor integrado de projectos “chave na mão”;
- Aproveitar as oportunidades provenientes da indústria de energia eólica ao nível global;
- Aproveitar as oportunidades criadas na construção de Parques Eólicos.

1.1.4 MERCADOS

Dispor de uma fábrica pensada de raiz, em produção e portanto ser capaz de praticar preços inferiores aos da concorrência, que desenvolve o seu trabalho em unidades que não foram criadas para este ramo, e que foram ao longo do tempo adaptadas, crescendo dentro das limitações de espaço e de disposição de layout.

Por norma os clientes das torres eólicas são empresas de engenharia que vendem o produto “parque eólico”, o qual é constituído por projecto de engenharia, fornecimento de equipamentos e materiais, montagem, arranque e manutenção de um conjunto de aerogeradores eólicos.

A leitura que se fez deste mercado levou a definir uma postura de aposta incondicional na elevada qualidade, de investimento em I&D e de consequente desenvolvimento de novas soluções. Esta estratégia rapidamente deu frutos que se traduziram na pronta adesão dos clientes às novas soluções construtivas. Em apenas um ano obteve-se a certificação junto de quatro dos seis maiores fabricantes mundiais de aerogeradores e angariaram-se encomendas por parte desses mesmos clientes que actualmente perfazem a totalidade da produção para 2008, e que viabilizam novos investimentos no reforço da capacidade produtiva. Assim, a perspectiva de crescimento a curto prazo é a de triplicação da produção na fábrica de torres.

1.2 METODOLOGIAS APLICADAS NA REALIZAÇÃO DESTE TRABALHO

1.2.1 DESENVOLVIMENTO E MELHORIA DO PRODUTO – SISTEMA DE VENTILAÇÃO

A base de partida da análise do sistema de ventilação, rege-se pelo estudo dos fenómenos de transferência de calor, que ocorrem dentro do compartimento onde está instalado o transformador seco da torre eólica.

Conhece-se da Termodinâmica o princípio da conservação de energia. A energia não se consome, apenas se converte. A conversão dá-se no sentido da degradação da qualidade energética, ou seja, no sentido do crescimento da entropia. No caso da energia-calor, o balanço da conversão/transferência é positivo no sentido das temperaturas decrescentes. O segundo princípio, põe restrições ao processo da conversão energética no caso particular da conversão de energia-calor em energia mecânica.

A Termodinâmica quantifica a energia-calor envolvida num sistema que evolui entre dois estados de equilíbrio. Não permite saber quanto tempo o processo demora.

Em engenharia é necessário saber esse tempo, ou seja, qual a taxa de transferência de calor. A Transferência de Calor é uma disciplina que aborda esse problema, tratando ainda de identificar os processos físicos responsáveis pelo transporte de energia-calor. Estuda também processos de “controlar” o transporte de energia-calor, intensificando-o ou atenuando-o conforme os objectivos de cada problema específico de engenharia.

Sendo a energia um recurso natural com forte impacto económico e ambiental, e estando a utilização da energia-calor sujeita às restrições da 2ª Lei da Termodinâmica, a

importância da Transferência de Calor advém do contributo que pode dar para a racionalidade dos usos energéticos, nas várias fases da conversão e utilização da energia-calor presentes na maioria das actividades industriais e do quotidiano das sociedades.

Os mecanismos de Transferência de Calor são os processos básicos de transporte da energia-calor:

- a) A condução é o mecanismo cujo suporte é de natureza molecular e,
- b) A radiação é o mecanismo de natureza electromagnética que encontra as melhores condições na ausência de meios físicos (vazio).

O mecanismo da condução pode, por sua vez, dividir-se em dois modos. O modo da condução, a que está associada a propriedade condutibilidade térmica, corresponde ao transporte molecular. Esse efeito pode ser significativamente ampliado quando o meio físico em que ocorre se encontra em movimento. Tem-se então, o modo da convecção, típico dos escoamentos.

Perante a situação de "controlo" da Transferência de Calor importa poder quantificar o efeito de resistência que o meio oferece à transferência: a resistência térmica. No caso extremo dos isolamentos térmicos o objectivo é contrariar a transferência de calor. No outro extremo, diversos casos há em que o objectivo é intensificar a transferência de calor.

1.2.2 OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Na fase de estudo e melhoria do fluxo produtivo foram aplicadas algumas das ferramentas fundamentais da gestão da produção.

Aqui se irá descrever, de modo sucinto, os métodos aplicados na resolução dos problemas tratados.

1.2.2.1 Os “5 S”

São as iniciais de cinco palavras japonesas Seiton, Seiri, Seiso, Seiketsu e Shitsuke, que estão intimamente relacionados com *wa* – harmonia, como se percebe a seguir.

São cinco passos sistemáticos para a organização de um posto de trabalho, servem de fundamento para uma fábrica que aspire à condição de “World Class Performance” ou “Best-In-Class” e são, também, uma forma prática e eficaz de analisar processos e melhorar os postos de trabalho

Seiton – significa providenciar a Arrumação e deixar tudo em Ordem – todos os materiais (sejam quais forem) necessitam ser mantidos em ordem, para que possam ser encontrados de imediato e estejam prontos para uso sempre que necessários. Deixar as coisas no lugar certo, para não se perder tempo e gastar energia desnecessária, procurando-as.

Seiri – significa evitar o Desnecessário – separar o desnecessário do necessário, e guardá-lo num lugar que lhe é próprio, para que não atrapalhe a rotina de trabalho ou qualquer outra actividade. Disponibilizar as coisas realmente necessárias ao trabalho e aquelas desnecessárias guardá-las ou “passá-las para frente”. Guardá-las, porque futuramente poderão ser necessárias; “passá-las para frente” (doar) porque aquilo que é desnecessário para um, pode ser útil para outro.

Seiso – significa manter sempre Limpo – o local de trabalho ou qualquer outro lugar, com tudo em ordem e somente com o necessário, para que a sujeira não atrapalhe a produtividade nem provoque má qualidade na produção.

Seiketsu – significa manter a Higiene – tornando o ambiente saudável e agradável para todos.

Shitsuke – significa Disciplina – não só aprender e seguir os princípios anteriores como hábitos salutareis e invioláveis, como também se educar com carácter recto, firme e honrado, para vencer na vida.

Antes de começar os 5S é necessário definir a área e quem é responsável por ela, documentar a situação actual, tirando fotografias, marcando a posição de onde se tiraram as fotografias, para que mais tarde se possa comparar as situações “antes” e “depois”, para isso é importante não esquecer de pôr datas nas fotografias.

Na aplicação desta metodologia, para uma intervenção mais eficaz é necessário estar atento às cenas típicas nas linhas de produção. São elas:

- Stock temporário;
- Transporte manual de peças pesadas;
- Contagem de peças;
- Introdução de números de inventário no computador;
- Olhar para a máquina a trabalhar;
- Transporte de peças através de grandes distâncias;
- Sobre produção;
- Acumulação de inventário;
- Esperar por peças ou materiais.

Estas situações originam, sistematicamente, desperdícios que são alvos a eliminar com a implementação desta filosofia, 5 S. Habitualmente, os desperdícios da Produção podem estar afectos a diferentes processos do fabrico, neste método são classificados em sete grupos, devidos a:

- Sobre produção;
- Tempos de espera;
- Transporte;
- Desperdício de processamento;
- Desperdício de inventários;
- Desperdício de movimentos;
- Desperdício devido a defeitos.

Para eficazmente atacar estas fontes de desperdícios, é pertinente começar por colocar uma série de perguntas guia que permitam detectar os pontos fracos do fluxo. Com essas perguntas pretende-se saber o que está a ser feito para reduzir estes desperdícios, quanto tempo é dispendido a tentar eliminar esses desperdícios, se existe algum controlo

relativamente à quantidade de desperdício que se pode eliminar e finalmente quanto se poderá poupar, uma vez eliminados estes desperdícios.

1.2.2.2 SMED - “SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE”

É uma ferramenta que visa reduzir os tempos de paragens das máquinas através da optimização das mudanças de ferramentas, respondendo assim à cada vez maior exigência do mercado em termos de prazos e diversidade de produtos.

Permite realizar pequenas séries de produtos sem afectar os custos, evitando o aumento dos stocks de segurança e eliminando os desperdícios de espaço.

O tempo de preparação de equipamentos e dispositivos do posto de trabalho é uma operação sem valor acrescentado para o produto.

A sua redução tem um efeito directo no aumento do tempo disponível para produção e na redução do tempo total do ciclo de produção.

Contribui para o incremento da produtividade e a adaptação de produção às flutuantes da procura (“just-in-time”).

1.2.2.3 KANBAN

É uma palavra japonesa que significa literalmente registo ou placa visível.

Em Gestão da Produção, significa um cartão de sinalização que controla os fluxos de produção de uma indústria. O cartão pode ser substituído por outro sistema de sinalização, como luzes, caixas vazias e até locais vazios demarcados.

Coloca-se um **Kanban** em peças ou partes específicas de uma linha de produção, para indicar a entrega de uma determinada quantidade. Quando se esgotarem todas as peças, o mesmo aviso é levado ao seu ponto de partida, onde se converte num novo pedido para mais peças. Quando for recebido o cartão ou quando não há nenhuma peça na caixa ou no local definido, então deve-se movimentar, produzir ou solicitar a produção da peça. O **Kanban** permite agilizar a entrega e a produção de peças. Pode ser empregado em indústrias montadoras, desde que o nível de produção não oscile demasiado. Os Kanbans físicos (cartões ou caixas) transitam entre os locais de armazenagem e

produção substituindo formulários e outras formas de solicitar peças, permitindo enfim que a produção se realize Just-in-time – metodologia desenvolvida e aperfeiçoada na Toyota (Japão) por Taiichi Ohno.

1.2.2.4 ARMAZÉNS INTERMÉDIOS – “BUFFERS”

Aplicados para minimizar os efeitos dos estrangulamentos do fluxo produtivo, existentes em linhas não balanceadas.

Uma vez identificado o estrangulamento é necessário protegê-lo. Um dos princípios para o fazer, é considerar que a um posto que seja estrangulamento, nunca pode faltar abastecimento de materiais. O sistema de planeamento e controlo da produção, não pode em caso algum permitir que falte materiais a um posto de trabalho que seja estrangulamento. Atrás (a montante) de um estrangulamento é dos poucos lugares onde é permitido algum inventário para que se garanta que nunca falta materiais para processamento no estrangulamento.

1.2.2.5 FMEA – “FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS”

A Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA) é "um estudo sistemático e estruturado das falhas potenciais que podem ocorrer em qualquer parte de um sistema para determinar o efeito provável de cada uma sobre todas as outras peças do sistema e no provável sucesso operacional, tendo como objectivo melhoramentos no projecto, produto e desenvolvimento do processo"

As suas principais funcionalidades e vantagens são:

- Auxilia na determinação sistemática de todas as formas possíveis de falha de um produto ou processo, com o objectivo de tomar acções específicas, para a sua eliminação, ou redução dos seus riscos;
- Fornece a estrutura para uma crítica multi-funcional, de um determinado produto ou processo;

- Identifica modos de falha potenciais, do produto ou do processo, antes da sua ocorrência;
- Determina os efeitos e a severidade desses modos de falha;
- Identifica as causas e a probabilidade de ocorrência dos modos de falha;
- Quantifica os riscos associados aos modos de falha e fornece uma base para uma alocação eficaz de recursos necessários para a redução dos riscos;
- Desenvolve e documenta actividades necessárias para a redução de riscos;
- Facilita a comunicação inter-departamental;
- É uma disciplina mental utilizada para prever possíveis falhas em produtos ou processos;
- É um documento “vivo” que reflecte as últimas acções relativas ao produto ou processo;
- É o método por excelência quando a visão da organização se rege pelo “mais vale prevenir que remediar”.

2. DESCRIÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DOS TEMAS ABORDADOS NESTE TRABALHO

2.1. DESENVOLVIMENTO E MELHORIA DO PRODUTO – SISTEMA DE VENTILAÇÃO

No contexto de desenvolvimento e melhoria, este projecto focou-se num dos produtos da Fábrica das Torres, uma torre eólica de 80 metros, com transformador interno.

O percurso da obra na fábrica inicia-se pelo desenvolvimento do produto.

A torre foi integralmente modelada em SolidWorks, a partir dos desenhos e especificações do cliente. Desta modelação saíram os desenhos de produção para o fabrico, bem como a lista de materiais relativa à obra, que alimentará todo o sistema de aprovisionamentos, logística e compras, da fábrica.

Inicialmente a torre foi modelada integrando o sistema de ventilação proposto pelo cliente.

A estrutura desta torre é dividida em três troços, um inferior, um intermédio e um superior, denominados por B, C e D. O material das chapas da estrutura é aço S355JO e das flanges de ligação é o aço S355J2G3Z25.

A referência é indicativa das dimensões da torre. Designa o diâmetro do rotor do gerador, que é de 92 metros e a altura da torre de suporte, 80 metros.

Na tabela que se apresenta de seguida descrevem-se as dimensões e pesos desta obra.

