



Universidade de Aveiro
2021

**Ana Carolina de
Almeida Santos**

**Aplicação de ferramentas *Lean* na montagem de pás
eólicas: redução do tempo de ciclo**



Universidade de Aveiro
2021

**Ana Carolina de
Almeida Santos**

**Aplicação de ferramentas *Lean* na montagem de pás
eólicas: redução do tempo de ciclo**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Prof.^a Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família pelo incansável apoio.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Maria João Machado Pires da Rosa

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José António Crispim

Professor Auxiliar da Escola de Economia e Gestão da Universidade do Minho

Prof.^a Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Um agradecimento especial à Siemens Gamesa Renewable Energy Blades S.A. por me acolher e receber tão bem, e por ter ajudado em todos os momentos.

À minha orientadora da Universidade de Aveiro, Prof.^a Doutora Ana Raquel Xambre, pela paciência, disponibilidade e apoio. Toda a sua ajuda foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família e aos meus amigos, um obrigada enorme, em especial ao Elói Filipe, à Margarida, à Ana e ao José, pela dedicação e apoio em todos os momentos especiais da minha vida, em particular ao longo destes 5 anos de aprendizagem.

palavras-chave

Torres eólicas, energias renováveis, *lean*, tempo de ciclo, gestão de operações, melhoria contínua, 5S.

resumo

Este projeto foi desenvolvido no Departamento dos Acabamentos de uma empresa de produção de pás eólicas.

O objetivo do projeto desenvolvido consistia na melhoria dos tempos de ciclo em duas posições deste departamento, considerando, ao mesmo tempo, as questões relacionadas com a ergonomia dos trabalhadores. Esta melhoria de tempos é fundamental para que a empresa consiga atingir os objetivos de produção, uma vez que a quantidade de pás a ser expedida irá, previsivelmente, aumentar. As duas posições estudadas, de acordo com vários registos da supervisão da empresa são as que apresentavam um tempo de ciclo maior que o esperado.

Com uma metodologia baseada na Investigação-Ação, realizou-se uma análise inicial a cada uma das posições, sendo que, para uma delas, a mais crítica, se fizeram gravações, para recolha de tempos, e para ambas houve observação das tarefas, diálogo com os colaboradores e foram apresentadas sugestões de melhoria, baseadas em ferramentas *lean* e de gestão de operações.

Através da aplicação destas sugestões de melhorias a empresa conseguirá reduzir os seus tempos de ciclo, aumentar a produtividade e continuar os cuidados com a ergonomia dos trabalhadores. A empresa pretende implementar as sugestões apresentadas a curto prazo.

keywords

Wind towers, wind energy, lean, cycle time, operations management, continuous improvement, 5S.

abstract

This project was developed in the Finishing Department of a wind turbine industry.

The goal was to improve the cycle times in two positions of this department, having in mind the importance of the workers' ergonomic conditions. This improvement is essential in order to achieve the company's goal to increase the production due to the expected increase in demand. The positions studied had cycle times bigger than expected, accordingly to the supervisors records. With a methodology based on Investigation-Action, an initial analysis to each position was made, in one of those positions, the most critical one, a recording was made in order to collect data, and in both there was an observation of the tasks, dialogue with the workers and improvement ideas, based on lean and operation management' tools were presented.

With these suggestions, the company will be able to reduce the cycle times, improving the productivity and maintaining the workers' ergonomic conditions. The company wants to implement the suggestions in the short term.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Motivação e Contextualização do trabalho	1
1.1.1. A empresa - Siemens Gamesa	1
1.1.2. Torres Eólicas, pás eólicas e modelos	4
1.2. Objetivos e Metodologia	7
2. Enquadramento Teórico.....	9
2.1. Torres Eólicas	9
2.1.1. Alterações climáticas / Impactos ambientais.....	9
2.1.2. Futuro potencial da energia eólica.....	10
2.1.3. Economia.....	12
2.1.4. Vantagens.....	13
2.1.5. Desvantagens	14
2.1.6. Soluções para as desvantagens.....	16
2.1.7. Tipos de falhas nas pás eólicas.....	19
2.2. Gestão de Operações	20
2.2.1. Conceitos.....	20
2.2.2. Ferramentas	24
3. Estudo dos postos de trabalho.....	27
3.1 Posição 1	40
3.1.1. Gravações.....	42
3.1.2. Soluções propostas	43
3.2. Posição 2	50
3.2.1. Soluções	51
3.3. 5S's no escritório dos Supervisores.....	56
4. Considerações finais.....	58

Índice de figuras

Figura 1 - Presença global da Siemens Gamesa [Fonte: Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021i]	3
Figura 2 - Torre eólica e nomes dos constituintes [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	4
Figura 3 - Conceitos da pá eólica [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	5
Figura 4 - Constituintes da pá eólica [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	5
Figura 5 - Produções de energia em Portugal Continental para o ano de 2020 [Fonte: Associação de Energias Renováveis, n.d.]	11
Figura 6 - Produção das diversas energias em Portugal a partir de 2018 [Fonte: (Associação de Energias Renováveis, n.d.)]	11
Figura 7 - Geração de energia em Portugal [Fonte: WindEurope asbl/vzw, n.d.]	12
Figura 8 - Estacionamento de bicicletas [Fonte: Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021h]	19
Figura 9 - <i>Layout</i> : Armazém Geral [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	27
Figura 10 - <i>Layout</i> : Escritórios [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	27
Figura 11 - <i>Layout</i> : Resíduos [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	27
Figura 12 - <i>Layout</i> : Moldes Inativos [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	28
Figura 13 - <i>Layout</i> : Corte [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	28
Figura 14 - Arrumação das fibras quando chegam [Fonte: Marinho, 2021]	28
Figura 15 - Kits de fibra [Fonte: Marinho, 2021]	29
Figura 16 - Máquina de corte de fibras [Fonte: <i>Máquina de corte com faca - Talon 25xTM - Eastman Machine Company - para materiais compósitos / para fibra de vidro / para têxteis</i> , n.d.]	29
Figura 17 - Colaboradores a enrolar a fibra cortada [Fonte: Marinho, 2021]	29
Figura 18 - Exemplo de <i>rack</i> [Fonte: (<i>Gravity Flow Racks Best New Items</i> , n.d.)]	30
Figura 19 – Infusão [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	31
Figura 20 - <i>Semi-root</i> com o saco de vácuo [Fonte: (Marinho, 2021)]	31
Figura 21 – Infusão [Fonte: (Marinho, 2021)]	32
Figura 22 - Montagem da pá [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	32
Figura 23 - <i>Layout</i> do edifício dos Acabamentos [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	33
Figura 24 - Pá quando chega à P0	33
Figura 25 - Representação de um chanfro ou <i>offset</i> [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]	34
Figura 26 - Pá em P1	34
Figura 27 - Exemplo de aplicação de massas [Fonte: Marinho, 2021]	35
Figura 28 - <i>Template</i> de espessura	35
Figura 29 - Pá na Box UT	36
Figura 30 - Pá em P2	36
Figura 31 - Pá na <i>Drilling Machine</i>	36
Figura 32 - Pá em P3	37

Figura 33 - Exemplo de uma pá a ser pintada [Fonte: (Marinho, 2021)]	37
Figura 34 – <i>Dinoshells</i>	37
Figura 35 - Pá em P4.....	38
Figura 36 – Balança	38
Figura 37 - Pá em <i>packing</i>	38
Figura 38 - Tempos de 10 pás [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades].....	39
Figura 39 - Tarefas da P1 [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades].....	40
Figura 40 - MIA (Máquina de Impregnação Automática)	41
Figura 41 - Preparação para laminação [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades].....	41
Figura 42 - Laminação [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades].....	41
Figura 43 - Standard de P1	49
Figura 44 - Tempo de ciclo da P2	50
Figura 45 - Diagrama de Esparguete da situação anterior à melhoria.....	51
Figura 46 - Diagrama de Esparguete da situação melhorada	52
Figura 47 - Suporte no passadiço	52
Figura 48 - Suporte com baldes de lep e acelerador.....	53
Figura 49 - 5 Porquês: Bolhas no LEP	53
Figura 50 - 5 Porquês: Brilho e Poros no LEP	54
Figura 51 - 5 Porquês: Escorrimentos no LEP.....	54
Figura 52 - 5 Porquês: Buracos no LEP	54
Figura 53 - 5 Porquês: Bolhas no foil.....	55
Figura 54 - 5 Porquês: sem massas	55
Figura 55 - 5 Porquês: Sujidade no foil.....	56
Figura 56 - O antes do escritório	57
Figura 57 - O depois do escritório	57
Figura 58 - Layout da Ria Blades	66

Índice de tabelas

Tabela 1 - Organigrama do departamento de Acabamentos [Fonte: Documentação interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A.].....	4
Tabela 2 - Comparação entre os 3 modelos produzidos pela Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A. [Fontes: Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021c, 2021d, 2021e]	6
Tabela 3 - Quantidade de emissões de carvão, gás e vento (kg/GWh, t/GWh para CO2) [Fonte: Manwell et al., 2009].....	9
Tabela 4 - Comparação entre os tempos da Matriz de Operações e os tempos registados nas gravações.....	42
Tabela 5 - Esquematização e cálculo das fibras do LE a entrar e sair da MIA.....	44
Tabela 6 - Ordem de saída e respetivos tempos para as fibras do LE.....	46
Tabela 7 - Cálculo do tempo demorado a impregnar as fibras no LE	47
Tabela 8 - Representação de tarefas e turnos	48

1. Introdução

O presente relatório descreve o trabalho desenvolvido ao longo de 8 meses na empresa Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A., no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial na Universidade de Aveiro.

Neste primeiro capítulo será, então, exposta a motivação e contextualização do trabalho e apresentada a empresa em que se baseia o estudo, incluindo uma breve explicação acerca do produto produzido. Adicionalmente serão explicados os objetivos e a metodologia utilizada por forma a facilitar a compreensão do trabalho prático.