Quadro 1 – Dados dimensionais da torre de 80 metros

Troço	Diâmetro Maior [mm]	Diâmetro Menor [mm]	Comprimento [mm]	Peso [kg]
B	4300	3917	21770	56988
C	3917	3448	26620	46367
D	3448	2955	27760	31167

No que diz respeito à espessura da chapa, esta varia ao longo da altura da torre, sendo a dimensão maior na base da torre que é de 30 mm e a menor, no topo, de 18 mm.

Na base da torre, no interior do troço B está instalado o transformador.

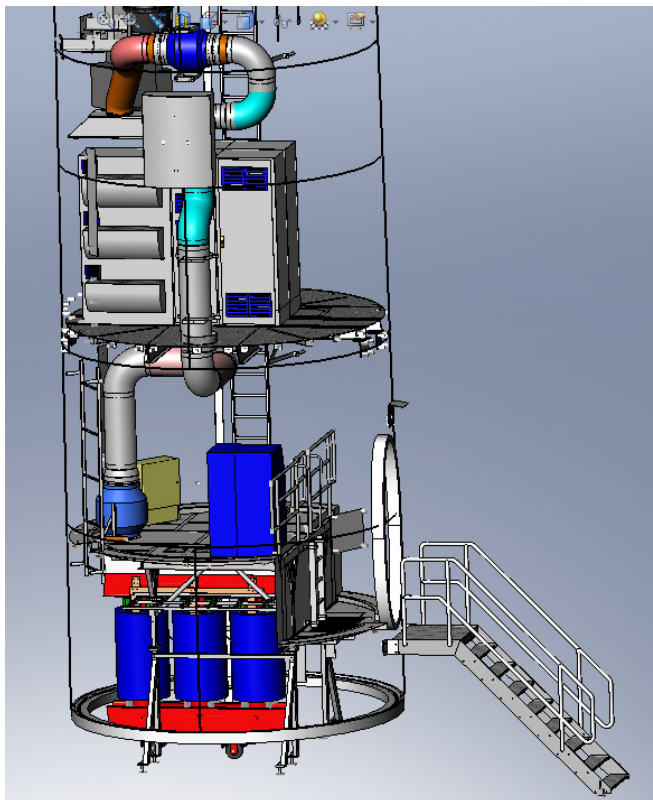


Figura 1 – Modelação em SolidWorks – Pormenor do troço inferior

Este é do tipo seco, tem uma potência de 2500 KVA, trabalha entre os 0,69 e os 20 KV e uma frequência de 50Hz.

Para que opere plenamente é necessária uma temperatura ambiente máxima de 40°C, e o interior do transformador não deverá ultrapassar os 150°C. Caso estas temperaturas sejam superadas, haverá paragem do transformador e consequentemente de todo o sistema de geração de energia.

Interessa ainda referir que, de acordo com dados do fornecedor, este aparelho liberta em descarga uma potência calorífica de 6 KW e estando a trabalhar 22 KW. Estes valores são relevantes para o estudo das temperaturas ambiente no interior da torre.

Actualmente coexistem dois sistemas de extracção, cada um tem incorporado ventilador. O primeiro está directamente ligado ao compartimento do transformador, existe um ventilador assente na plataforma de entrada que extrai o ar quente através de

um orifício na chapa. Extrai o ar que sobe por convecção natural, desde a base do transformador até ao topo. O segundo sistema está posicionado acima da segunda plataforma do troço inferior e suga o ar quente do compartimento onde está instalado o sistema do conversor.

Os ventiladores têm as seguintes características:

Quadro 2 – Características do Ventilador

Tipo de Ventilador	Caudal máx (m ³ /h)	Δ máx (Pa)	Potência (V)	Massa (Kg)
KD400XL3	4308,5	430	400	29
KD450XL3	5449	525	400	38

O conversor é de 2000 KW, 690 Volts e 50 Hz, a sua temperatura ambiente de funcionamento é 45°C.

As saídas do ar quente estão asseguradas pelo único orifício existente na torre, além da porta. Este é também de forma oval e subdivide-se em duas aberturas cobertas com uma rede de insectos.

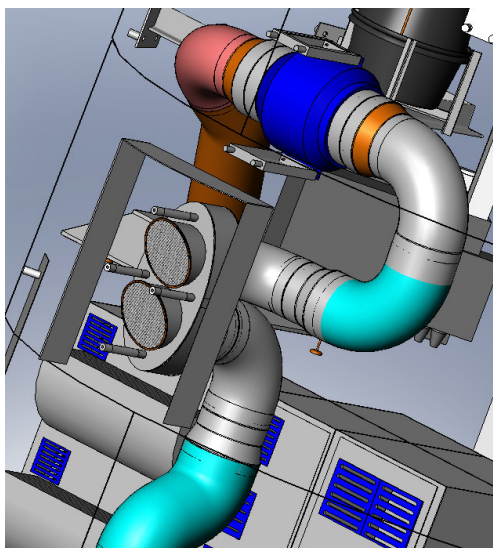


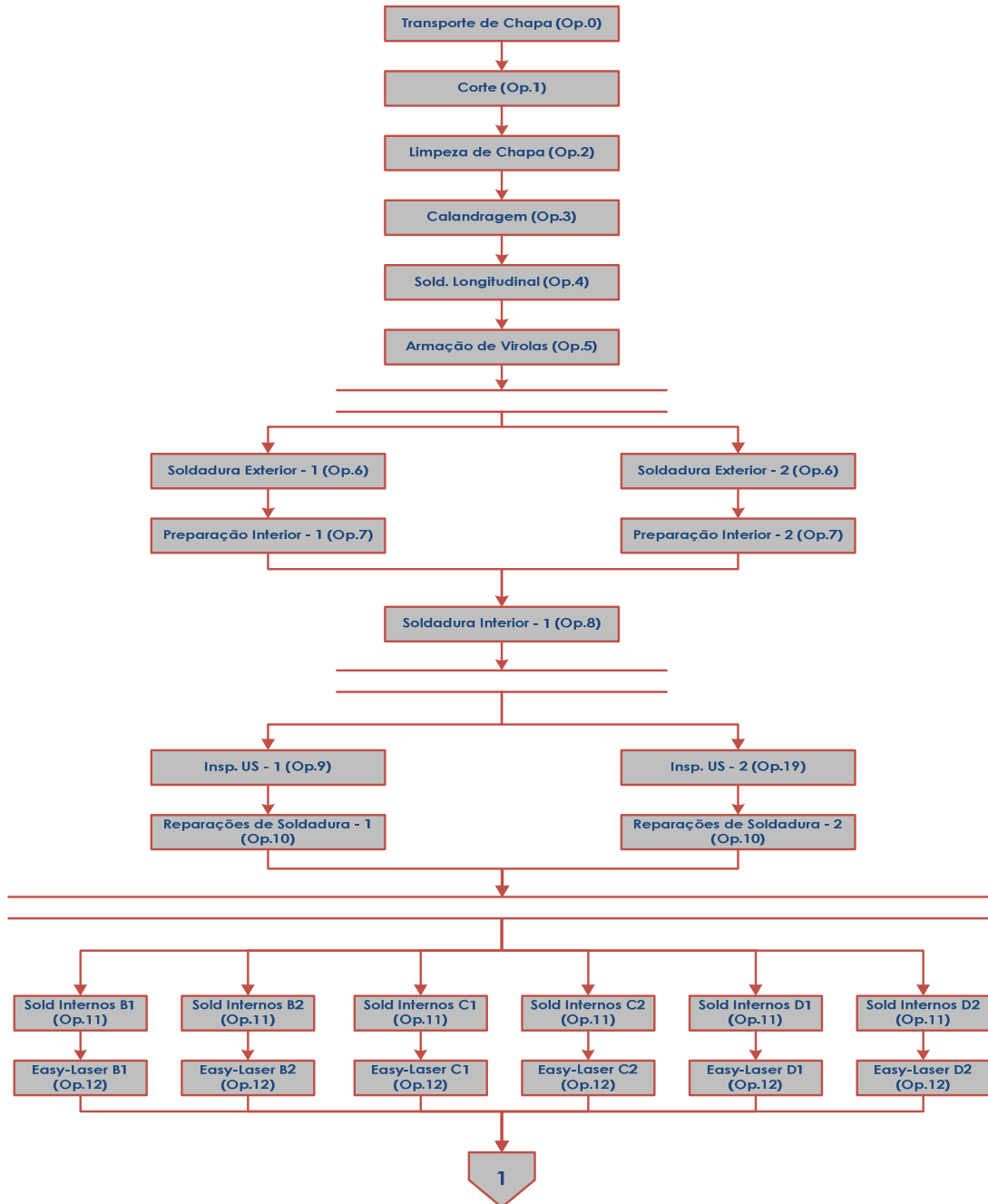
Figura 2 – Modelação em SolidWorks – Pormenor do orifício de extracção

A única entrada de ar da torre é feita pela porta. Nesta estão acoplados dois ventiladores mais pequenos, que forçam a passagem do ar exterior para dentro da torre. Junto da

porta existe, no chão da plataforma de entrada uma grelha que permite a ligação física com o compartimento do transformador.

Nos anexos constam os desenhos do cliente do sistema de ventilação descrito, incluindo o pormenor dos ventiladores da porta e respectivas grelhas.

2.2. DESCRIÇÃO DE PROCESSOS (FLUXOGRAMA - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES)



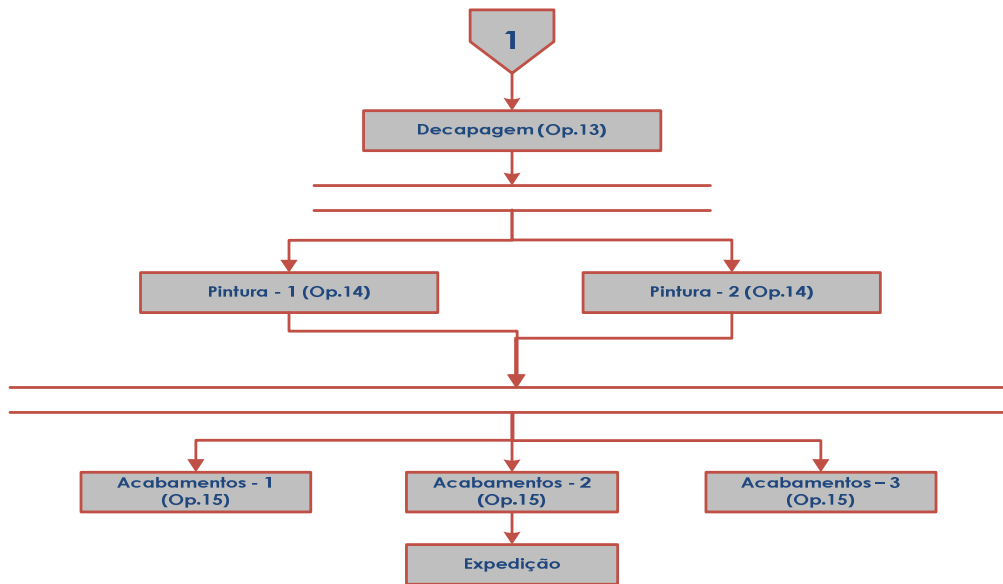


Figura 3 – Fluxograma produtivo

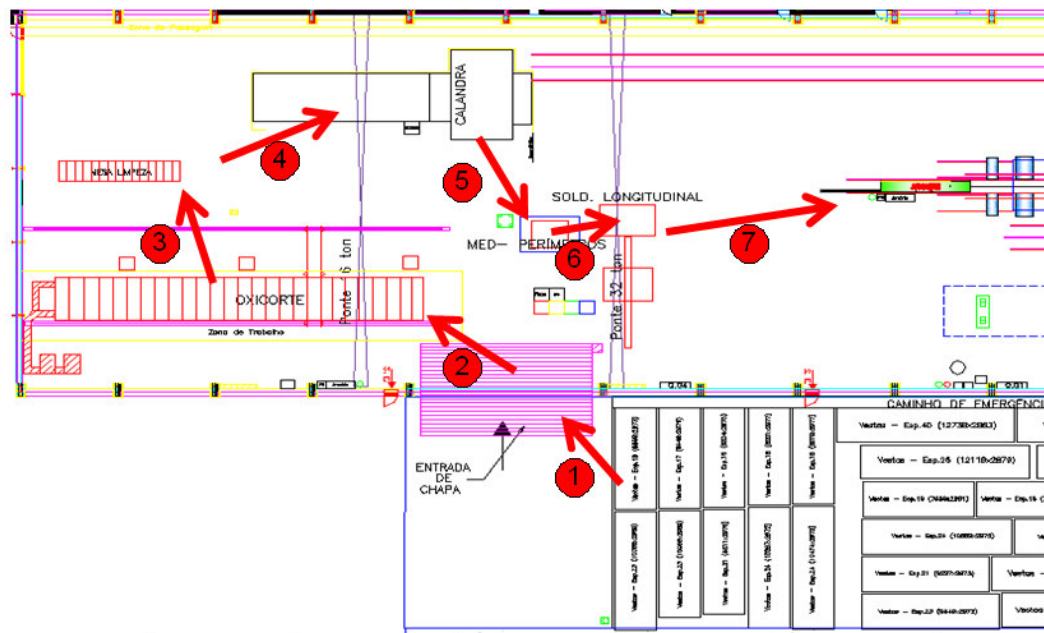


Figura 4 – Diagrama Esparguete - 1

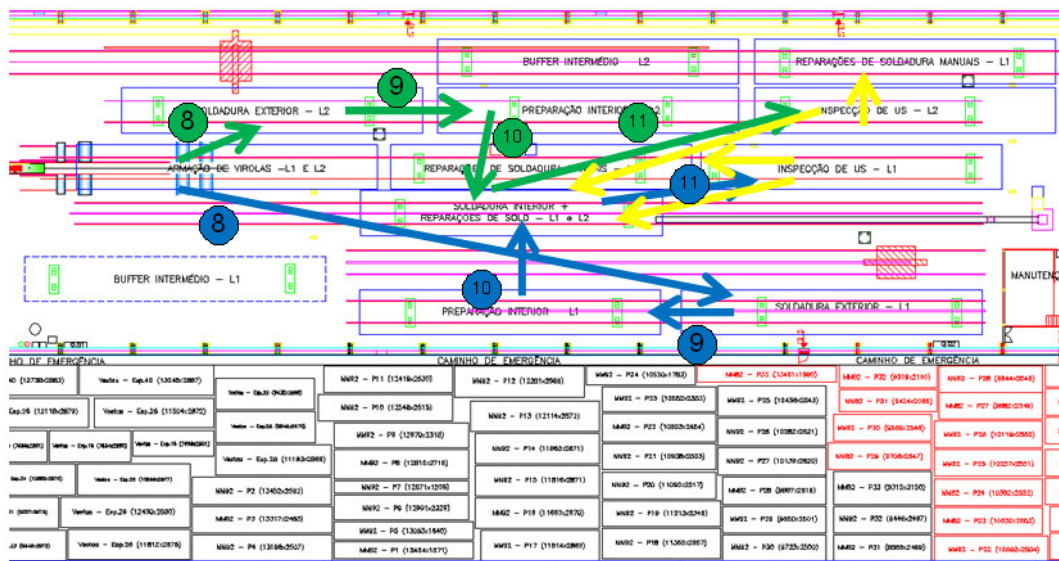


Figura 5 - Diagrama Esparguete - 2

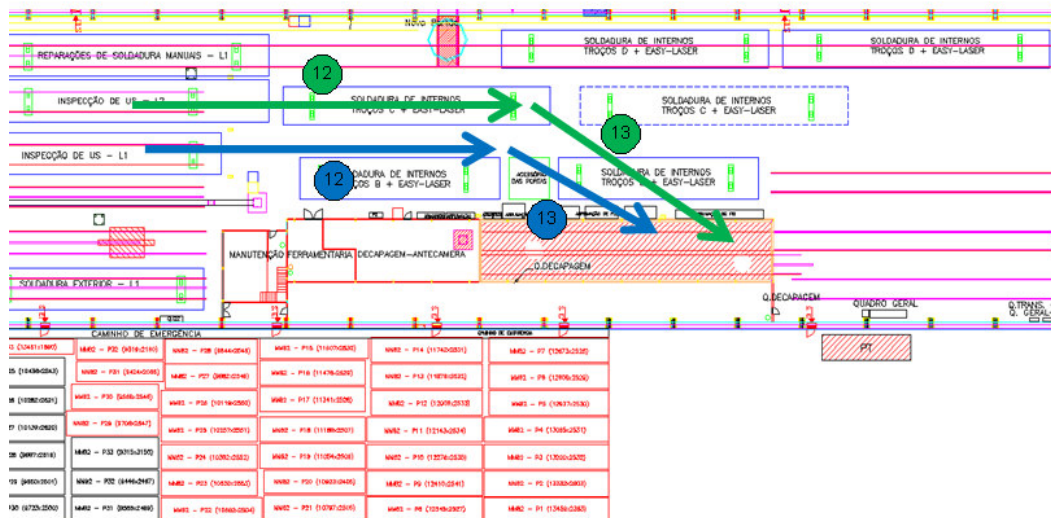


Figura 6 - Diagrama Esparguete - 3

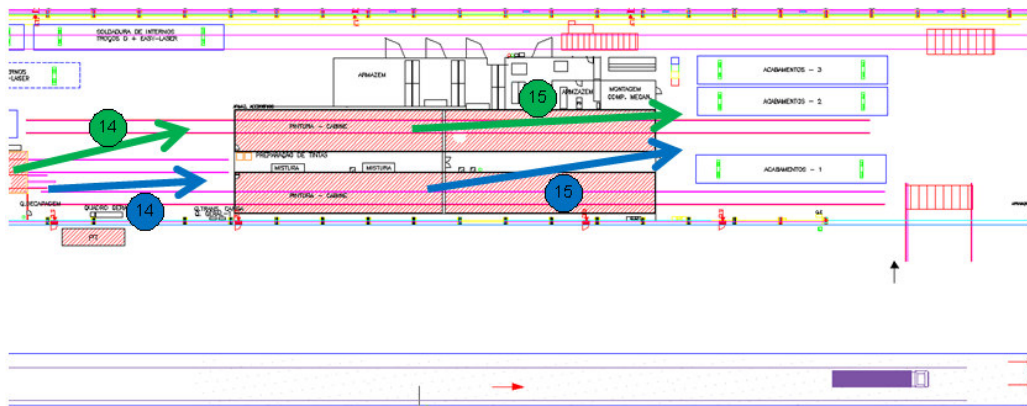


Figura 7 - Diagrama Esparguete - 4

Neste ponto explica-se o fluxo produtivo da unidade fabril de Torres Eólicas:

O fluxo produtivo inicia-se com o aprovisionamento da chapa no parque exterior de armazenamento de matéria-prima.



Figura 8 – Parque Exterior de Chapa

Depois de aprovisionada com um ímã electromagnético de 12 ton de capacidade acoplado a um semi-pórtico de 32 ton a chapa é transportada até um transfer de rolos e posteriormente colocada dentro da unidade fabril de acordo com o planeamento diário.



Figura 9 – Transfer de entrada de chapa

Após este transporte e já dentro da unidade fabril a chapa a entrar em produção é transportada para a mesa de Oxicorte, de novo através de um íman electromagnético de 12 ton, íman este que está afecto a uma ponte rolante bi-viga de 16 ton.



Figura 10 – Mesa de Oxicorte

Este equipamento de Oxicorte SXE-P3 é constituído por um pórtico de Oxicorte de 8000 mm que contém uma cabeça tripla com rotação automática infinita (IR – Infinite Rotation) e ajuste manual da amplitude angular, única no nosso país e uma mesa de corte aspirada lateralmente com cerca de 27000 mm de comprimento e 3500 mm de largura útil de corte.



Figura 11 – Perspectiva aérea da mesa de corte

Depois de cortada tendo em conta a Instrução de Trabalho do posto em causa a chapa é sujeita a medições e controlos de acordo com a Instrução de Controlo a chapa é transportada para o segundo processo do fluxo produtivo designado de limpeza de chapa, onde esta é sujeita a uma limpeza na zona cortada pelo Oxicorte, que contém escória própria do processo bem como na zona adjacente ao corte que contém óxidos de ferro provenientes da sua exposição ao meio ambiente. Após a limpeza da chapa, está pronta para seguir para o processo seguinte.



Figura 12 – Perspectiva do processo de limpeza



Figura 13 – Chapa proveniente do corte contendo escória na zona de corte

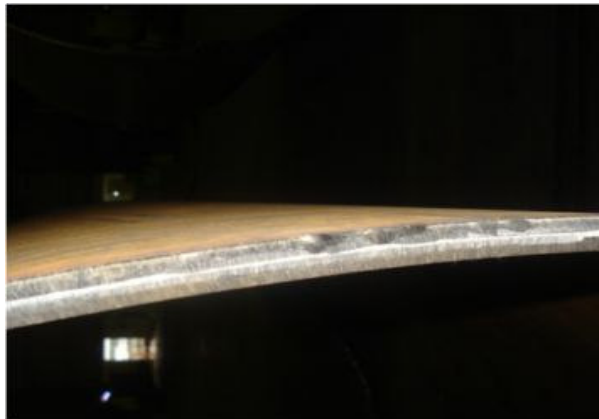


Figura 14 – Chapa depois da limpeza do chanfro

A calandragem inicia-se com a colocação da chapa com o auxílio de uma ponte rolante e o íman electromagnético em cima da mesa da Calandra.



Figura 15 – Imagem aérea da Calandra



Figura 16 – Chapa em posicionada em cima da mesa da Calandra

Após a chapa estar posicionada em cima da mesa da Calandra, esta vai deslizando sobre uns rolos fazendo a aproximação à Calandra até entrar nesta, sendo posteriormente enrolada.



Figura 17 – Chapa calandrada

Estando a chapa “enrolada” é necessário unir as duas extremidades da chapa. É neste momento que se aplica um cordão de soldadura pelo interior e pelo exterior da virola até está estar perfeitamente unida.

Após calandradas as virolas são sujeitas ao processo de soldadura longitudinal. Processo este, efectuado através de Soldadura por Arco Submerso através da tecnologia “Tandem-Twin”, isto é, esta máquina está equipada com 2 cabeças de soldadura, uma AC e outra DC, cada uma com fio de soldadura de 4mm de diâmetro, atingindo taxas de deposição na ordem dos 14kg/hora.



Figura 18 – Soldadura longitudinal interior de uma virola

Após este processo de soldadura longitudinal as virolas estão prontas a serem “armadas”, ou seja, é neste momento do processo que a torre começa a ganhar contornos.

O processo seguinte é designado de Armação de Virolas e é efectuado por um robot de Armação, mais conhecido por “Crocodilo de Armação”.



Figura 19 – Robot de Armação



Figura 20 – Armação de um troço de uma torre eólica

Este equipamento tem como objectivo efectuar as uniões/ligações entre flange/viola e viola/viola com o auxílio de 4 hidráulicos que fazem o alinhamento dos elementos em todo o seu perímetro. Após o alinhamento estar garantido é dado um cordão pelo interior de forma a “fixar” esse mesmo alinhamento. O ciclo termina quando é armada a segunda flange, designada de F2.

Após a armação da flange F2 o agora troço fica pronto para passar ao próximo processo designado de soldadura exterior. A soldadura exterior é efectuada através de um equipamento de soldadura de arco submerso acoplado a uma estrutura de 6m x 6m designado de “Cristo de Soldadura”.



Figura 21 – “Cristo” de Soldadura por Arco-Submerso

Este equipamento encontra-se acoplado a um carro que se posiciona em cima de carris de forma a poder “atacar” todas as juntas de soldadura a longo de todo o troço.



Figura 22 – Processo de soldadura exterior de troço de uma torre eólica

Este processo é em todo parecido com o processo da soldadura longitudinal, o que difere entre os dois processos é apenas a movimentação, ou seja, na soldadura longitudinal o elemento está parado, movimentando apenas o equipamento longitudinalmente ao elemento a soldar.

No caso do processo da soldadura exterior além do “Cristo” de soldadura está fixo rodando apenas o troço com o auxílio de um equipamento chamado virador.



Figura 23 – Viradores de rotação dos troços

Após soldado pelo exterior o troço vai agora ser preparado pelo seu interior. Este trabalho consiste basicamente na remoção do cordão manual de soldadura dado no processo de armação por uma questão de segurança, uma vez que este cordão serve apenas para garantir a perfeita união entre as juntas armadas naquele processo, bem como para evitar faltas de fusão no processo de soldadura interior. Para remover o cordão manual utiliza-se o método de Arc-Air, processo em que é utilizado um eléctrodo de carvão de 8, 10 ou mais mm que quando em contacto com o material a remover estabelece um campo eléctrico levando ao consumo do eléctrodo, consumo este que é catalisado pela inclusão de ar comprimido à pressão de 8 bar.



Figura 24 – Junta flange/viola arqueada

Depois de todo o material removido é necessário limpar toda a junta onde posteriormente será aplicada a soldadura interior.



Figura 25 – Limpeza da junta interior

Depois de todas as juntas estarem preparadas o troço segue para o processo seguinte, que é a soldadura interior.

**Figura 26 – Braço de soldadura interior**

Neste processo o troço é colocado nos viradores rotativos que se encontram em cima de uns carris. Após isso o troço posiciona-se para que o equipamento de soldadura que se encontra acoplado a um braço metálico de 30 metros esteja coincidente com a junta a soldar. Relativamente a este equipamento trata-se de uma solução inovadora não pelo método de soldadura mas pelo conceito de máquina, este equipamento apresenta uma solução em que parte da mesma foi desenvolvida pela Martifer.

**Figura 27 – Troço a ser soldado pelo seu interior**

Depois de terminado este processo o troço é sujeito a ensaios de qualidade a 100%. O processo de avaliação aplicado é designado de Inspeção por Ultra-Sons. Caso exista algum defeito de soldadura, o mesmo terá de ser removido até à sua extinção. O troço só avança para o posto seguinte quando não existirem defeitos.



Figura 28 – Inspeção de Ultra-Sons a um troço

Neste ponto do processo é feita igualmente uma medição/controlo às flanges tendo como referência os parâmetros do cliente.