1.1. Motivação e Contextualização do trabalho

Atualmente, o consumo mundial de energia, com tendência crescente, está muito dependente de energias não renováveis como combustíveis fósseis. No entanto, a utilização de energias renováveis tem vindo a aumentar, devido às preocupações, quer por parte dos governos quer por parte da sociedade, com as emissões de gases de estufa e com o esgotamento dos recursos, sendo as energias solar e eólica as mais procuradas. Adicionalmente, os poluentes emitidos pelas fontes de energia não renovável estão na origem de diversas formas de poluição, como chuvas ácidas, e mudanças climáticas, e também se tornaram uma ameaça para a vida selvagem, para a vegetação e para a saúde humana, tendo sido já causa de diversos problemas como cancro e asma.

A empresa Siemens Gamesa opera no setor da energia eólica dedicando-se à produção de torres eólicas. Neste contexto, é de notar que apesar de este tipo de energia ter sido usada desde o ano 4000 AC para diversos fins, apenas em 1900 começou a ser usada para a produção de energia elétrica e, de uma maneira mais expressiva em 1970 como resposta à crise energética (Kanoglu et al., 2019).

1.1.1. A empresa - Siemens Gamesa

O Grupo Siemens Gamesa é líder global na tecnologia da indústria das energias renováveis, fundada em 2017 a partir da fusão dos grupos Siemens Wind Power e Gamesa (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021i). Tem mais de 10000 funcionários e tem sede em Zamudio, Vizcaya, em Espanha (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021g, 2021i).

Como missão, a Siemens Gamesa defende "*We make real what matters – Clean energy for generations to come*", ou seja, tornar real o que importa, que é ter energia limpa para as gerações vindouras. Como visão, querem ser o líder global na indústria de energias renováveis conduzindo a transição para um mundo sustentável. O propósito da empresa é dar poder às pessoas para liderar o futuro. Por fim, os seus valores *core* são a orientação para os resultados, o foco no cliente, a inovação, a liderança impactante, a atitude de pertença e valorizar as pessoas (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021i).

Este grupo possui 3 unidades de negócio, nomeadamente a produção de uma vasta variedade de pás eólicas, tanto *onshore* como *offshore*, ou seja, respetivamente em terra ou no mar e ainda realiza serviços relacionados com os seus produtos, como manutenção e assistência técnica, não só para as torres eólicas da Siemens Gamesa, mas também para outros produtores (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021i).

As fontes de energia renovável são um tópico global. Nas últimas décadas, a energia eólica surgiu como a solução mais favorável, tornando-se numa das mais valorizadas fontes de energia no mundo inteiro, sendo também a fonte de energia renovável mais competitiva e mais vantajosa em termos custo-benefício (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021f). Para além disso, a energia

eólica contribui para as economias locais e cria postos de trabalho, com projetos a serem desenvolvidos por um vasto grupo de empresas, como é o exemplo das empresas adquiridas pela Siemens Gamesa (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021f).

Para a Siemens Gamesa o desenvolvimento sustentável e o sucesso comercial andam lado a lado, e fazem parte do *core* da empresa, fazendo refletir-se nas suas ações. A excelência sustentável é honorável e uma marca de qualidade operacional e de gestão. No entanto, a Siemens Gamesa reconhece que existem fatores, como a mudança climática, escassez de água, conflitos geopolíticos e desigualdades económicas, que poderão afetar este tipo de negócio (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021b).

Outro princípio da empresa é preservar o meio ambiente, sendo que têm diretrizes de conduta de negócios, que todos os colaboradores e parceiros de negócio deverão respeitar e agir de acordo, adotando uma mentalidade pró-ambiental, aplicando as melhores práticas e contribuindo positivamente para atingir os objetivos estabelecidos e comunicados. Assim, deverá ser feito um uso eficiente das instalações, equipamentos e recursos, fazendo esforços para reduzir qualquer impacto para a natureza (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021a).

Posto isto, a empresa está consciente destes riscos e compromete-se a fazer o possível para mitigar estes problemas, sendo que os projetos são construídos de forma sustentável, permitindo uma coexistência e também a conservação e proteção da biodiversidade natural e do clima. Deste modo, o respeito pela biodiversidade e pelos ecossistemas assume um papel importante na estratégia de negócio da empresa, sendo resultantes deste compromisso o seguinte: Sistema Integrado de Gestão que inclui as políticas da empresa e todos os procedimentos; cumprimento de licenças ambientais e de conservação estabelecidas pelas autoridades de cada região, designando requisitos que asseguram a proteção do ambiente local; desenvolvimento de planos ambientais de controlo e implementação de sistemas de gestão, maioritariamente certificados de acordo com a ISO 14001 para prevenir e controlar riscos ambientais; cumprimento de legislação referente a estudos sobre o impacto ambiental, que englobam mecanismos de análise e prevenção, tendo em conta diversas alternativas e criando medidas corretivas para evitar, mitigar ou compensar qualquer dano (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021a).

De acordo com o Objetivo 12: Consumo e Produção Responsável, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, n.d.), a Siemens Gamesa está em constante melhoria da pegada ecológica dos seus produtos, serviços e operações, reduzindo materiais, desperdícios, energia e água, melhorando empacotamento e logística, melhorando o fator de capacidade para uma maior produção anual de energia, reduzindo tempos entre visitas de serviço para menor consumo de combustível, aplicando diagnósticos remotos para aumentar a disponibilidade, protegendo a vida selvagem usando o controlo SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados), estendendo o tempo de vida das turbinas através das reparações e melhorias dos produtos, tendo um design modular para facilitar o desmantelamento e o tratamento de resíduos, reutilizando e reciclando componentes e materiais e ainda procurando materiais alternativos que tenham um nível de reciclagem alto (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021a).

Na Figura 1, apresenta-se a presença global do grupo, sendo que em África se encontram no Egipto, Marrocos e África do Sul, na Ásia e no Pacífico marcam presença na Austrália, China, Índia, Indonésia, Japão, Coreia, Filipinas, Singapura, Sri Lanka, Taiwan, Tailândia e Vietnam. Já nos continentes americanos o grupo encontra-se no Canadá, no México, nos Estados Unidos, na Argentina, no Brasil e no Chile. Por fim, e onde se encontram mais empresas do grupo, na Europa, está em Portugal, Reino Unido, Suécia, Turquia, Espanha, Escócia, Polónia, Noruega, Itália, Países baixos, Irlanda, Irão, Hungria, Alemanha, Grécia, Finlândia, França, Dinamarca, Croácia, Bélgica e Áustria.

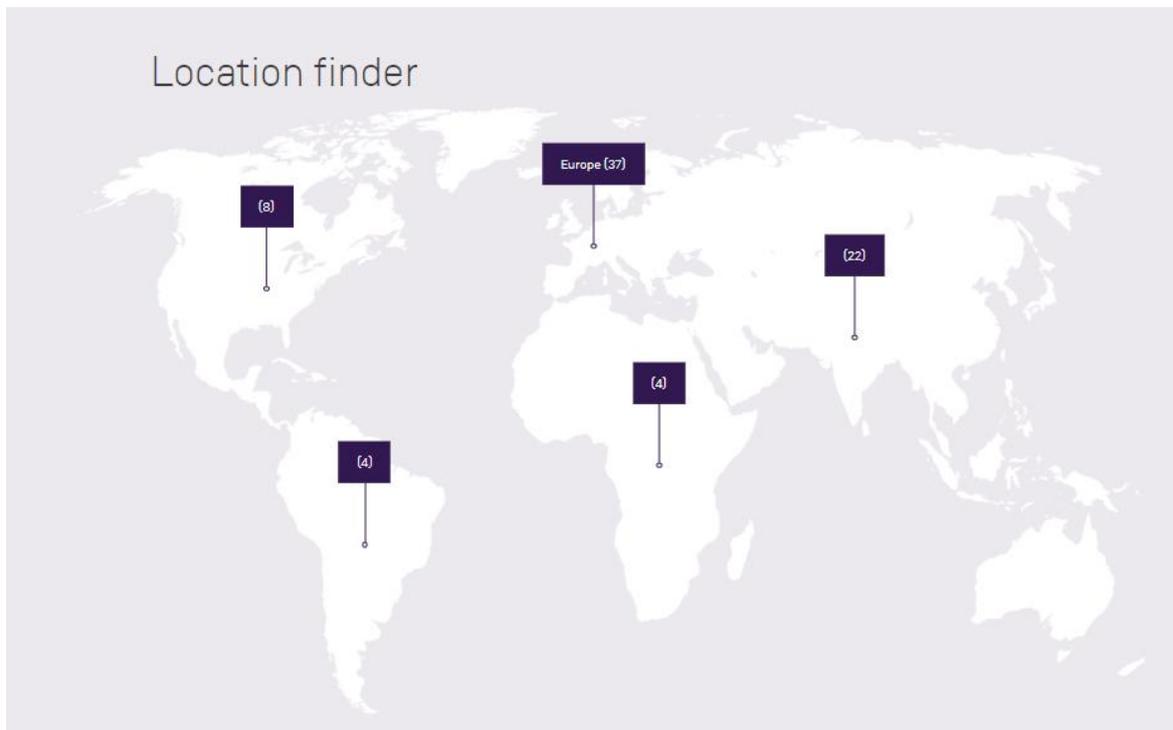


Figura 1 - Presença global da Siemens Gamesa [Fonte: Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021i]

Recentemente, o grupo Siemens Gamesa adquiriu a Ria Blades, S.A., produtora de pás eólicas, em atividade desde 2009, na qual se inseriu o trabalho desenvolvido e descrito neste relatório. Esta empresa dedica atualmente praticamente de 100% da sua produção para exportação, e foi considerada, em 2016, pela revista EXAME, a melhor empresa no setor da Metalurgia e Metalomecânica a nível Nacional, estando no *ranking* das 500 melhores e maiores empresas do país. A Ria Blades tem como pilares fundamentais a segurança e saúde dos seus colaboradores e o cuidado e melhoria do meio ambiente (Ria Blades, n.d.). Após esta aquisição, em 2020, a Ria Blades, S.A., passou a denominar-se Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A. e S.A., situa-se em Soza – Vagos. Inicialmente, como não existia experiência por parte de colaboradores na produção de pás eólicas, a empresa apostou fortemente na formação dos novos colaboradores, algo que ainda continua a ser realizado. Atualmente a Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A. tem 750 a 800 trabalhadores, tendo, contudo, em vista o crescimento e mais contratações. O organigrama geral desta empresa é apresentado no Anexo A mas, considerando que este trabalho se focou no Departamento dos Acabamentos, apresenta-se na Tabela 1 o organigrama específico do mesmo.

Tabela 1 - Organograma do departamento de Acabamentos [Fonte: Documentação interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A.]

Diretor de produção – Acabamentos	Coordenador de produção	
	Supervisores da P1 e P2 dos projetos SG155 e SG170 e Reparadores	GAT <i>leaders</i> - Produção
		Operadores de produção
		GAT <i>leaders</i> - Reparadores
		Reparadores
	Supervisores da P0 (todos os projetos), P1 (SG145) e P2 (SG145)	GAT <i>leaders</i> - Produção
		Operadores de produção
	Supervisores da P3, P4 e ilhas (todos os projetos)	GAT <i>leaders</i> - Produção
		Operadores de produção
		Operadores logísticos de movimentação

1.1.2. Torres Eólicas, pás eólicas e modelos

As torres eólicas são constituídas por diversos componentes, que se podem observar na Figura 2.

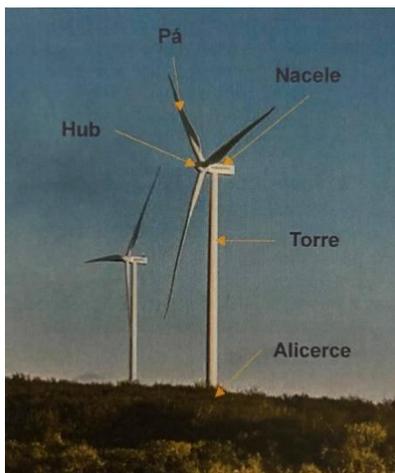


Figura 2 - Torre eólica e nomes dos constituintes [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

- O alicerce: que é a base onde assenta a torre;
- A torre;
- A *nacele*: presente no cimo da torre, protegendo os componentes, como o gerador, do clima (Manwell et al., 2009);
- A *hub*: que encaixa na *nacele*;
- As pás: que vão encaixar na *hub*.

Já a pá eólica é constituída, como se pode ver na Figura 3, por duas conchas ou *shell*, a *shell PS (Pressure Side)* e a *shell SS (Suction Side)*. Têm este nome porque o ar flui mais rapidamente na *shell PS*, reduzindo a densidade e pressão na *shell SS*.

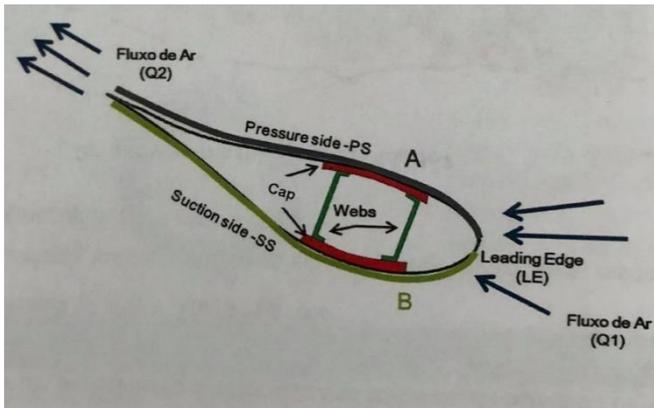


Figura 3 - Conceitos da pá eólica [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

O ar flui ainda na direção do flanco ascendente, *Leading Edge* (LE), dividindo-se em dois, sendo o *Trailing Edge* (TE), o outro flanco. Existem ainda alguns componentes pré-fabricados, que se podem observar na Figura 4 como as *caps*, que funcionam de forma similar a uma espinha dorsal para cada *shell*; as *webs*, cuja função é o suporte e a união das duas conchas, pelo interior da pá, e as *semi-roots*, que juntas formam a *root*, a zona que irá encaixar na *hub*.

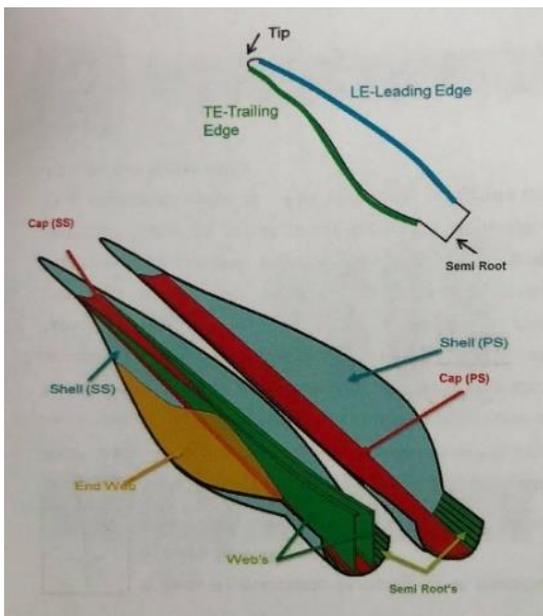


Figura 4 - Constituintes da pá eólica [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

A Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A. é atualmente responsável por três dos diversos projetos da *Siemens Gamesa*, os projetos SG145, SG155 e SG170, que correspondem a pás com diferentes dimensões e características.

O primeiro (SG145), é uma solução de mercado para locais com vento médio e em terra, incidindo o presente trabalho sobre o mesmo. A aerodinâmica da pá foi aprimorada e possui modularidade estrutural. A torre eólica deste modelo é o *benchmark* no seu segmento de LCoE - Nível de Custo da Energia e Rentabilidade, apresenta ainda um novo sistema de controlo que

otimiza a eficiência, adapta-se a uma vasta gama de locais e tem, também, a classificação de potência flexível (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021c).

O projeto SG155 é recomendado para ventos médios a elevados, também em terra. Este modelo apresenta um design flexível para a logística, construção e serviços resultando num menor LCoE e também uma melhor AEP (Produção Anual de Energia) por turbina eólica e ainda um CAPEX (Sistema de impermeabilização e isolamento térmico) otimizado para o projeto (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021d).

O terceiro projeto é o SG170, que é indicado para ventos baixos e médios, também em terra. Possui um resultado de potência superior a 5MW e um rotor maior para um LCoE mais competitivo. Integra tecnologia e *know-how* comprovados e, à semelhança do modelo anterior, possui um design flexível para a logística, construção e serviços (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021e).

Encontram-se na Tabela 2, as características diferenciadoras dos 3 projetos.

Tabela 2 - Comparação entre os 3 modelos produzidos pela Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A. [Fontes: Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021c, 2021d, 2021e]

	SG145	SG155	SG170
<i>Diâmetro do rotor (m)</i>	145	155	170
<i>Comprimento da pá (m)</i>	71	76	83
<i>Potência nominal (MW)</i>	5.0	5.8	5.8
<i>Potência variada (MW)</i>	4.0 - 5.0	Até 6.6	Até 6.2
<i>Tecnologia</i>	Orientada	Orientada	Orientada
<i>Controlo</i>	Campo e velocidade variáveis	Campo e velocidade variáveis	Campo e velocidade variáveis
<i>Características especiais</i>	<i>OptimaFlex</i>	<i>OptimaFlex</i>	<i>OptimaFlex</i>
<i>Material</i>	Fibra de vidro reforçada com resina <i>epoxy</i>	Fibra de vidro reforçada com resina <i>epoxy</i> e com um componente constituído com fibra de carbono	Fibra de vidro reforçada com resina <i>epoxy</i> e com um componente constituído com fibra de carbono

Todos os modelos apresentam tecnologia orientada e campo e velocidade variáveis, ou seja, a *nacelle* roda consoante a direção do vento, e na *hub* existe um mecanismo que permite que as pás também rodem de acordo com a direção do vento. As torres eólicas possuem ainda um mecanismo que poderá impossibilitar as pás de rodar, se estiver demasiado vento.

Como característica especial é indicada a tecnologia *OptimaFlex*, que combina a potência variável, torres em locais específicos e soluções BoP (*Balance of Plants*) otimizadas, que também permitem a redução do LCoE aumentando a AEP enquanto se reduzem custos (Siemens Gamesa Renewable Energy, n.d.).

1.2. Objetivos e Metodologia

O objetivo inicial deste trabalho foi a diminuição do tempo de ciclo da Posição 1 dos Acabamentos para o projeto SG145, para o valor de 36h. Considerou-se que era possível essa redução, uma vez que existiam oscilações no tempo de produção, era possível melhorar a ergonomia para os trabalhadores, aumentar a colaboração entre turnos, assim como padronizar as tarefas realizadas. Posteriormente foi necessário estudar estes aspetos para outra posição (a P2), que viu o seu tempo de ciclo aumentado, em particular devido a duas tarefas específicas, tornando-se por isso necessário a sua redução, para as 24h. Estas duas posições apresentam objetivos de tempos de ciclo diferentes uma vez que as posições são definidas tendo em conta um conjunto de tarefas que são possíveis de fazer nessas mesmas posições. Assim, as tarefas não são necessariamente divididas por posições pelo tempo que demoram a ser feitas, mas principalmente tendo em conta a posição da pá. Estas tarefas são também muito complexas, por esse motivo, o objetivo foi redução de tempos no que se considerava que estaria a demorar mais tempo, e não por forma a balancear todas as posições. Para tal, foi seguida a seguinte metodologia:

1. Observação das tarefas realizadas nas Posição 1 e Posição 2 por forma a identificar as ineficiências que poderão ser melhoradas;
2. Levantamento de informação:
 - a. Identificação das micro tarefas realizadas;
 - b. Medição de tempos das tarefas recorrendo a gravações de vídeo e registo de tempos dos Supervisores;
 - c. Definição das precedências entre as tarefas;
3. Aplicação de ferramentas *lean*, entre outras, por forma a reduzir os tempos;
4. Medição do impacto das melhorias implementadas.