Para o caso da torre em estudo, os parâmetros a tomar em consideração são o

- *Tapper ou tilt*, que é a medida da inclinação da flange para o seu interior ou exterior;
- *Best-fit*, que é a medida de uma amplitude de medições que resulta no melhor plano possível;
- *Short-waves*, que é uma medida da diferença entre dois pontos ímpares consecutivos;
- *Long-waves*, que é uma medida da maior diferença entre quatro pontos consecutivos;



Figura 29 – Easy-Laser



Figura 30 – Medição de uma flange através do Easy-Laser

Após a medição das suas flanges e caso os valores estejam fora do intervalo admissível a flange terá de ser alvo de uma reparação. O tipo de reparação é em função da diferença entre os valores obtidos na referida medição e os valores do cliente. Se a diferença for muito pequena tenta-se dar um aquecimento na junta virola/flange para que a flange ceda, recuperando para valores dentro do intervalo admissível. Caso essa diferença não seja recuperada pelo processo acima descrito, a flange terá mesma de ser mecanizada até conseguir colocar a flange dentro dos valores admissíveis. De referir que a maquinagem de flanges não faz parte do fluxo produtivo, apenas se trata de uma consequência de uma não conformidade.



Figura 31 – Flange a ser mecanizada

Após a inspecção o troço segue para a montagem de internos. É o processo que tem como objectivo, montar todos os componentes que permitem a acoplagem de acessórios e equipamentos, necessários ao acesso e movimentação no interior da torre eólica, como também, ao seu funcionamento, como por exemplo o aro da porta, pernos de fixação das escadas interiores, etc.



Figura 32 – Soldadura dos pernos de uma torre eólica

Depois de todos os internos soldados o troço está pronto para ir para a decapagem.

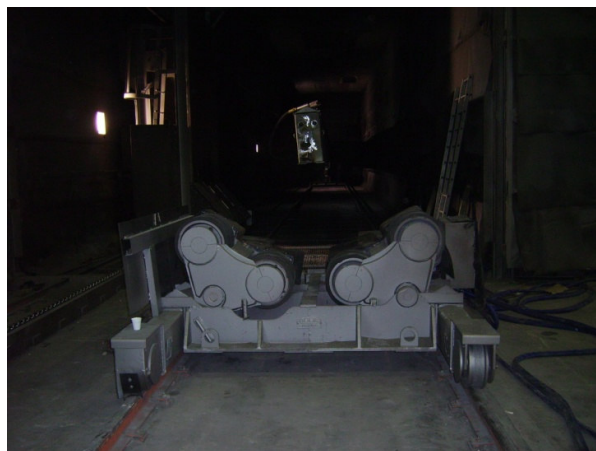


Figura 33 – Perspectiva da câmara de Decapagem

Este processo visa a limpeza da superfície metálica do troço, quer pelo seu interior, quer pelo exterior. Esta limpeza consiste na projecção de pequenas partículas, designadas de granalha de ferro, que são projectadas a uma determinada velocidade contra a superfície do troço. Esta velocidade *versus* o tempo de actuação é em função do grau de acabamento que se pretende obter, dependendo também do estado da superfície antes do troço entrar no processo.

Esta limpeza consiste remoção de materiais contaminantes tais como óxidos de ferro, poeiras, gorduras, sais, etc que impedem a aderência do revestimento e que promovem o processo de corrosão, bem como no aumento da área de aderência, através da criação de rugosidade.



Figura 34 – Troço antes de entrar no processo de decapagem



Figura 35 – Troço depois do processo de decapagem

Depois de decapado o troço está pronto para entrar na pintura. A pintura é o próximo passo do processo de uma torre.



Figura 36 – Perspectiva de uma das câmaras de pintura

Antes de entrar nas cabines de pintura, aos troços são montados 2 acessórios em cada uma das flanges do mesmo, estes acessórios têm como principal função a rotação do troço durante o processo de pintura.



Figura 37 – Troço com acessórios montados dentro da cabine de pintura

Depois de aplicados os acessórios no troço, este está pronto para pintar. O processo de pintura consiste na aplicação de primário, intermédio e finalmente é dado o acabamento.



Figura 38 – Troço durante o processo de acabamento

Após o processo de pintura o troço passa pela estufa de secagem e posteriormente para o último processo do fluxo produtivo.



Figura 39 – Perspectiva da zona de acabamentos

Este processo é designado por Acabamentos. Este processo consiste em montar todos os componentes internos de um troço, necessários ao acesso e movimentação no interior da torre eólica, bem como ao seu funcionamento.

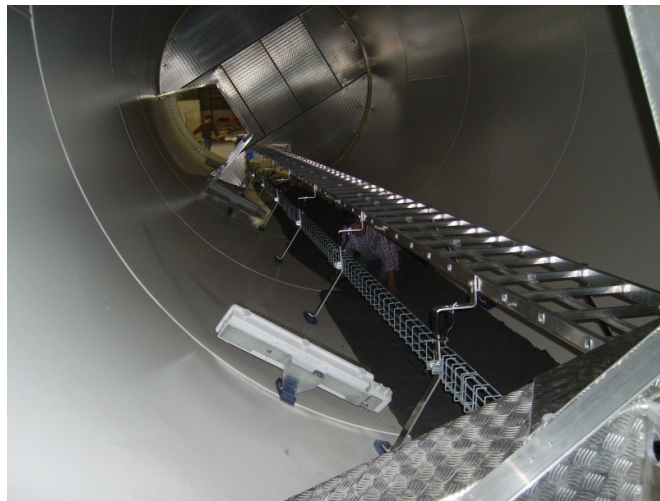


Figura 40 – Montagem de componentes internos de uma torre

Após terminado o processo de acabamentos a torre está pronta para armazenar e expedir para a obra. É aqui que termina o fluxo produtivo de uma torre eólica.



Figura 41 – Expedição de uma torre eólica

3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

3.1. DESENVOLVIMENTO E MELHORIA DO PRODUTO – SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Foram vendidas pela Martifer Energy Systems, treze (13) torres eólicas que serão por sua vez vendidas a um terceiro cliente, produtor de energia, e que as deverá montar num parque eólico situado em Mingorrubio, província de Madrid, Espanha.

No entanto, não foi licenciada para este parque, a construção de uma subestação para o sistema de transformação e integração na rede, da energia produzida pelos aerogeradores. Consequentemente, o equipamento necessário para realização deste processo, terá de ter instalado no interior das torres do aerogerador.

Uma vez que todos os equipamentos deste sistema, libertam calor devido a dissipações inerentes ao seu funcionamento, está prevista a montagem de um sistema de ventilação que garanta a temperatura máxima de funcionamento dos aparelhos e da própria Torre Eólica.

Outro factor agravante, a adicionar ao facto de existirem fontes de calor dentro da torre, são as elevadas temperaturas exteriores que se fazem sentir na província de Madrid, nos meses de Verão. O clima da província de Madrid pode ser definido como mediterrâneo continental. Os Invernos são frios com geadas frequentes e neve ocasional. Os verões são cálidos e secos com temperaturas máximas que muitas vezes superam os 35 °C.

O sistema de ventilação actualmente instalado nas torres com sistema de transformação interno, tem provado não ser totalmente eficaz. Houve queixas pela parte do cliente, vendedor de energia, referentes a recentes de falhas, causadas pelo sobreaquecimento dos equipamentos, em máquinas que estão em funcionamento em regiões como o Norte de Itália.

Um importante factor a ter em conta neste estudo, é o facto de a máquina apenas poder funcionar com a existência de vento que sopra entre 3 a 25 m/s. E é apenas nesta situação que há o risco de sobreaquecimento do equipamento.

Actualmente, o cliente Martifer garante ao seu cliente, o funcionamento pleno da torre numa gama de temperaturas ambiente, no topo da torre, entre -20°C e +35°C. Além

disso, para que a empresa possa ser cada vez mais competitiva, é importante aumentar e melhorar as características e especificações das máquinas.

Todo o sistema de ventilação será adquirido pela Martifer a um fornecedor externo e a produção da torre do aerogerador, será feita na Fábrica das Torres de Oliveira de Frades.

A produção destas torres está prevista para Junho de 2008.

Em Portugal existem dois parques com transformador interno, em Tarouca e outro em Teixeira. O primeiro tem instalado um sistema de ventilação semelhante ao que aqui está em validação, no entanto já teve de sofrer algumas alterações ao projecto original. Foram montados mais 3 ventiladores suplementares na base do transformador, de 80 Watt.

O segundo não tem qualquer sistema de ventilação e tem dado problemas de manutenção.

No âmbito deste projecto fez-se uma visita ao parque de Tarouca para melhor visualizar e ter melhor sentido crítico do sistema em causa.

No entanto, no que diz respeito a temperaturas, ambos estes locais registam temperaturas inferiores às de Mingorrubio.

3.2. OS PROBLEMAS DO FLUXO PRODUTIVO

A necessidade de otimizar, melhorar e distinguir-se dos demais surge em resposta ao que o mercado dita. Neste contexto foi reconhecida a necessidade de crescer em termos de capacidade devido às projecções de aumento de vendas ao nível dos novos mercados e considerando as linhas estratégicas do Grupo Martifer, foi considerado como uma das prioridades ao nível da organização da fábrica a criação de uma área de Engenharia (Produto e Processo).

Era então necessário reduzir custos, horas de trabalho, tempos de paragens, recursos, etc...

Os problemas na unidade de produção de torres eram alguns que só começaram a ser evidentes quando surgiu a necessidade de produzir grandes quantidades com prazos de entrega muito reduzidos.

Só para ter uma noção do crescimento, em Maio de 2006 a fábrica de torres produzia cerca de 4 a 5 troços/semana actualmente chega a produzir cerca de 11 troços/semana.

Como principais problemas no fluxo produtivo destacam-se:

1. Fronteiras de trabalho entre processos indefinidas;
2. Não existiam tempos estimados para qualquer tipo de obra a produzir;
3. Planeamento efectuado através de visitas diárias à fábrica antes de iniciar cada turno e com alguma sensibilidade que se ganhou ao longo dos tempos;
4. Não existiam buffers intermédios entre processos, existiam sim espaços livres onde havia possibilidade de colocar o que quer que fosse sem qualquer tipo de regra;
5. Tempos de troca de ferramenta (Acessórios de Pintura) demasiado elevados;
6. Layout não optimizado;
7. Linhas de produção não balanceadas;

4. APRESENTAÇÃO DA RESOLUÇÃO

4.1. ANÁLISE DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Para testar a fiabilidade do sistema de ventilação actual, tiveram de ser feitas algumas considerações de maneira a simplificar a análise, sem prejudicar o resultado final.

Mediante o elevado caudal que circula nas condutas e potencia que é dissipada no transformador, ao nível de toda a superfície das bobines, foi considerada mínima a potencia calorífica devida a condução, que se poderia registar na chapa da estrutura da torre. Daí que o calor transmitido pelas paredes possa ser desprezado face à potencia que é dissipada pelo transformador.

A potência dissipada pelo transformador é de 22 KW, estando este à carga máxima e a uma temperatura ambiente de 25°C. Nestas condições, a superfície das bobines encontra-se à temperatura média de 75°C, a seu limite de trabalho é 110°C. A análise fez-se considerando as condições limite de trabalho do transformador, isto é, 40°C.

Da parte do fornecedor, obteve-se o valor da potencia libertada no conversor é inferior a 8 KW e visto este trabalhar em temperaturas ambientes que podem atingir os 45°C, não foi considerado como sendo o elemento critico.

Cingiu-se o estudo ao volume de controlo do compartimento do transformador, visto ser este o ponto fraco do sistema.

Portanto, considerou-se que a temperatura do ar insuflado é de 35°C, que é a temperatura máxima exterior para a qual a torre eólica, tem garantia. Dentro do compartimento têm de estar no máximo, 40°C e existe uma fonte de calor que a 25°C, dissipa 22 KW, logo, dadas as condições, irá transferir para o ambiente mais calor que isso. Para simplificar, e visto não existirem outros dados, fez-se o estudo considerando apenas este valor de perda.

O caudal que é circulado no de extracção do compartimento do transformador, e que é libertado é de 5449 m³/h. No entanto aferiu-se que este caudal está calculado para variações de temperaturas, entre o exterior e o interior da torre, da ordem dos 12 a 13°C.

Quadro 3 – Propriedades do ar

T [°C]	r [kg/m ³]	C _p [kJ/kgK]
0	1,293	1,005
10	1,249	1,005
20	1,205	1,005
30	1,166	1,005
40	1,127	1,005
50	1,093	1,005

Considerando 100% de eficácia na dissipação, um C_p constante, visto as oscilações serem muito pequenas, e aplicando as formulas de potencia dissipada, caudal mássico e caudal volúmico, obteve-se então os seguintes valores:

- A variação de temperaturas será de 5°C
- O caudal mássico será de 4,378109 kg/s
- O caudal volúmico será de 13985,09 m³/h

Equação da dissipação de Calor

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T$$

Equação 1

Equação de Caudal Mássico

$$\frac{\dot{Q}}{c_p \Delta T} = \dot{m}$$

Equação 2

Equação de Caudal Volúmico

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad \text{Equação 3}$$

Para o sistema actual, que tem um ventilador que extrai o ar a 5449 m³/h, a diferença de temperaturas teria de ser de pelo menos, 13°C, isto é, no exterior teriam de estar, no máximo, 27°C.

Efectuou-se também cálculos para determinar o caudal volúmico para diferentes variações de temperatura. Obtiveram-se os valores apresentados de seguida:

Tabela 1 – Relação entre caudal mássico e variações de temperatura

T. Exterior	39	38	37	36	35	34	33
Caudal	70000	35000	23500	17500	14000	11700	10000
Δ T	1	2	3	4	5	6	7

Cálculos das velocidades nas condutas, para um caudal de 14000 m³/h

Sendo a Secção circular:

$$2\pi r = 0,171071 \text{ m}^2$$

a Velocidade:

$$(\text{caudal volúmico/secção}) / 3600 = 22,70839 \text{ m/s}$$

a Pressão dinâmica:

$$0,5 * \text{velocidade}^2 * 1,127 = 290,5032 \text{ Pa}$$

Dados:

Comprimento linear: 30m

Número de curvas a 90°: 4

Perdas na conduta/metro: 4,5 Pa

Perdas por curva: 80 Pa

Perdas de carga total, na conduta:

$$30 * 4,5 + 4 * 80 = 455 \text{ Pa}$$

Logo a,

Pressão total para o ventilador

$$\begin{aligned} \text{Pressão dinâmica} + \text{Perdas de carga total na conduta} &= \\ &= 290,5032 + 455 = \\ &= 745,50316 \text{ Pa} \end{aligned}$$

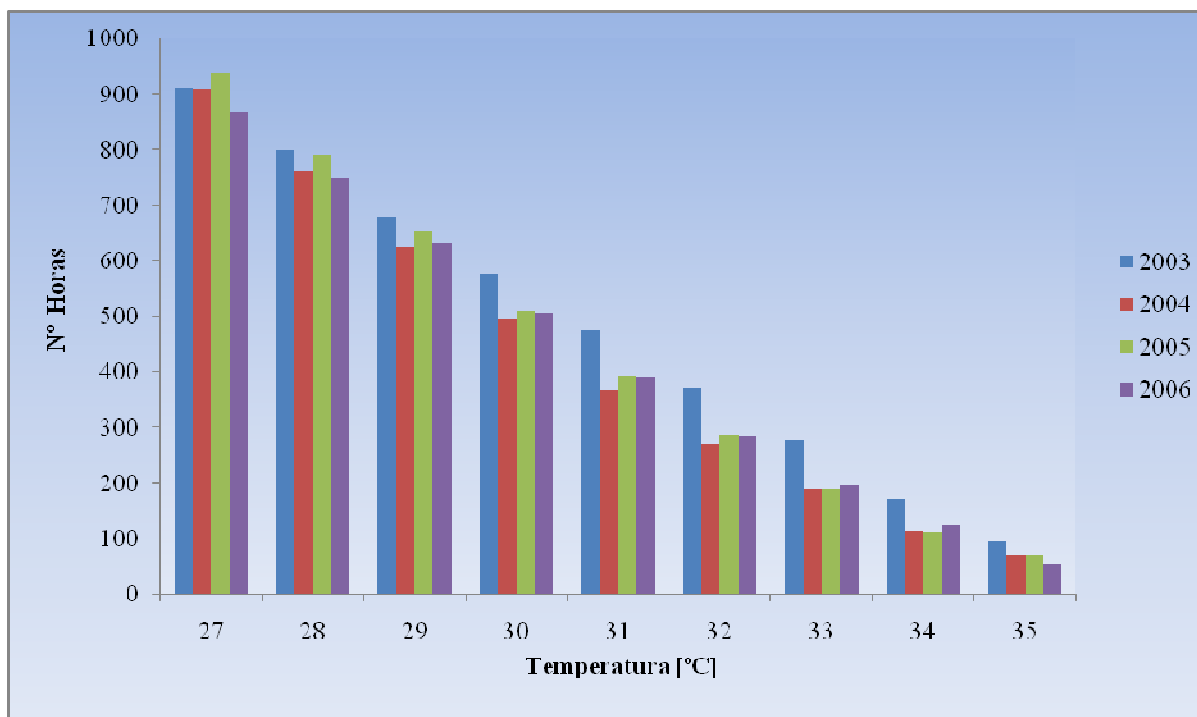
Fez-se também uma análise das temperaturas registadas em Mingorrubio, no sentido de verificar se de facto, valerá a pena, modificar todo o sistema de ventilação. Ou seja se são registadas, com frequência, temperaturas que afectem o desempenho das máquinas.

O registo de temperaturas foi feito numa estação meteorológica, em Mingorrubio, ao longo de 4 anos, 2003, 2004, 2005 e 2006, entre os meses de Maio e Outubro. Foram efectuados, hora-a-hora, isto é, 24 registos por dia.

Tabela 2 – Registo de Temperaturas

T (°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35	Ano
n°horas	911	800	679	577	477	372	277	172	95	2003
	909	761	626	496	369	271	190	115	72	2004
	940	793	653	510	394	288	190	113	72	2005
	867	751	633	507	392	285	196	125	54	2006

Gráfico 1 – Análise de temperaturas ao longo do tempo



4.2. O FLUXO PRODUTIVO

4.2.1. ARMAZÉM DE CHAPA

Tendo em conta que existência de 3 (três) clientes diferentes, quantificando cerca de 8 (oito) obras/projectos diferentes existiu a necessidade de implementar a metodologia 5S, bem como a metodologia Kanban, tendo em conta que o espaço de armazenamento não é infinito.

Inicialmente a matéria-prima tal como chegava à fábrica, assim era colocada no espaço que existia sem que fosse respeitada qualquer identificação ou numeração da mesma.

Actualmente e antes de ser aprovisionada e colocada na sua devida posição, tendo em conta o cliente, tipo de torre e posição a chapa é confirmada através do seu nº de vazamento e dimensões da mesma.

Com esta reorganização no parque de matéria-prima, existem cerca de 240 posições de chapas diferentes. Estes stocks de chapas são abastecidos quando o stock mínimo definido pela organização for atingido, ou seja, quando qualquer uma destas 240 posições tiver apenas 3 (três) chapas para produzir o Departamento de Logística informa o Departamento de Aprovisionamentos para adquirir as posições que atingiram o referido stock.

4.2.2. DOCUMENTAÇÃO DE POSTO - OXICORTE

De forma a solucionar todos, ou quase todos os problemas existentes num fluxo produtivo é imperativo conhecer as fronteiras de trabalho entre cada processo de forma aferir com rigor os tempos de cada tarefa do processo em causa.

Desta forma e depois de um trabalho de campo exaustivo, elaborou-se um pacote de documentos denominado de “Documentação de Posto” que visam a melhoria e transmitem de uma forma clara o que cada operador tem de fazer cada vez que chega ao seu posto de trabalho.

Inicialmente e tendo em conta 3 níveis de rigor, desenvolveram-se 3 tipos de fluxogramas, ou seja, *o nível 1 ou nível de visitante*, que se destina ao visitante, é o menos detalhado, apenas contextualiza de modo genérico, o processo no fluxo produtivo da unidade, *o nível 2 ou nível do operador* que se destina ao operador que vai

realizar o processo, portanto descreve em pormenor, todos os passos que requeiram a sua intervenção, desde que o produto entra no seu posto até passar para o seguinte e por último o **nível 3 ou nível da Engenharia**, este último descreve passo a passo o que o operador desenvolve no seu posto de trabalho do início ao fim da operação.

Seleccionou-se o processo de corte para aplicação da “Documentação de Posto”, no âmbito deste trabalho.

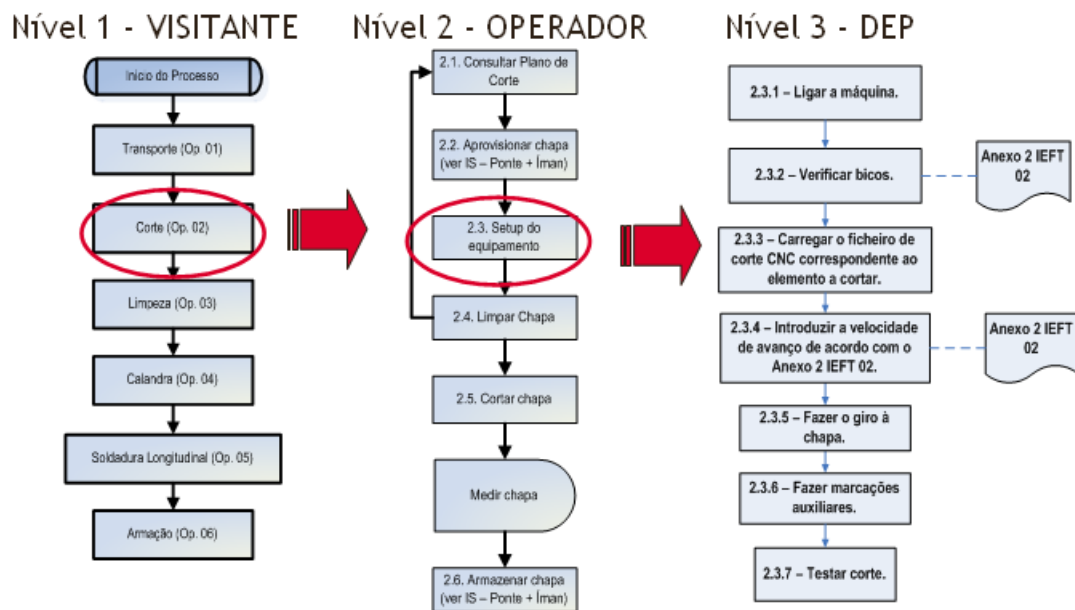


Figura 42 – Os níveis de fluxogramas do processo de corte

Depois de efectuados os 3 níveis de fluxogramas, elaboraram-se os seguintes documentos:

INSTRUÇÃO DE TRABALHO:

Este documento indica aos operadores as fronteiras do processo que têm de cumprir.

Tem como base o fluxograma de processo de nível 2 (nível do operador), é este fluxograma que diz ao operador onde inicia e termina a sua intervenção, bem como todas as tarefas a desenvolver.

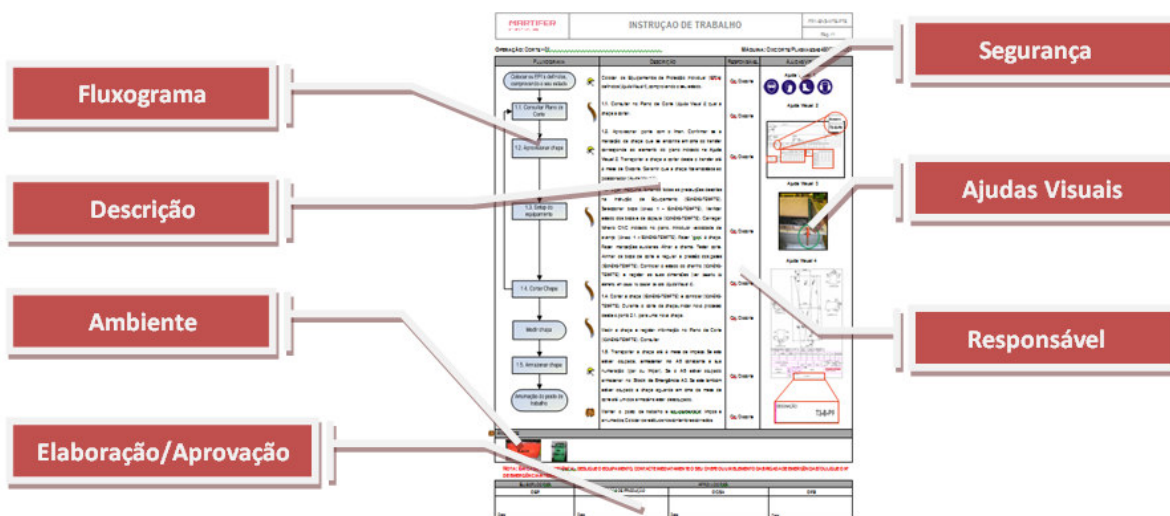


Figura 43 – Instrução de Trabalho (IT)

INSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTO:

Uma instrução de equipamento, não é mais do que um manual de instruções que tem como principal função ajudar o operador a trabalhar com o equipamento do respectivo posto de trabalho da melhor forma e em segurança.