De certa forma, a metodologia seguida pode ser enquadrada no Método de Investigação-Ação em que o analista se encontra inserido no sistema que se encontra a estudar, tal como aconteceu no desenvolvimento deste trabalho. Este é um método de investigação que tem sido utilizado em diversas áreas, desde comportamental, consultoria, educação e gestão. O objetivo é expor os problemas específicos e a partir daí aumentar o conhecimento geral das pessoas, através de cooperação, respeito e cooperação entre todos, aumentando a compreensão dos métodos a ser utilizados e quais as situações em que estes são utilizados, visando a melhoria da qualidade. Os passos deste método são o planeamento, a ação, a observação e a reflexão. Para isso, deverá haver a identificação do objetivo de estudo, a recolha de dados e a sua apresentação, análise e formulação de hipóteses, bem como o planeamento dos passos a seguir na ação e a sua implementação e por fim, dever-se-ão recolher dados para controlo e avaliação da nova situação (Toloie-Eshlaghy et al., 2011). No caso prático do projeto em estudo, os problemas foram observados no chão de fábrica, e foram discutidos com os operadores e com os seus supervisores. As soluções foram propostas tendo em conta os pontos de vista destes, e incluindo-os na melhoria, tendo sido explicados sempre os pontos a favor de cada uma das medidas, sendo as soluções estudadas e acompanhadas.

2. Enquadramento Teórico

Neste capítulo, como forma de enquadrar o trabalho desenvolvido, serão descritos tópicos relativos às torres eólicas, nomeadamente os impactos ambientais, o futuro potencial da energia eólica, o que esta traz à economia, quais as suas vantagens e desvantagens e também algumas soluções para essas desvantagens e, por fim, os tipos de falhas mais comuns nas pás e o exemplo de implementação da Alemanha.

Serão ainda abordados tópicos relacionados com gestão de operações e com a filosofia *lean*, aplicados neste trabalho.

2.1. Torres Eólicas

A energia eólica é um dos tipos de energia, das que se encontram disponíveis atualmente, que apresenta maior potencial (Letcher, 2017; Patel, 1999). Esta energia é gerada por torres eólicas, que são compostas por vários componentes já explicados anteriormente.

2.1.1. Alterações climáticas / Impactos ambientais

O aquecimento global está relacionado com o aumento da temperatura média da Terra. Uma das causas principais para esse fenómeno é o aumento da emissão dos gases de efeito de estufa (GEE) e da acumulação de dióxido de carbono na atmosfera (Brown et al., 2015; Prasad et al., 2016).

Na 21ª reunião da Conferência das Partes (COP 21), das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, em Paris, em dezembro de 2015, as nações presentes comprometeram-se a restringir as emissões de gases com efeito de estufa, para assegurar que o consequente aumento global da temperatura da superfície média era limitado a 2°C.

O aquecimento global e as mudanças climáticas trouxeram assim a necessidade de encontrar fontes de energia que não emitissem dióxido de carbono, e outros poluentes (Brown et al., 2015; Letcher, 2017). As perspetivas físicas de crescimento para a energia hidráulica e para a biomassa são limitadas, a energia nuclear é dispendiosa e a geotermal implica grandes investimentos na sua investigação para perceber e avaliar o seu potencial, assim, as melhores opções envolvem a junção das energias solar e eólica (Letcher, 2017).

De acordo com o Conselho Global de Energia Eólica e a Greenpeace Internacional, em 2006, a maior motivação para a expansão da energia eólica é o combate às alterações climáticas, a maior ameaça que o mundo está a enfrentar (Manwell et al., 2009).

A energia eólica é vista como "amiga do ambiente", principalmente comparando com as emissões dos métodos convencionais de produção de energia a larga escala (Manwell et al., 2009).

Tabela 3 - Quantidade de emissões de carvão, gás e vento (kg/GWh, t/GWh para CO₂) [Fonte: Manwell et al., 2009]

<i>Poluente</i>	<i>Carvão convencional</i>	<i>Gás</i>	<i>Vento</i>
<i>Óxido de Enxofre</i>	630 – 1370	45 – 140	2 – 8
<i>Óxido de Azoto</i>	630 – 560	650 – 810	14 – 22
<i>Dióxido de Carbono</i>	830 – 920	370 – 420	10 – 17

Como exemplo, na Tabela 3, são comparadas as emissões dos gases óxido de enxofre, óxido de nitrogénio e dióxido de carbono, para carvão mineral, gás e energia eólica. Sendo o dióxido de carbono o maior responsável pela emissão dos gases de efeito de estufa, seja na produção de

energia, no seu transporte, na fabricação de cimento e indústrias, entre outros (Letcher, 2017), é possível perceber que as emissões de todos os poluentes são bastante menores na energia eólica. Adicionalmente, considera-se que as emissões indiretas desta última forma de energia, associadas à produção e montagem das torres eólicas são consideradas pequenas (Manwell et al., 2009).

A energia mundial engloba os transportes, a eletricidade, o aquecimento e a indústria, e alcançou os 570EJ em 2014, mais 1.5% do que em 2013. No entanto, as energias eólicas e solar fotovoltaica continuaram o seu rápido crescimento, de 111% e 135% respetivamente (Letcher, 2017).

As energias eólica e solar estão na linha da frente ao combate para a redução dos gases de efeito de estufa e para alcançar o limite dos 2°C, uma vez que é possível reduzir significativamente as emissões de CO₂ se se substituírem os combustíveis fósseis por estas energias renováveis. As torres eólicas atuais possuem uma capacidade superior aos painéis solares fotovoltaicos, no entanto ainda há muito trabalho por fazer, uma vez que estas formas de energia apenas representam cerca de 4% de todo o fornecimento de eletricidade, sendo o carvão ainda a maior fonte de energia elétrica, apesar de ser o mais poluente (Letcher, 2017).

Com a evolução da indústria das energias renováveis, não será necessário continuar as explorações mineiras, que não são amigas do ambiente, no entanto, segundo Letcher (2017) isto só será uma realidade quando as energias renováveis se tornarem uma fonte de energia mais barata e conveniente. No entanto, de acordo com Brown et al. (2015), a transição energética para fontes renováveis, cortando drasticamente as emissões de carbono, é mais simples do que a maioria das pessoas pode imaginar, como será explicado nos pontos seguintes.

2.1.2. Futuro potencial da energia eólica

O potencial de crescimento da energia eólica é enorme, principalmente em países em desenvolvimento e que não têm acesso a uma rede elétrica. Por esse motivo, torna-se economicamente viável utilizar energia eólica em vez de motores de diesel ou estações energéticas de carvão. Estes países comumente têm estruturas de fornecimento de energia obsoletas, devendo por isso investir nesta indústria mais recente e que já se provou eficaz. Assim, ao invés de pagar a outros países por combustíveis fósseis poderão investir no vento, um "combustível" gratuito. Também neste caso existe a preocupação do armazenamento da energia, visto que nem sempre quando o vento sopra é quando a energia é necessária e vice-versa (Letcher, 2017).

Nos países industrializados e desenvolvidos, o vento tornou-se também um grande aliado. Com exemplos práticos, no dia 15 de maio de 2007, na Alemanha, cerca de 95% da energia fornecida proveio de fontes renováveis, mais propriamente 36% do vento e 45.2% solar, sendo a restante percentagem energia hidráulica e biomassa. Já numa ilha Norueguesa, com cerca de 4000 habitantes esta solução é particularmente útil nas comunidades rurais, estando completamente dependentes da energia eólica para a eletricidade. Em 2017 possuíam 21 turbinas eólicas, a maior parte pertencente aos habitantes da ilha, fornecendo cerca de 303106 kWh de energia, sendo ainda vendida cerca de 803106kWh para a rede nacional. Na Dinamarca, cerca de 39% da eletricidade produzida provém do vento, sendo isto resultante de uma decisão, no ano de 1985, de abandonar a energia nuclear e investir em energias renováveis. Um dos grandes incentivos para a aposta nas energias renováveis por parte dos países desenvolvidos é a necessidade de reduzir as emissões de CO₂ (Letcher, 2017).

De acordo com a Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN), a produção de energia em Portugal Continental para o ano de 2020 está representada na Figura 5, que se segue:

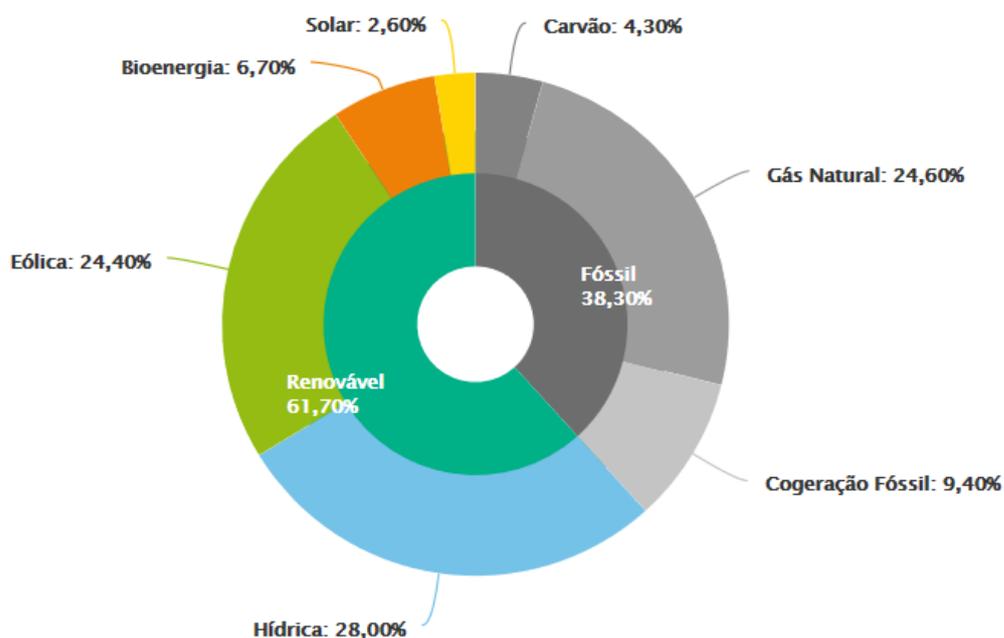


Figura 5 - Produções de energia em Portugal Continental para o ano de 2020 [Fonte: Associação de Energias Renováveis, n.d.]

Na Figura 6, pode-se observar que a produção de energias renováveis foi de 61,70%, sendo que a energia eólica representa 24,40% do consumo total, ocupando o segundo lugar das energias renováveis mais usadas.