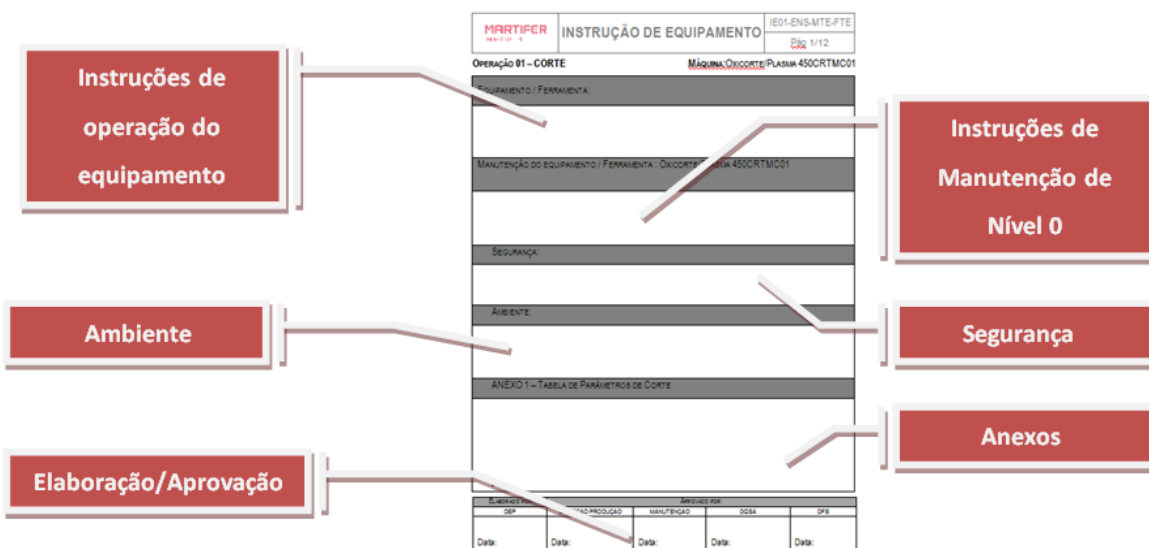


Figura 44 – Instrução de Equipamento (IE)

Além destes e para completar o pacote de documentação efectuaram-se ainda os seguintes documentos:

INSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO:

A instrução de manutenção autónoma, que segue uma determinada periodicidade, é um conjunto de ajudas visuais, que explicam as tarefas de manutenção da máquina ou do posto, que deve ser efectuada pelo operador, designada de nível zero.

INSTRUÇÃO DE SEGURANÇA:

A instrução de segurança, integra uma avaliação de riscos e respectivas consequências do posto de trabalho.

INSTRUÇÃO DE CONTROLO:

Lista todos os pontos de controlo, o responsável pelo controlo, aspectos a controlar, tolerâncias impostas pelo cliente e as acções correctivas, em caso de inconformidades.

Com estes documentos todos desenvolvidos estava terminada toda a documentação de posto para o processo estudado (Oxicorte)

Com o fluxograma de nível 3 elaborado, pode-se alimentar o FMEA, este documento lista todas as actividades contempladas neste fluxograma.

4.2.3. PLANEAMENTO E TEMPOS DE FABRICO

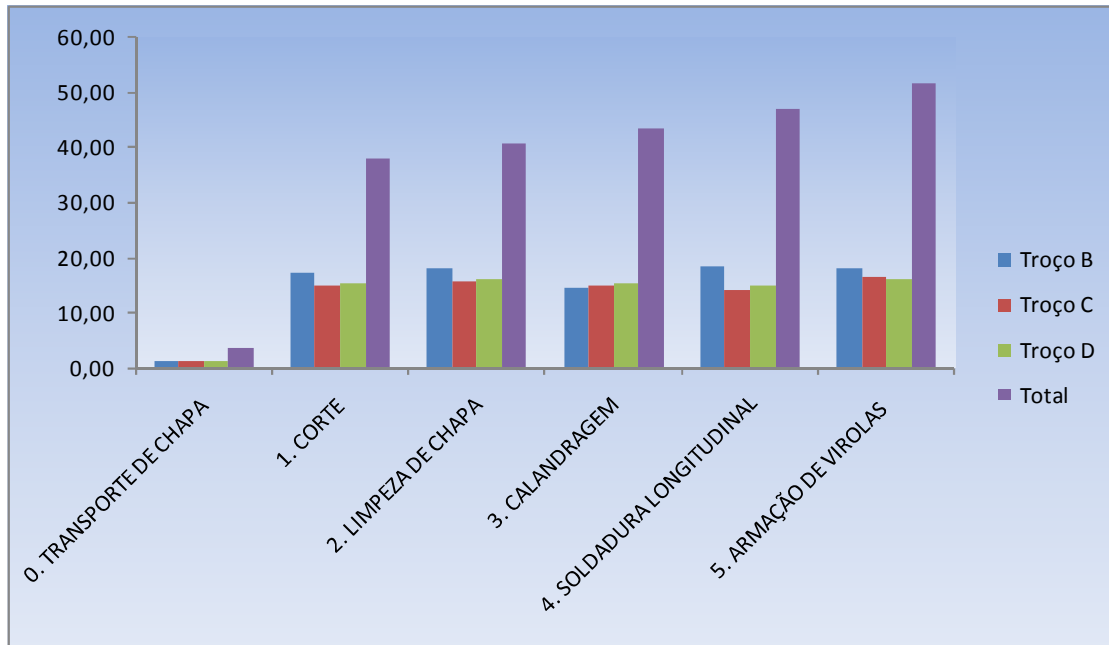
É através deste fluxograma que a Engenharia fornece os tempos de produção de cada chapa em todos os processos do fluxo para qualquer obra e para qualquer cliente, evitando desta forma erros na elaboração do planeamento da unidade.

Este trabalho de levantamento de tempos de produção é um trabalho efectuado diariamente, com o objectivo da melhoria contínua minimizando dessa forma os tempos de inoperacionalidade.

Acompanharam-se todos os processos do fluxo produtivo da torre, seguindo as etapas discriminadas pelo fluxograma nível 3 referentes a todos os processos, recolhendo-se os tempos respectivos de cada etapa desse mesmo fluxograma.

Tabela 3 – Análise de Tempos de Produção da Torre em estudo

Processos	Troço B	Troço C	Troço D	Total
0. TRANSPORTE DE CHAPA	1,16	1,03	1,23	3,42
1. CORTE	11,67	12,54	13,78	37,99
2. LIMPEZA DE CHAPA	13,00	14,00	13,76	40,76
3. CALANDRAGEM	13,97	14,43	15,23	43,63
4. SOLDADURA LONGITUDINAL	16,30	15,43	15,34	47,07
5. ARMAÇÃO DE VIOLAS	18,45	16,78	16,65	51,88
6. SOLDADURA EXTERIOR - L1	21,66	17,52	16,89	56,06
6. SOLDADURA EXTERIOR - L2	22,51	19,88	16,07	58,46
7. PREPARAÇÃO INTERIOR - L1	18,66	15,62	17,30	51,58
7. PREPARAÇÃO INTERIOR - L2	18,66	15,62	17,30	51,58
8. SOLDADURA INTERIOR - L1	12,92	10,39	12,74	36,05
9. INSPECÇÃO US - L1	14,42	13,06	14,65	42,13
9. INSPECÇÃO US - L2	14,42	13,06	14,65	42,13
10. REPARAÇÕES DE SOLDADURA - L1	7,81	7,36	7,56	22,73
10. REPARAÇÕES DE SOLDADURA - L2	7,81	7,36	7,56	22,73
11. SOLDADURA DE INTERNOS	27,54	4,27	5,74	37,55
12. INSPECÇÃO DE EASY-LASER	3,33	2,67	2,00	8,00
13. DECAPAGEM	6,44	6,72	7,41	20,58
14. PINTURA	8,62	8,81	8,99	26,42
15. ACABAMENTOS	22,75	11,98	12,56	47,29

Gráfico 2 – Análise de Tempos de produção entre os processos de Transporte e Armação de Virolas**Gráfico 3 - Análise de Tempos de produção entre os processos de Sold. Exterior – L1 e Rep. Soldadura – L2**

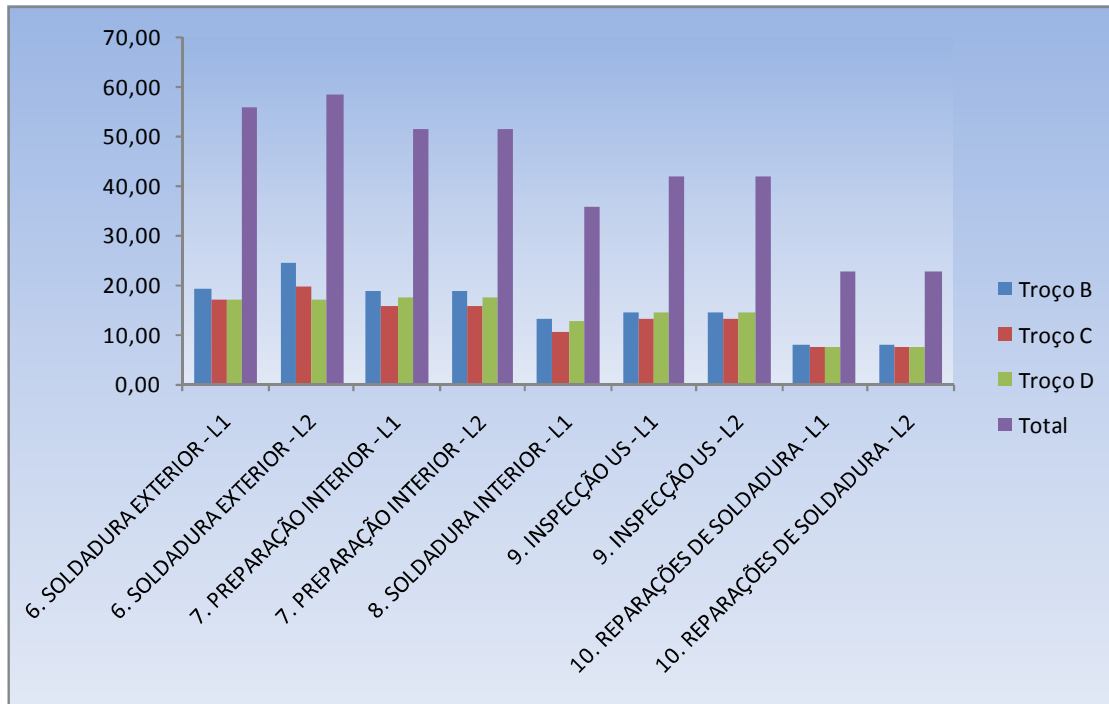
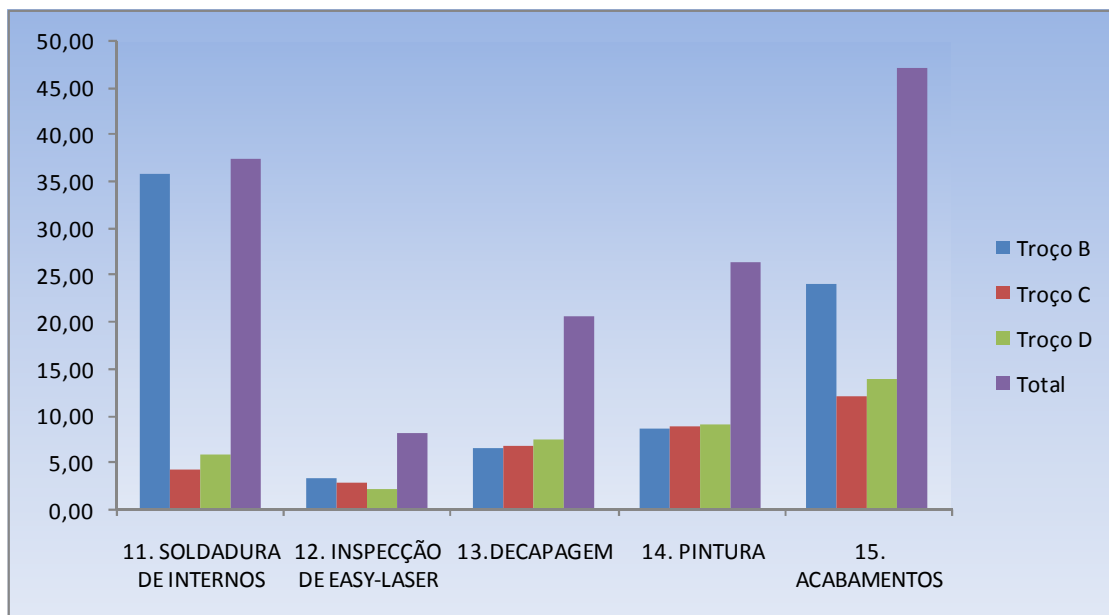


Gráfico 4 - Análise de Tempos de produção entre os processos de Sold. Internos e Acabamentos



4.2.4. BUFFERS

De forma a solucionar os problemas do armazenamento intermédio de matéria-prima no fluxo produtivo, tendo como base a análise tempos de produção, houve a necessidade de implementar buffers entre alguns processos do fluxo.

Seguidamente far-se-á uma explicação do funcionamento dos buffers no fluxo produtivo.