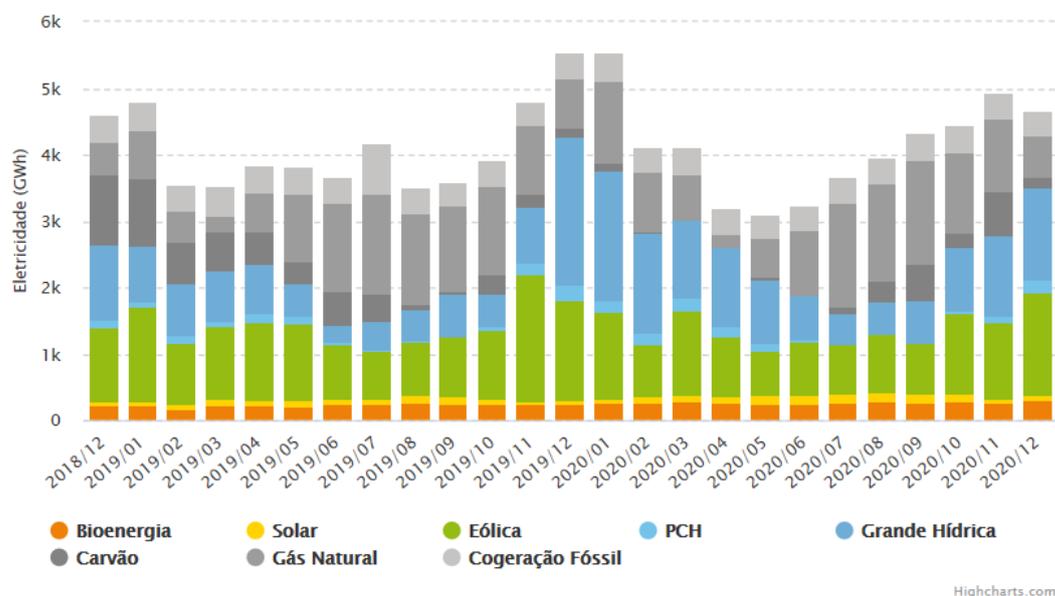


Figura 6 - Produção das diversas energias em Portugal a partir de 2018 [Fonte: (Associação de Energias Renováveis, n.d.)]

Na Figura 6 pode-se, ainda, observar as oscilações na produção em diversos tipos de eletricidade, em Portugal Continental, de 2018 a 2020.

De acordo com WindEurope asbl/vzw (n.d.), no dia 10 de fevereiro de 2021, em Portugal, a quota de energia eólica na procura de energia elétrica foi de 31%, sendo que Portugal gerou 49 GWh de energia eólica. Foi, nesse dia, o quarto país europeu a utilizar mais energia eólica para satisfazer as suas necessidades energéticas, e oitavo a gerar mais energia. Na Figura 7, é apresentada a geração de energia, em GW, nas diferentes horas do dia, para cada tipo de produtor energético. É perceptível que a produção de energia através da biomassa se manteve constante ao longo do dia, variando todas as outras, sendo que a energia eólica foi a mais produzida.

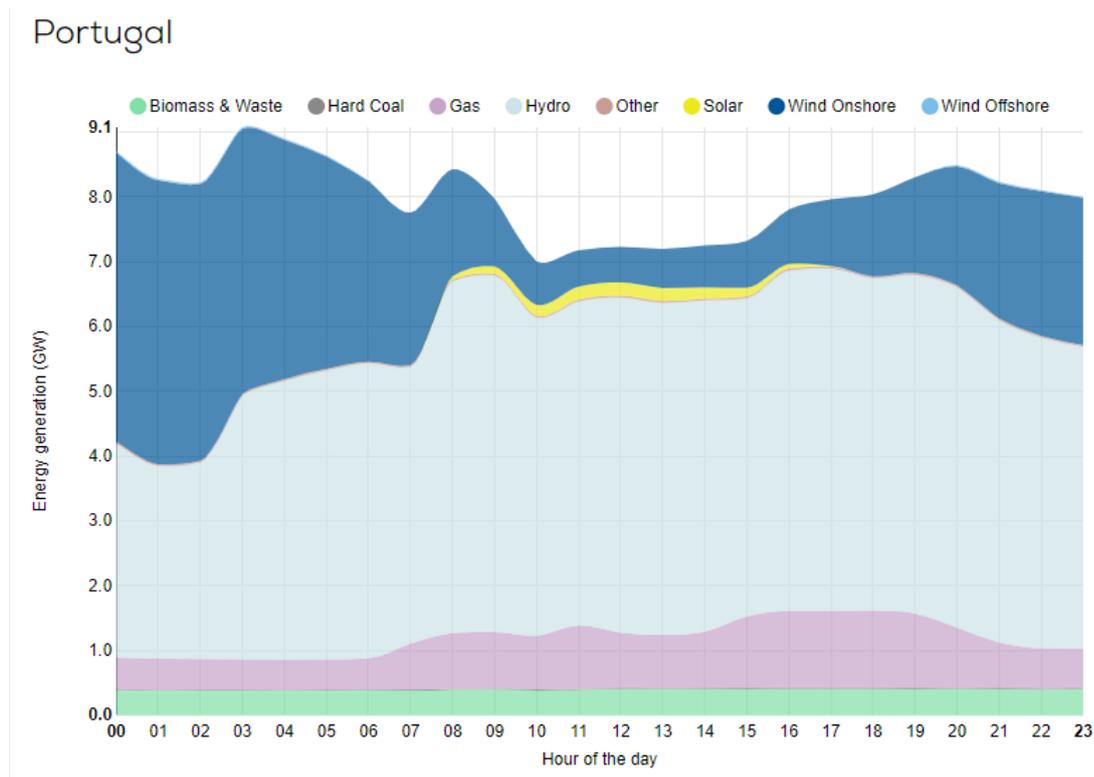


Figura 7 - Geração de energia em Portugal [Fonte: WindEurope asbl/vzw, n.d.]

2.1.3. Economia

O custo da eletricidade é afetado por 3 componentes, o capital e o custo de investimento, os custos de operação e manutenção e o custo do combustível. Dado que a produção de energia eólica não utiliza combustível, esse último custo é nulo para esse tipo de energia, no entanto, estudos apontam que a falta de compreensão da tecnologia e da economia das energias renováveis, poderão torná-las inviáveis. O custo de eletricidade proveniente de energia eólica inclui os seguintes elementos: depreciação económica do capital do equipamento, juros pagos no capital emprestado, custos de operação e manutenção, taxas pagas a autoridades locais e federais, incentivos governamentais e créditos fiscais, *royalties* pagas aos donos dos terrenos, pagamento pela eletricidade usada no modo *standby* e componentes de armazenamento de energia, se usadas (Letcher, 2017).

O preço das torres eólicas pode variar consoante os preços de transporte, diferentes alturas da torre, diâmetros do rotor, capacidade dos geradores, e os custos de ligação à rede. Algumas

entregas dos produtores são projetos "chave na mão" incluindo a planificação, todos os componentes e outros custos de instalação (Letcher, 2017). Face a todos esses custos, há quem considere que as torres eólicas requerem um investimento inicial elevado, mas que os custos das operações de manutenção são baixos, visto que não existe a necessidade de combustíveis (Asplund, 2008).

Nos últimos anos, o investimento inicial aumentou como resultado do aumento do custo das matérias-primas e da escassez de componentes. Outro custo associado a esta energia é a de passagem por vários sistemas de transmissão de vários operadores. Existe ainda um custo adicional devido ao fornecimento intermitente pois, quando a energia eólica não é suficiente, é necessário recorrer a outro meio para que não falhe energia (Asplund, 2008).

Um exemplo de como a investigação e o desenvolvimento para uma transição para um sistema de energia sustentável e renovável podem resultar, é o da Alemanha, descrito por Letcher, 2017, e que se pode definir por 3 fases chave:

1. Numa primeira fase, foram desenvolvidas as tecnologias chave, nomeadamente as torres eólicas e os painéis fotovoltaicos assim como as técnicas chave para a utilização de biomassa, reduzindo custos significativos, e promovendo notoriamente o lançamento dos mercados energéticos. Em 2017, cerca de 1/3 da produção energética alemã foi de origem renovável, sendo 14% de energia eólica.
2. Nesta fase, a tarefa principal foi a integração completa das energias renováveis. As energias renováveis que apresentam volatilidade necessitam de um maior desenvolvimento para a sua integração completa, incluindo técnica e economicamente, num sistema flexível, que inclui todos os setores de consumo, eletricidade, aquecimento e transportes.
3. A terceira fase é caracterizada por cobrir praticamente todas as necessidades elétricas do país com energias renováveis.

2.1.4. Vantagens

Existem inúmeras vantagens para se produzir e utilizar torres eólicas, que se enumeram de seguida:

- Sustentável, é uma fonte de energia inacabável, sempre que haja vento poderá ser gerada energia, e é ainda esperado que os ventos sejam mais fortes no futuro (Asplund, 2008; Brown et al., 2015; Letcher, 2017);
- Baixa pegada ecológica (Brown et al., 2015; El Bassam et al., 2013);
- Fonte de energia limpa, sem poluição, por ser um processo mecânico sem químicos ou combustíveis, e sem emissões de gases com efeito de estufa, sendo as únicas emissões de GEE geradas durante a produção e transporte das torres e todos os componentes (Asplund, 2008; Bartczak et al., 2021; El Bassam et al., 2013; European Wind Energy Association, 2012; Huesca-Pérez et al., 2016; Letcher, 2017; Sayed et al., 2021; Sultan et al., 2018);
- Fonte de energia limpa (El Bassam et al., 2013) e livre de partículas (European Wind Energy Association, 2012), um dos maiores problemas das estações de carvão que têm sido culpadas pelo aumento de casos de asma e possível Alzheimer na sociedade logo, por esse motivo, a sua redução é também uma vantagem para a saúde (Letcher, 2017);
- Diversifica as fontes de energia (Asplund, 2008; El Bassam et al., 2013; Letcher, 2017);
- Rápida indução da energia, uma rede nacional de fornecimento de eletricidade eólica consegue cumprir as necessidades de um país (Letcher, 2017);