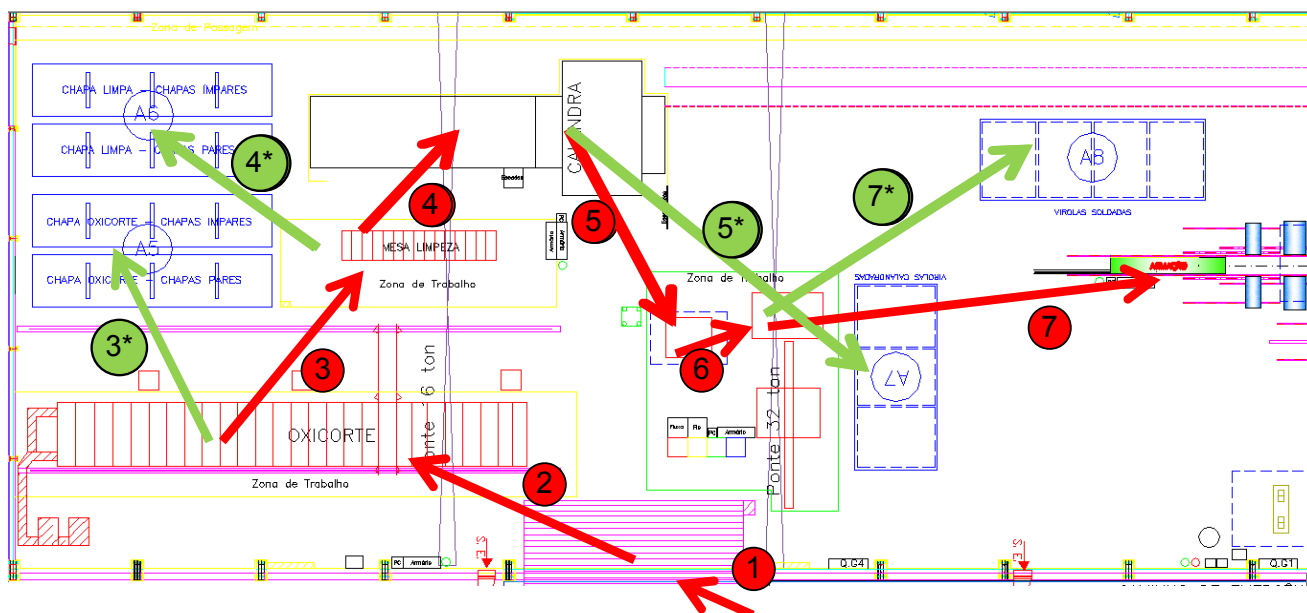


Figura 45 – Diagrama esparguete do fluxo produtivo com os buffers implementados

BUFFER A5

Caso exista uma chapa pronta para sair do Oxicorte (Op.3) e se a mesa de limpeza estiver ocupada, esta segue para um Buffer Intermédio designado de A5 (Op.3*). Se for uma chapa par segue para o buffer “Chapa Oxicorte – Chapas Pares¹”, se for ímpar vai para o buffer “Chapa Oxicorte – Chapas Ímpares”.

¹ Designação referente à posição do elemento na estrutura da torre

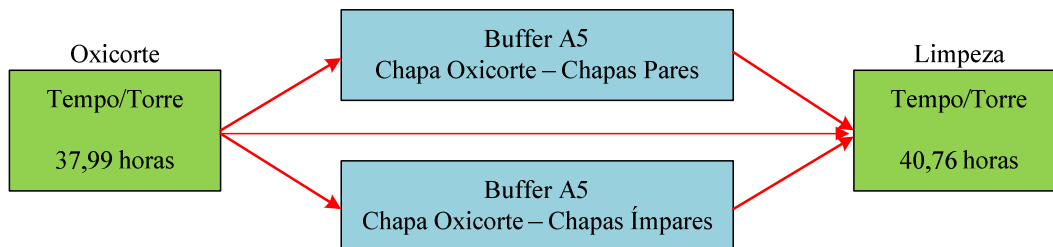
Exemplo da codificação interna: T4 - C - P2 (XPTO) – Torre 4 – Troço C – Posição 2 (Obra XPTO)



Figura 46 – Buffer A5

Ambos os buffers têm capacidade apenas para uma chapa, isto para que o processo a jusante do corte tenha sempre disponível uma chapa a limpar. O processo de corte pára quando os 2 buffers estiverem cheios e o Oxicorte possuir duas chapas cortadas em cima da sua mesa, retomando apenas quando a limpeza libertar um dos buffers contendo a próxima chapa a ser limpa.

- **Justificação do número de chapas para o buffer A5**



Tempo (Limpeza) – Tempo (Oxicorte)

$$40,76 \text{ horas} - 37,99 \text{ horas} = 2,77 \text{ horas}$$

Tempo Médio Corte/ Chapa:

$$\text{Troço B (10 chapas)} = 11,67/10 = 1,167 \text{ horas}$$

$$\text{Troço C (10 chapas)} = 12,54/10 = 1,254 \text{ horas}$$

$$\text{Troço D (12 chapas)} = 13,78/12 = 1,148 \text{ horas}$$

Sendo a diferença entre processos igual a 2,77 horas e os tempos médios de corte por chapa determinados anteriormente, vem que:

$$\text{Troço B: } 2,77 - 1,167 = 1,603 \text{ espaços} \approx \mathbf{2 \text{ espaços}}$$

$$\text{Troço C: } 2,77 - 1,254 = 1,516 \text{ espaços} \approx \mathbf{2 \text{ espaços}}$$

$$\text{Troço D: } 2,77 - 1,148 = 1,622 \text{ espaços} \approx \mathbf{2 \text{ espaços}}$$

BUFFER A6

Após concluído este processo a chapa é encaminhada para o processo seguinte designado de Calandragem. Se a Calandra (Op.4) estiver ocupada tem-se em conta a mesma linha de raciocínio do buffer anterior, ou seja, a chapa é encaminhada para um buffer existente entre o processo de Limpeza de Chapa e o processo de Calandragem o Buffer A6 (Op.4*).

Se for uma chapa par segue para o buffer “Chapa Limpeza – Chapas Pares”, se for ímpar vai para o buffer “Chapa Limpeza – Chapas Ímpares”.

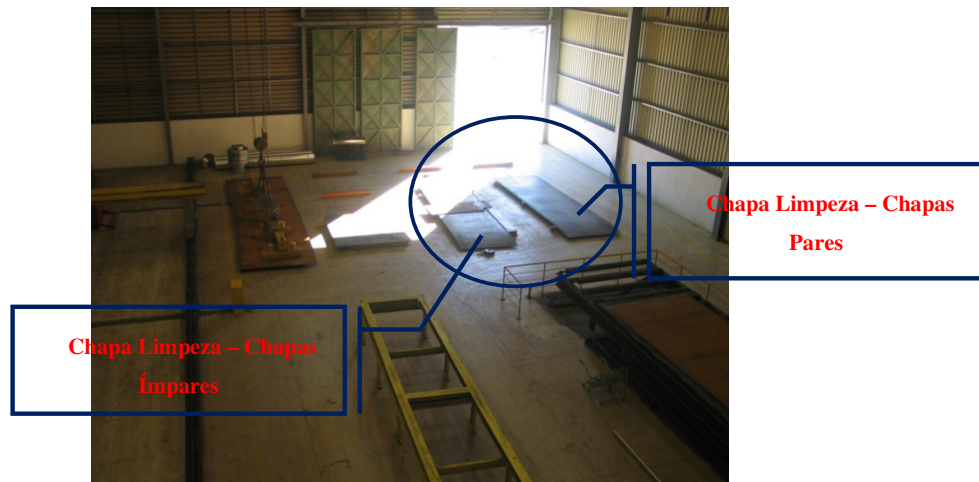
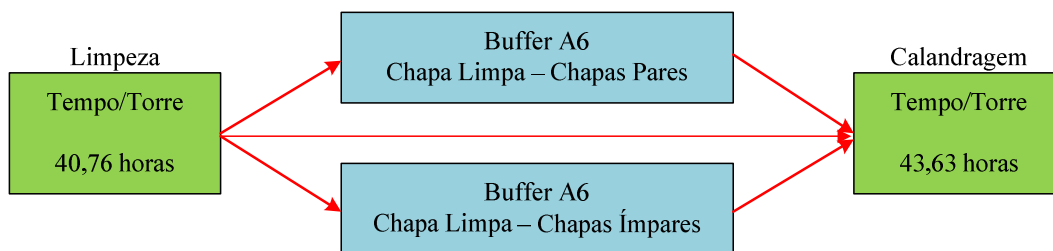


Figura 47 – Buffer A6

Ambos os buffers têm capacidade apenas para uma chapa, isto para que o processo a jusante da limpeza tenha sempre disponível uma chapa para calandrar. O processo de limpeza pára quando os 2 buffers estiverem cheios e a mesa de Limpeza possuir uma chapa limpa em cima da sua mesa, retomando apenas quando a Calandra libertar um dos buffers contendo a próxima chapa a ser calandrada.

- **Justificação do número de chapas para o buffer A6**



Tempo (Calandragem) – Tempo (Limpeza)

$$43,63 \text{ horas} - 40,76 \text{ horas} = 2,87 \text{ horas}$$

Tempo Médio Limpeza/ Chapa:

$$\text{Troço B (10 chapas)} = 13,00/10 = 1,300 \text{ horas}$$

$$\text{Troço C (10 chapas)} = 14,00/10 = 1,400 \text{ horas}$$

$$\text{Troço D (12 chapas)} = 13,76/12 = 1,147 \text{ horas}$$

Sendo a diferença entre processos igual a 2,87 horas e os tempos médios de limpeza por chapa determinados anteriormente, vem que:

$$\text{Troço B: } 2,87 - 1,300 = 1,57 \text{ espaços} \approx \mathbf{2 \text{ espaços}}$$

$$\text{Troço C: } 2,87 - 1,400 = 1,67 \text{ espaços} \approx \mathbf{2 \text{ espaços}}$$

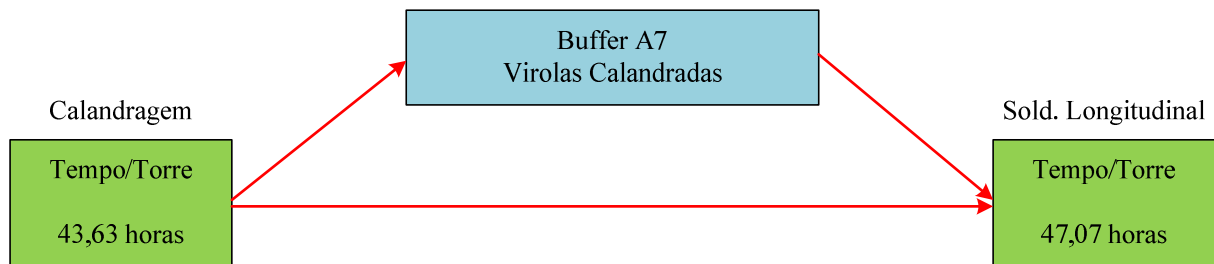
$$\text{Troço D: } 2,87 - 1,147 = 1,723 \text{ espaços} \approx \mathbf{2 \text{ espaços}}$$

BUFFER A7

Após concluído o processo de calandragem agora virola, está pronta a seguir para o processo seguinte. Após sair da calandra as virolas são sujeitas a um controlo designado de “Medição de Perímetros” (Op.5), controlo esse efectuado pelo operador do processo a jusante da calandra. Se o posto de controlo “Medição de Perímetros” bem como o posto de Soldadura Longitudinal estiverem ocupados a virola é encaminhada para um buffer existente entre o processo de Calandragem e o processo de Soldadura Longitudinal, ou seja, a virola é encaminha para o “Buffer A7 – Virolas Calandradas” (Op.5*).

O buffer tem capacidade para 3 (três) virolas. O processo de Calandragem pára quando o Buffer A7 estiver cheio, ou seja 3 virolas, o posto de controlo tiver uma virola a ser ou para ser controlada e o posto de soldadura longitudinal tiver a operar, retomando apenas quando a virola que está a ser soldada seguir para o processo de Armação (Op.7) ou para o Buffer A8 (Op.7*).

- **Justificação do número de virolas para o buffer A7**



Tempo (Sold. Longitudinal) – Tempo (Calandragem)

$$47,07 \text{ horas} - 43,63 \text{ horas} = 3,44 \text{ horas}$$

Tempo Médio Calandragem/ Chapa:

$$\text{Troço B (10 chapas)} = 13,97/10 = 1,397 \text{ horas}$$

$$\text{Troço C (10 chapas)} = 14,43/10 = 1,443 \text{ horas}$$

$$\text{Troço D (12 chapas)} = 15,23/12 = 1,269 \text{ horas}$$

Sendo a diferença entre processos igual a 3,44 horas e os tempos médios de calandragem por chapa determinados anteriormente, vem que:

$$\text{Troço B: } 3,44 - 1,397 = 2,043 \text{ espaços} \approx \mathbf{3 \text{ espaços}}$$

$$\text{Troço C: } 3,44 - 1,443 = 1,997 \text{ espaços} \approx \mathbf{2 \text{ espaços}}$$

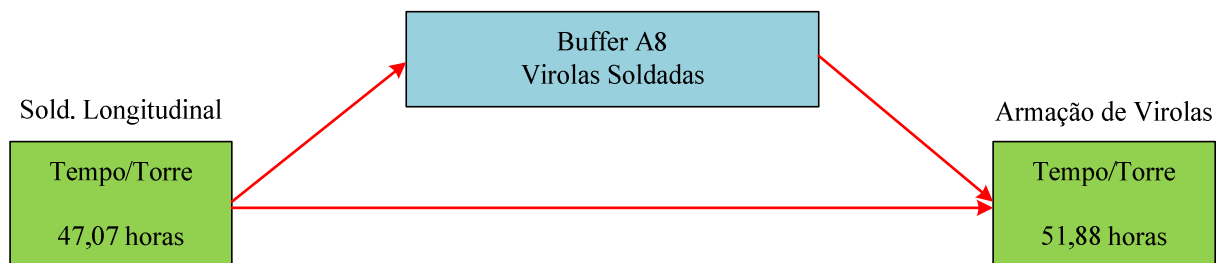
$$\text{Troço D: } 3,44 - 1,269 = 2,171 \text{ espaços} \approx \mathbf{3 \text{ espaços}}$$

BUFFER A8

O “Buffer A8 – Virolas Soldadas” está localizado entre os processos de soldadura longitudinal e Armação de Virolas. Este é utilizado quando o posto de armação tiver ocupado e sair uma virola soldada do processo a montante.