- Conservação da água, as estações tradicionais de energia de carvão, óleo, gás ou energia nuclear usam grandes quantidades de água, enquanto que os parques eólicos não usam água (Letcher, 2017);
- Redução da destruição da mineração, e do bombeamento de óleo e gás que, tanto da terra como dos oceanos, tem um enorme impacto ambiental, algo que os parques eólicos não fazem visto que respeitam as atividades que acontecem a seu lado (Letcher, 2017);
- Podem ser construídas em quase qualquer lado, podendo ser *onshore* ou *offshore* (Asplund, 2008; Letcher, 2017);
- A terra à volta das torres poderá ser usada, por exemplo, para a agricultura e pastorícia (Asplund, 2008; Letcher, 2017);
- Proteção da terra contra a perda de habitat para aves (Manwell et al., 2009);
- Provisão de locais de caçador/ninhos em torres e instalações acessórias para caça (Manwell et al., 2009);
- Proteção ou expansão do conjunto de animais que servem de alimento a predadores como falcões (Manwell et al., 2009);
- Proteção das aves contra assédio indiscriminado (Manwell et al., 2009);
- Fonte de rendimento para agricultores e profissionais de áreas semelhantes (Letcher, 2017);
- Redução do custo de transporte da eletricidade para estações mais distantes (Letcher, 2017);
- Custos de operação e manutenção baixos, uma vez que não são utilizados combustíveis (Asplund, 2008; Brown et al., 2015);
- Estabilização do custo da eletricidade (Letcher, 2017);
- Custo-eficácia, o custo das torres eólicas desceu significativamente, melhorando designs e aumentando a produção e, assim, os parques eólicos conseguem competir com eletricidade derivada dos combustíveis fósseis. Estima-se que a energia produzida por uma turbina é recuperada após 7 meses de esta começar a funcionar, sendo que têm um ciclo de vida de cerca de 20 a 30 anos (Letcher, 2017);
- Segurança nacional, visto que o vento é um recurso gratuito, o país não fica dependente de países estrangeiros que detêm a sua fonte, como é o caso dos combustíveis fósseis (El Bassam et al., 2013; Letcher, 2017);
- Cooperação internacional, uma vez que a energia eólica poderá ser partilhada através de sistemas de redes de energia (Letcher, 2017);
- Pouco tempo de encomenda, sendo que desde a ideia até à conceção e produção de energia poderão ir cerca de 2/3 anos, em alternativa às várias décadas que levam, por exemplo, a desenhar e construir uma estação de energia nuclear (Brown et al., 2015; Letcher, 2017);
- Criação de locais de trabalho e recursos locais, a indústria das eólicas está em expansão e emprega centenas de trabalhadores no processo de produção, transporte, construção e manutenção das torres eólicas (Asplund, 2008; El Bassam et al., 2013; Huesca-Pérez et al., 2016; Letcher, 2017).

2.1.5. Desvantagens

Como tudo, as torres eólicas também têm as suas desvantagens:

- Fonte de energia intermitente, visto que depende da velocidade do vento: quando a velocidade é baixa, as pás não vão rodar, uma vez que existem perdas de fricção, e quando a velocidade é muito alta, poderá causar algum dano e, por esse motivo, são desligadas.

O vento pode ainda existir quando não é necessária energia, ou vice-versa (Asplund, 2008; Brown et al., 2015; Letcher, 2017);

- A operação é feita com apenas cerca de 65 a 80% da capacidade, sendo que só opera na sua máxima capacidade cerca de 10% do tempo, devido à afluência do vento ser irregular (Asplund, 2008);
- Altos custos de instalação inicial, das linhas de transmissão de potência e pela intermitência da energia que aumenta os custos para a rede de energia (Asplund, 2008; Letcher, 2017);
- Bons locais estão geralmente em localizações remotas, os sítios com mais vento estão em regiões montanhosas, longe das áreas urbanas, resultando no dispendioso transporte da energia através de cabos de alta-voltagem até aos clientes (Letcher, 2017);
- A localização vai determinar o *output*, por causa da velocidade do vento e pelo facto de cada sítio ser diferente (Letcher, 2017);
- Pode ser um perigo para a vida selvagem, como pássaros e morcegos que usualmente são mortos pelas pás em andamento ou outros elementos da torre eólica ou ainda complementares, sendo no entanto este número bastante inferior ao das mortes por colisões com carros, por exemplo (Asplund, 2008; Brown et al., 2015; European Wind Energy Association, 2012; Letcher, 2017; Manwell et al., 2009; Patel, 1999; Sayed et al., 2021);
- Perigo de eletrocussão aquando da colisão de aves e consequente mortalidade (Brown et al., 2015; Letcher, 2017; Manwell et al., 2009; Patel, 1999);
- Pode alterar hábitos de procura de alimento para as aves (European Wind Energy Association, 2012; Manwell et al., 2009; Patel, 1999);
- Alteração de hábitos de migração das aves (Manwell et al., 2009);
- Redução dos habitats disponíveis (European Wind Energy Association, 2012; Manwell et al., 2009; Sayed et al., 2021);
- Perturbação da reprodução, aninhamento e procura de alimento (European Wind Energy Association, 2012; Manwell et al., 2009; Patel, 1999);
- Os morcegos são atraídos pelas emissões ultrassom e pelas luzes das torres eólicas. Alguns investigadores acreditam que os morcegos creem que as torres eólicas são árvores e tencionam fazer destas o seu lar, ou então, como uma grande quantidade de insetos é atraída pelo calor da radiação das *nacelles*, os morcegos acabam por se juntar perto destas (Letcher, 2017);
- Poluição sonora, para humanos e animais, no entanto o ruído produzido pelas pás a rodar diminui exponencialmente com a distância à torre, e a percepção de cada indivíduo pode ser diferente (Asplund, 2008; Letcher, 2017; Manwell et al., 2009);
- O ruído (European Wind Energy Association, 2012) pode provocar distúrbios de sono e perdas de audição nos humanos. Ruídos com altas frequências podem causar dores de cabeça, irritabilidade (Sayed et al., 2021), fadiga, bem como constrição de artérias e sistemas imunológicos enfraquecidos. A população poder-se-á sentir chateada/irritada ou insatisfeita por causa do ruído perturbador (Huesca-Pérez et al., 2016; Letcher, 2017). Estes ruídos provêm de fontes mecânicas, como dos componentes da maquinaria, ou de fontes aerodinâmicas, resultantes do contacto das diversas partes da pá com a atmosfera (Deshmukh et al., 2019);
- Impacto visual (European Wind Energy Association, 2012), este tópico é subjetivo, há pessoas que gostam de ver as torres eólicas, enquanto que outras não gostam, sendo também por isso o impacto menos significativo. As opiniões podem variar consoante o conhecimento acerca da tecnologia, a localização das torres eólicas entre outros (Asplund, 2008; Huesca-Pérez et al., 2016; Letcher, 2017; Manwell et al., 2009);

- Os residentes locais poderão sofrer da síndrome "Not-In-My-Backyard" (NIMBY), não querendo que os parques eólicos sejam construídos perto deles, mesmo que saibam dos benefícios para a sociedade (Brown et al., 2015; Huesca-Pérez et al., 2016; Letcher, 2017);
- As pás eólicas podem fazer sombra nas áreas vizinhas, o que poderá produzir um efeito negativo e criar um piscar desconfortável (Huesca-Pérez et al., 2016), movimentando a sombra nas paisagens e nas casas (Letcher, 2017; Sayed et al., 2021);
- Segurança, quando as torres já se encontram montadas, pode existir a possibilidade de uma pá se soltar, podendo ferir pessoas ou animais que se encontrem perto e, como consequência da queda de uma pá, a torre ficaria desequilibrada e poderia colapsar (Letcher, 2017);
- Frequência de luzes e sombras, vários estudos reportaram que a frequência e o efeito *strobe* das pás a rodar poderiam ter efeitos no cérebro humano sendo que, por exemplo, o piscar produzido pela sombra pode causar epilepsia em certas pessoas (Letcher, 2017);
- Tecnologia nova e pouco conhecida, que poderá dificultar a resolução de avarias, mesmo que seja necessária pouca manutenção (Letcher, 2017);
- Como as torres eólicas são instaladas em locais remotos, a sua manutenção poderá ser mais dispendiosa (Byon et al., 2013);
- Escassez de elementos raros, como o neodímio, úteis para fabricar os ímãs da turbina, sendo que quanto mais forte for o ímã, maior aumentará a velocidade (Letcher, 2017);
- Interferência eletromagnética (EMI) é um distúrbio que interrompe, obstrui ou prejudica a eficiência do desempenho dos equipamentos elétricos e eletrônicos. Através disto, as torres eólicas têm um impacto negativo em diversos sinais importantes para as atividades humanas, como a televisão, rádio, micro-ondas, telemóveis, etc. (European Wind Energy Association, 2012; Huesca-Pérez et al., 2016; Manwell et al., 2009; Patel, 1999; Sayed et al., 2021);
- Diferentes estudos mostraram que as torres eólicas podem impactar o tempo localmente e o clima regional, como a temperatura e a velocidade do vento. Parques eólicos maiores induzem efeitos de arrefecimento durante o dia e efeitos de aquecimento durante a noite (Sayed et al., 2021), resultantes da mistura vertical do vento junto da superfície do solo. Estas alterações alteram o clima regional e podem causar mudanças na vida selvagem e nos padrões regionais de tempo. Alguns estudos referiram que os parques eólicos aliviam climas adversos como tempestades de areia, mesmo que este efeito seja limitado (Letcher, 2017; Sayed et al., 2021). No entanto, é de notar que todas as formas de energias renovável alteram e impactam o clima e o meio ambiente (Miller & Keith, 2018);
- Pode ser necessário retirar plantas do local onde se colocará a pá, sendo que é sempre aconselhada a replantação futura (Sayed et al., 2021);
- Resíduos de produção de pás eólicas (Oliveira et al., 2020) despejados em aterros ou incinerados (Hao et al., 2020; Kalkanis et al., 2019), cuja reciclagem se torna mais complicada por serem utilizados materiais compósitos (Hao et al., 2020; Sultan et al., 2018).

2.1.6. Soluções para as desvantagens

- Para a intermitência:
 - Este problema poderá reduzir-se se, simultaneamente, for utilizada a produção de energia de outras localizações (Asplund, 2008; Brown et al., 2015);
 - Armazenar esta energia, por exemplo, em baterias (Patel, 1999), armazenamento de água para bombeamento, bombeamento de água ou metano para cavernas e condução de comboios por colinas (Letcher, 2017);

- Utilização de um Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias (BESS) (Khaki, 2021);
- Utilização de um super-condensador (Carvalho et al., 2020).
- Para as aves e morcegos:
 - evitar corredores de migração (Brown et al., 2015; European Wind Energy Association, 2012; Manwell et al., 2009);
 - menos e maiores pás (Manwell et al., 2009);
 - evitar micro-habitat (Manwell et al., 2009);
 - melhoria dos designs de torres (Brown et al., 2015; European Wind Energy Association, 2012), sendo que foi estudado que as pás eólicas com padrões pintados poderiam aumentar a intensidade visual das aves de rapina, e noutro estudo foi proposto que as iluminações noturnas podem dar visibilidade aos pássaros, mas outros estudo demonstraram que esta iluminação atrai os pássaros principalmente em condições atmosféricas más, aumentando a probabilidade de colisão (Letcher, 2017; Manwell et al., 2009);
 - remover ninhos (Manwell et al., 2009);
 - gestão de presas (Manwell et al., 2009);
 - enterrar linhas elétricas (European Wind Energy Association, 2012; Manwell et al., 2009);
 - estudar locais específicos de mitigação, sendo recomendadas avaliações de atividades de distribuição de espaço e agregação de espécies de aves vulneráveis antes da construção dos parques eólicos, para minimizar distúrbios (European Wind Energy Association, 2012; Letcher, 2017; Manwell et al., 2009; Sayed et al., 2021);
 - conservação de habitats alternativos (European Wind Energy Association, 2012; Manwell et al., 2009);
 - a restrição de atividades de construção, para períodos que não sejam de reprodução para que não haja distúrbios e se reduza dos impactos negativos desta atividade (Letcher, 2017);
- Ruído:
 - De acordo com (Patel, 1999), apesar do ruído produzido ser constante, não costuma apresentar muitos distúrbios nas áreas circundantes;
 - Mudanças na forma do LE (Deshmukh et al., 2019) e da pá no geral (Sayed et al., 2021);
 - A utilização de *air foils* serrados no LE (Deshmukh et al., 2019; Sayed et al., 2021);
 - Utilização de fendas no LE (Deshmukh et al., 2019);
 - Utilização de umas componentes serrilhadas no TE (Deshmukh et al., 2019) – *dinoshells*;
 - Utilização de escovas no TE (Deshmukh et al., 2019);
 - Usar *shark tip* (Deshmukh et al., 2019).
- Poluição visual:
 - As torres eólicas devem ser posicionadas em locais com boa exposição para que seja efetiva em termos de custos (Manwell et al., 2009);
 - Em algumas zonas, existe o PIMBY (*Put It in My Back Yard*), em que residentes competem para ficar com os projetos de parques eólicos para poder ter um rendimento extra de forma a melhorar escolas e estradas locais (Brown et al., 2015);
 - A aparência da pá deve ser considerada no processo de desenho logo no início, considerando todos os fatores importantes, de forma a mitigar o impacto visual das torres eólicas (Letcher, 2017; Manwell et al., 2009);
 - Na Europa, nomeadamente no Reino Unido, as características de design que devem ser tidas em conta são: forma da torre eólica, número de pás, nacelle e a parte da

- torre, tamanho da torre, tamanho do parque eólico, espaçamento e layout das torres eólicas e cor (Manwell et al., 2009);
- A cor também é um traço importante: em vez de camuflar a pá, é melhor pintá-la numa cor que fique visível de diferentes sítios e em diversas condições climatéricas, e também de forma a respeitar as regras de visibilidade para aviões (Letcher, 2017; Sayed et al., 2021);
 - O piscar da sombra pode ser previsto e evitado com um design de parque eólicos (Letcher, 2017);
 - Quanto menos elementos e mais simples for o seu layout, mas fácil é de criar uma imagem visualmente balanceada, simples e consistente (Letcher, 2017).
- Tecnologia recente:
 - Atualmente existem equipas especializadas para realizar a manutenção e reparação de avarias;
 - Estudo do tempo de vida da torre eólica, tendo em conta a sua localização e características climáticas (Byon et al., 2013);
 - Análise de dados de falhas de outras pás, para prever os erros e quando estes poderão acontecer (Byon et al., 2013).
 - Interferência eletromagnética:
 - Não existe evidência biológica de que esta cause doenças, apesar de as pessoas intuitivamente relacionarem as suas doenças com os infrassons. Estes poderão causar doenças se a pressão que fizerem for extremamente alta, o que não é o caso (Sayed et al., 2021; Turunen et al., 2021);
 - Melhor localização das torres eólicas (Sayed et al., 2021);
 - Uso de materiais sintéticos na construção de pás eólicas e colocação de antenas para facilitar a comunicação (Sayed et al., 2021);
 - Instalação de antenas direcionais ou de melhor qualidade, direcioná-la para um transmissor alternativo, instalar um amplificador, colocar a antena num local diferente, instalação de um satélite ou TV cabo e/ou construção de uma estação de repetição se a área afetada for grande (European Wind Energy Association, 2012).
 - Resíduos de produção de pás eólicas:
 - Uso das fibras embebidas em resina para substituir a areia que formará a argamassa (Akbar & Liew, 2020; Oliveira et al., 2020; Senff et al., 2020);
 - Reciclagem mecânica (Kalkanis et al., 2019; Rani et al., 2021);
 - Fragmentação por alta tensão (Sultan et al., 2018);
 - Reciclagem biotecnológica (Sultan et al., 2018);
 - Reciclagem química (Kalkanis et al., 2019; Rani et al., 2021; Sultan et al., 2018);
 - Reciclagem eletroquímica (Sultan et al., 2018);
 - Reciclagem termal: pirólise (Kalkanis et al., 2019; Rani et al., 2021; Sultan et al., 2018);
 - Reciclagem termal: combustão de cama de fluídos (Kalkanis et al., 2019; Rani et al., 2021; Sultan et al., 2018);
 - Uso de pedaços de fibras de vidro que sobram para a produção de compósitos reforçados de geopolímeros (Novais et al., 2018);
 - Desmantelar as pás e transformá-las em parques infantis ou centros artísticos (Sultan et al., 2018);
 - Utilização de pás para outros fins, como um estacionamento para bicicletas (ver Figura 8) (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021h)



Figura 8 - Estacionamento de bicicletas [Fonte: Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021h]

2.1.7. Tipos de falhas nas pás eólicas

De acordo com o autor (Letcher, 2017), existem 4 tipos de falhas que os componentes das torres eólicas poderão sofrer:

- **Infantil:** problemas relacionados com problemas de desgaste ou defeitos de qualidade do processo de produção dos materiais. Este tipo de falhas ocorre no início do ciclo de vida e tem uma taxa decrescente de incidência com o passar dos anos. A prevenção de todas as falhas infantis é dispendiosa e cada produtor dos componentes acaba por permitir uma taxa de defeito, geralmente em acordo com os donos dos projetos, sendo que a maioria deste tipo de falhas é mitigada pela garantia do fornecedor. São exemplos:
 - descolagem dos compósitos;
 - falha de adesão na linha de colagem;
 - erro de montagem;
 - transporte e manuseamento;
 - LPS - sistema de proteção de relâmpagos;
 - rugas na laminação.
- **Prematura:** incluem eventos relacionados com defeitos que não se detetam no design, processo de produção ou aplicação. Geralmente são detetadas após algum tempo de operação, quando a torre pode já mostrar sinais de desgaste. São exemplos:
 - linha de colagem apresenta fendas;
 - erosão acelerada do LE;
 - descolagem dos compósitos;
 - rugas na laminação;
 - falhas nos *add-ons*, como vortex, etc.;
 - entrada de humidade e gelo;
 - rutura no ponto de equilíbrio da massa;
 - LPS - sistema de proteção de relâmpagos.
- **Várias/diversas:** este tipo de falhas é expectável ao longo do ciclo de vida da torre eólica, sendo que podem ser causadas por diversos eventos, como por exemplo um relâmpago. A taxa de ocorrência deste tipo de falha mantém-se estável ao longo do tempo. São exemplos:
 - excedência de carga característica;
 - excedência da força do material;
 - não conformidade na taxa de defeitos permitidos;
 - incêndio na *nacelle*;
 - sobrecarga de relâmpagos;

- falha nos rolamentos;
- algum ataque à torre.
- De desgaste: este é o tipo de falha esperada pelos donos, ou seja, se a maior parte das falhas de uma turbina eólica forem deste tipo, significa que foi escolhido um produto com qualidade de processo, que foi operado adequadamente e a manutenção foi feita de forma efetiva, evitando quaisquer outras falhas e apenas falhando "pela idade". São exemplos:
 - fadiga da linha de colagem: carregamento das bordas;
 - fadiga na *root* através de fendas devido ao carregamento das bordas e das abas;
 - erosão do LE;
 - acumulação de detritos desconhecidos;
 - fadiga dos compósitos;
 - fadiga do hardware.

2.2. Gestão de Operações

De acordo com (Porter, 2009), a Gestão de Operações é responsável pela forma como as organizações produzem e/ou entregam os seus bens e serviços (Pinto, 2010). As organizações podem fornecer serviços ou produzir bens. Neste último caso, são produzidos bens físicos e tangíveis, que se podem encontrar num inventário antes de serem entregues ao cliente. Nas organizações de produção, é possível organizar a fabricação de forma a compensar flutuações na procura por parte dos clientes (Porter, 2009).

A Gestão de Operações melhora a produtividade, a capacidade de satisfazer os clientes e de construir de forma sólida a imagem da empresa, e cria condições de vida para as pessoas, contribuindo para a produção de riqueza (Pinto, 2008a, 2010).