O buffer tem capacidade para 4 (três) virolas. O processo de Soldadura Longitudinal pára quando o Buffer A8 estiver cheio, ou seja, 4 virolas e o posto de Armação de Virolas estiver a armar uma virola, retomando apenas quando a virola a ser “armada” que se encontra no “Buffer A8 – Virolas Soldadas” seguir para o processo de Armação.

- **Justificação do número de virolas para o buffer A8**



Tempo (Armação de Virolas) – Tempo (Sold. Longitudinal)

$$51,88 \text{ horas} - 47,07 \text{ horas} = 4,81 \text{ horas}$$

Tempo Médio Soldadura Longitudinal/ Chapa:

$$\text{Troço B (10 chapas)} = 16,3/10 = 1,630 \text{ horas}$$

$$\text{Troço C (10 chapas)} = 15,43/10 = 1,543 \text{ horas}$$

$$\text{Troço D (12 chapas)} = 15,34/12 = 1,278 \text{ horas}$$

Sendo a diferença entre processos igual a 4,81 horas e os tempos médios de calandragem por chapa determinados anteriormente, vem que:

$$\text{Troço B: } 4,81 - 1,63 = 3,18 \text{ espaços} \approx \mathbf{4 \text{ espaços}}$$

$$\text{Troço C: } 4,81 - 1,543 = 3,267 \text{ espaços} \approx \mathbf{4 \text{ espaços}}$$

$$\text{Troço D: } 4,81 - 1,534 = 3,532 \text{ espaços} \approx \mathbf{4 \text{ espaços}}$$

Tabela 4 – Resumo das necessidades dos buffers

Tabela Resumo - Capacidades Buffers											
Buffer A5				Buffer A6				Buffer A7			
T. Limpeza - T. Corte				T. Calandragem - T. Limpeza				T. Longitudinal - T. Calandragem			
2,77				2,87				3,44			
Tempos médios de Corte	Troço B	1,167	Tempos médios de Limpeza/Chapa	Troço B	1,300	Tempos médios de Calandragem/Chapa	Troço B	1,397	Tempos médios de Soldadura/Chapa	Troço B	1,630
	Troço C	1,254		Troço C	1,400		Troço C	1,443		Troço C	1,543
	Troço D	1,148		Troço D	1,147		Troço D	1,269		Troço D	1,278
Nº de Espaços/Troço	Troço B	1,603	Nº de Espaços	Troço B	1,570	Nº de Espaços	Troço B	2,043	Nº de Espaços	Troço B	3,180
	Troço C	1,516		Troço C	1,470		Troço C	1,997		Troço C	3,267
	Troço D	1,622		Troço D	1,723		Troço D	2,171		Troço D	3,532
NECESSIDADES		2		2			3			4	

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS E DO PROJECTO DESENVOLVIDO

5.1. ANÁLISE DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Mediante a pouca informação relativa aos equipamentos, este estudo teve de ser feito considerando a situação de condições extremas. Assim, do balanço energético, feito relativamente ao sistema de ventilação, actualmente implementado, pode dizer-se que para uma variação de temperatura de 5°C, este será insuficiente. Seria importante aumentar esta variação de temperatura ou o caudal.

Aumentando o caudal, cria-se um problema relativamente à carga suportada pelas condutas, que será muito elevada e poderá originar problemas a nível de ruído e sobreaquecimentos.

Uma questão muito importante, para a qual não existem dados, é saber que registos de vento existem em Mingorrubio, isto é, se para as temperaturas mais elevadas vai de facto haver vento suficiente para a máquina funcionar e assim correr riscos de falha. Para o estudo considerou-se as situações extremas de funcionamento da torre eólica, mas não existe conhecimento suficiente para saber se elas de facto ocorrem.

Uma solução poderia ser a instalação de um sistema de refrigeração. Actualmente no mercado existem equipamentos integrados, totalmente autónomos, acomodados em disposição de armário, para simplificar a instalação.

Outra seria, pensar num revestimento isolante de lã mineral, para as paredes da torre, que permitisse retardar os efeitos da temperatura exterior, no entanto, continuaria sem protecção da maior fonte de calor, que é interna.

Também se poderá por em causa a integração dos dois sistemas, transformador, conversor, em um só.

Para aumentar a área de dissipação de calor do transformador e impedir o seu aquecimento, também se poderia pensar em alhetas ou dissipadores pretos.

Visto que o grande problema é o aquecimento no interior do transformador também se teria de pensar em refrigerar o ar que circula, localmente desde a base deste, passando pela área aberta no centro das bobinas.

Neste trabalho tentou provar-se a necessidade de alterar o sistema de ventilação actual.

No entanto, porque a análise das soluções está ainda em curso, não é possível avançar ainda com um estudo concreto relativamente a alternativas.

5.2.O FLUXO PRODUTIVO

Com este trabalho tomou-se conhecimento de todas as etapas de cada processo ao pormenor. Bem como da contribuição destes relativamente à duração global do processo e das entropias que podem introduzir ao fluxo de produção da torre.

Com a introdução, identificação e quantificação dos stocks desejáveis dos vários buffers, conseguiram-se diversos benefícios: Em primeiro lugar diminuindo-se às necessidades imediatas de matéria-prima, logo uma menor pressão sobre a colocação de chapa em produção por parte do Departamento de Logística, podendo estes canalizar o seu esforço noutras actividades.

Em segundo lugar, diminuindo-se a produção desmedida por parte do Oxicorte, Limpeza, Calandra e Soldadura Longitudinal evitando a acumulação dos elementos pelo meio da unidade nos vários estados de produção dos elementos (Chapa ou Virolas no caso)

Em terceiro lugar, à redução excessiva, fica implícito a redução de horas de trabalho, quer de máquinas, quer de mão humana, o que equivale a dizer menos desgaste, possibilidade de abertura de janelas de manutenção nos equipamentos, “libertação” dos operadores para outras tarefas, descansos ou formações profissionais.

Com esta aplicação no layout produtivo permitiu ainda outros benefícios tais como:

- Permitiu uma rápida visualização dos problemas;
- Permitiu aumentar a eficiência no trabalho;
- Permitiu reduzir os desperdícios, os tempos de execução e movimentação, logo os custos;
- Permitiu aumentar a segurança nos postos de trabalho;

Como resultado a mudança dos acessórios de pintura inicialmente realizada em 1 hora e 40 minutos, após a implementação da metodologia é actualmente realizada em apenas 14 minutos. Neste posto provou-se como com a aplicação de um simples método se pode otimizar consideravelmente o tempo de processos.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

Está de momento em curso um projecto novo de ventilação e está em estudo a hipótese de refrigeração. Estão a ser desenvolvidos, em parceria com empresas especializadas em ventilação e climatização, que dispõem de ferramentas mais potentes, para aplicação ao estudo, nomeadamente simuladores de comportamento de fluidos.

Provou-se ser de demasiada dificuldade a obtenção de informações junto de fornecedores, visto que o equipamento não foi comprado pela Martifer, mas sim pelo cliente.

Será necessário fazer um estudo mais profundo das características deste transformador, de maneira a encontrar a solução mais barata e eficaz.

Outro factor que foi limitador no estudo e que o é, na implementação de qualquer mudança/melhoria à torre, é o facto de estas requererem a aprovação do cliente final, uma vez que podem afectar consideravelmente os custos da obra.

Concretamente, esta obra terá de entrar em fabrico em Junho do corrente ano, daí que não houve tempo para considerar estudos profundos de soluções.

Relativamente ao desenvolvimento do sistema de ventilação, um ponto a pensar no futuro é a possibilidade de alterações à estrutura da torre, por questões de escassez de tempo relativamente ao planeamento da obra e da fábrica, não foi considerado

Portanto este projecto vai continuar em estudo, visto que até à data não estão ainda calculados os valores de probabilidades e custos da falha do sistema actual e não ficou decidido se vale ou não a pena o investimento do cliente, ou quem irá assumir responsabilidades pela mesma.

Embora neste estudo se tenha tido em conta apenas os 35°C, como temperatura máxima exterior, se a empresa se quer manter competitiva terá de pensar em aumentar a capacidade do sistema em suportar temperaturas mais elevadas, visto já existirem concorrentes a garantir o funcionamento das suas torres em climas mais quentes do que isso.

Futuramente, com as informações que são aguardadas, será feito um estudo mais profundo, que deverá conduzir ao projecto de um novo sistema de ventilação. Nessa altura está prevista uma apresentação da proposta ao cliente.

Todas estas hipóteses têm de ser cuidadosamente tratadas, tendo em conta, principalmente, os custos incrementais que poderá ter uma obra e ponderar se valerá ou não a pena investir na melhoria.

O trabalho aqui apresentado traduz o esforço enorme da parte quer da organização, quer dos Departamentos envolvidos nestes projectos.

O objectivo do trabalho era obter informação necessária para se conseguir planejar, com o máximo rigor a produção da unidade fabril a longo prazo, sabendo as necessidades, limitações e recursos afectos, entre outros. Com este trabalho avançou-se largamente no sentido do conhecimento destes dados.

Encontra-se em curso a remodelação do layout produtivo de forma a suprir as necessidades futuras, bem como o balanceamento das linhas produtivas desse mesmo layout.

Futuramente o trabalho passa pela implementação da metodologia “5S” em todos os postos do processo, bem como a monitorização de dados da unidade fabril.

Deste trabalho constatou-se quais são algumas das necessidades e desafios, para que uma empresa se mantenha viva e principalmente, em posição líder do mercado.

Face à concorrência, a Martifer teve que se valer do seu know-how adquirido na construção de estruturas metálicas para singrar no Mercado das torres eólicas, que está hoje em dia em franca expansão, devido às actuais condições da Envolvente Político-social.

Para tal foi obrigada a crescer rapidamente, de maneira a responder, quase instantaneamente, às necessidades que surgiram no Mercado.

A Fábrica das Torres, iniciou a sua produção sem que estivesse implementado qualquer sistema de gestão da produção. Com o aumento excepcional da sua carteira de encomendas, impôs-se de imediato a necessidade de estabelecer planos de Engenharia para controlo de produção, qualidade e de processos, até porque os clientes são cada dia mais exigente, acompanhando as tendências do Mercado.

Embora a experiência da Martifer ainda seja curta, no fabrico de Torres, ganhou já um estatuto tal, diante dos seus clientes, que já lhe é requerido por estes a intervenção e parceria em projectos da estrutura da Torre. Em resposta a estes pedidos, acabou por

surgir em Setembro de 2007, na Martifer Energy Systems, um novo departamento para desenvolvimento do Produto, inexistente até à data.

Todos estes cenários, reflectem no fundo, as preocupações e acções constantes que têm de existir dentro de uma empresa, para esta manter saudável num Mercado que está em crescimento, extremamente acelerado.

Estão a ser criadas as competências e os pilares necessários, para que a Martifer Energy Systems cresça, acompanhando o Mercado, mas esforçando-se por ser líder e conseguir ditar as regras da evolução, investindo na inovação e desenvolvimento do Produto e na optimização da Produção do mesmo.

Este projecto foi muito importante no sentido de aprofundar e aplicar na prática, métodos estudados no curso académico.

Por ter permitido a oportunidade de trabalhar com temas tão interessantes e actuais, como os que foram abordados e desenvolvidos neste trabalho, nomeadamente o Mercado das Torres Eólicas, por tudo o que se aprendeu, este foi particularmente motivante. Trouxe também, um grande enriquecimento pessoal e especialmente profissional, uma vez que todo ele foi desenvolvido em ambiente fortemente industrial.

.

7. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

CHASE, Richard B., JACOBS, F. Robert and AQUILIANO, Nicholas J.;

“Operations Management for Competitive Advantage – 7th edition”;

Mcgraw – Hill ;

FERNANDES, E. Oliveira; OLIVEIRA, Armando; CASTRO, M. Dias de;

“Sebenta de Transferências de Calor – MIEM”

Edições FEUP 2007

Manuais de Formação da empresa de consultadoria G3P;

ANEXOS

DESENHO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO (A1)

DESENHO DA ESTRUTURA DA TORRE (A2)

LAYOUT “ANTIGO” (A3)

DOCUMENTAÇÃO DE POSTO (A4)