Na Gestão de Operações, conceitos como estratégia estão sempre presentes. A estratégia tem três níveis principais: estratégico, tático e operacional (Pinto, 2010; Porter, 2009). No nível operacional existem ainda três grandes funções: operações, *marketing* e finanças. Destas três, nas operações é onde reside a maior responsabilidade uma vez que tem de entregar o produto (Porter, 2009). É nesta função que se cria e gera valor, transformando *inputs* em *outputs*, garantindo que estes sejam tal como são desejados pelo cliente, passando por diversos processos produtivos bem como processos de controlo (Pinto, 2010).

2.2.1. Conceitos

Gemba é uma palavra japonesa que significa cenário real, chão de fábrica. Para melhor resolver os problemas do dia-a-dia fabril, as visitas ao *gemba* são fundamentais, pois é no chão de fábrica que são feitos os produtos através de processos, por isso é lá que vamos conseguir perceber como tudo funciona e quais as possíveis soluções. É no *gemba* que devemos passar o tempo necessário até encontrar as soluções para os problemas. É no cenário real que qualquer profissional dentro de uma organização aprende o processo e o produto, e os une. A experiência de estar no chão de fábrica vai dar a qualquer pessoa o conhecimento, a humildade e a empatia com quem realiza as tarefas diariamente (Imai, 2012; Suzaki, 2013).

Gembutsu significa a coisa real e refere-se a produtos, peças, máquinas e materiais. Na visita ao *gemba*, vamos ver os *gembutsus*, e em quais destas “coisas” está o problema, e, assim, vendo o problema será possível encontrar uma solução para o mesmo (Imai, 2012; Suzaki, 2013).

Gemjitsu, por fim, representa o facto real. Estando no chão de fábrica, com as “coisas” presentes, será possível avaliar os problemas e as possíveis causas, utilizando ferramentas como os

5 porquês, até chegar à causa raiz, podendo posteriormente definir o problema, quais as ações corretivas a implementar e assegurar o controle, para que não volte a acontecer (Suzaki, 2013).

A base do *gemba* é a gestão, que apoia na redução de constrangimentos. Para suportar o *gemba*, há três fundamentos básicos: a padronização, os 5S's e a eliminação de desperdício (Imai, 2012).

A filosofia *lean* tem a sua origem no sistema TPS – *Toyota Production System*, criado por Taiichi Ohno, sendo aplicada inicialmente no setor automóvel (Pinto, 2010; Shah & Ward, 2007; Womack & Jones, 1990). O *lean* é uma metodologia de resolução de problemas que tem como princípios eliminar desperdícios através da melhoria contínua dos processos, maximizando o fluxo de valor eliminando ou reduzindo operações sem valor acrescentado (Ahoy, 2009; Pinto, 2008b, 2010; Womack & Jones, 1990). O conceito *Lean Thinking*, ou pensamento magro, tem vindo a ser utilizado em diversos setores e organizações. É um sistema de gestão, que visa dar aos processos alguma qualidade e estabilidade, aumentando a capacidade da empresa de competir em mercados globais, visando a eliminação de desperdício e criação de valor (Pinto, 2008b, 2008a, 2010; Womack et al., 2007; Womack & Jones, 1990).

Com o pensamento *lean* não se tenciona fazer mudanças radicais nas organizações, mas sim mudar a atitude e a cultura da empresa. Visando a produção em pequenos lotes e tempos de ciclo reduzidos, tendo em conta a melhoria da qualidade e da flexibilidade mantendo, ao mesmo tempo custos baixos. Os princípios do *lean* são a criação de valor (que para o cliente é o motivo pelo qual a empresa existe), a definição da cadeia de valor, a otimização do fluxo, o sistema *pull* e a perfeição, reduzindo custos e tempos. Vários autores defendem, no entanto, que o primeiro passo deve ser, na realidade, conhecer os *stakeholders*, nomeadamente os clientes, e o último passo é a inovação constante (Pinto, 2008b, 2010; Womack et al., 2007; Womack & Jones, 1990). De acordo com (Womack et al., 2007; Womack & Jones, 1990), esta filosofia permite que seja feito mais com menos: menos recursos, menos esforço humano, menos equipamentos, menos tempo e menos espaço, garantindo, mesmo assim, as especificidades que os clientes desejam (Pinto, 2010; Shah & Ward, 2007; Womack et al., 2007; Womack & Jones, 1990). A filosofia *lean* tem como princípios o reconhecer o valor do trabalhador, recompensando-o, mas não em tarefas específicas, para que este não se foque apenas numas tarefas descurando outras. A fórmula para o sucesso de uma empresa, não é a mesma para todas as empresas, por esse motivo, cada empresa é um caso que deve ser analisado com atenção e para cada caso existem as soluções mais adequadas (Liker & Convis, 2011). Dentro deste conceito foram criadas diversas ferramentas que serão explicadas posteriormente.

Outro conceito importante é o desperdício, cuja palavra correspondente japonesa é: *muda*, que é uma atividade que não acrescenta valor e utiliza recursos, e que terá de ser corrigida mais tarde (Imai, 2012; Pinto, 2008b, 2010; Womack et al., 2007; Womack & Jones, 1990).

Desperdício é, assim, qualquer atividade que não acrescenta valor a uma operação (Imai, 2012; Porter, 2009). De acordo com diversos autores (Gibbons et al., 2012; Imai, 2012; Lunau et al., 2008; Ohno, 1988; Pinto, 2008a, 2008b, 2010, 2016; Porter, 2009; Suzaki, 2013; Womack & Jones, 1990) existem sete tipos de desperdício:

- Excesso de produção: maior fonte de desperdício, acontece quando é produzido mais do que é necessário para o processo seguinte, o oposto do *Just in Time*;
- Tempo de espera: tempo em que os trabalhadores ou máquinas estão parados, à espera para poder acrescentar valor ao produto;
- Transporte: transporte desnecessário de trabalho, materiais, etc.;
- Processo: pode haver tarefas que não acrescentam valor ao produto, como manutenção de materiais;
- Inventário: *stocks* serão considerados um desperdício;

- Trabalho desnecessário: movimentos desnecessários seja dos trabalhadores ou das máquinas;
- Produtos defeituosos: estes produtos terão de ser retrabalhados ou serão sucata.

Poderão ainda ser considerados como desperdícios a não utilização do potencial humano (Gibbons et al., 2012; Suzaki, 2013), a utilização de sistemas inapropriados, desperdícios de energia, materiais e desperdício do tempo do cliente (Pinto, 2010). Uma forma de combater estes desperdícios foi através da melhoria contínua.

A melhoria contínua, ou *kaizen*, significa boa mudança, e esta começa com o reconhecer que existe um problema (Imai, 2012; Liker & Convis, 2011). Neste caso, procurar a melhor forma de melhorar o desempenho e a qualidade das empresas e organizações, com o objetivo de limitar o desperdício total (Pinto, 2008b; Womack et al., 2007) tendo por base pequenas melhorias que poderão trazer grandes benefícios a longo prazo (Imai, 2012; Liker & Convis, 2011; Womack et al., 2007). Esta metodologia trará uma qualidade superior tanto aos produtos como aos serviços fornecidos pelas organizações. A melhoria contínua é similar à resiliência, pois quem a pratica não poderá “baixar os braços”, tendo de se desafiar continuamente, mesmo cometendo erros. Esta forma de pensamento deverá também ter como princípio a recompensa e o incentivo à identificação de desafios bem como as suas soluções, bem como a forma de implementação dessas soluções (Pinto, 2010).

A melhoria contínua numa empresa, num nível de excelência, apresenta alguns sinais como quadros de qualidade com indicadores de qualidade, custo, entrega, segurança e moral (QCESM), terá sugestões de melhoria, bem como princípios de organização e limpeza como os 5S's, no chão de fábrica estarão presentes esquemas, gráficos e imagens, bem como existirá a partilha de informações e notícias através de anúncios visuais e newsletters, haverá reuniões no chão de fábrica e existirá a participação de quadros superiores na partilha das melhorias, bem como a sua presença no chão de fábrica, deverão ser realizadas formações e treinos, bem como deverá existir transparência no processo de gestão e serem utilizados de processos padronizados assim como mecanismos de exposição de problemas (Imai, 2012; Suzaki, 2013).

De acordo com (Suzaki, 2013), existem 5 etapas para a melhoria contínua: analisar a operação “as is” e padronizar o processo, identificar áreas críticas, resolver problemas e criar metodologias mais eficazes e eficientes, implementar métodos novos e, por fim, se o que tiver sido feito até ao momento for satisfatório, criar standards com os novos métodos e passar aos problemas seguintes.

Dentro destes temas é importante a definição de tempo. Sendo que estes se encontram de seguida:

Lead Time é o tempo total de execução, ou seja, desde que a tarefa é iniciada até à sua conclusão, sendo que este é composto pelo tempo de operação e pelo tempo de espera (Pinto, 2008a, 2010).

Já o tempo de ciclo é o tempo que decorre entre peças sucessivas, sendo estabelecido pelo conjunto de operações mais demorado ou crítico, dando-se a este o nome de gargalo. Este define o ritmo de produção, limita o *output* e ainda o volume de *stocks* intermédio (Ohno, 1988; Pinto, 2008a, 2010).

O *takt time* é o tempo disponível para o tempo de produção. Ou seja, o tempo que se tem para produzir uma peça de forma a que esta fique disponível no mercado no momento em que será desejada (Imai, 2012; Pinto, 2008a, 2010; Shah & Ward, 2007). O cálculo deste tempo é relevante para a identificação do processo gargalo, juntamente com uma análise de gráficos visuais, que ajudam na identificação das tarefas mais demoradas (Lunau et al., 2008).

Six Sigma & Lean Six Sigma

A metodologia Six Sigma tem como objetivos eliminar defeitos resultantes de variações, assim como as próprias variações, melhorar processos para ultrapassar as expectativas dos clientes, mantendo o foco nos resultados financeiros e, na medição dos erros, enquanto fornece opções de melhoria (Ahoy, 2009; Pinto, 2008a), de forma estruturada e organizada (Salah et al., 2010). O 6 Sigma fornece métodos, ferramentas estatísticas e planos para que seja possível observar e gerir as variações no processo. Atualmente esta metodologia juntou-se ao *lean* (Lunau et al., 2008; Pinto, 2008a), visando a redução de desperdícios e variações de forma a alcançar a satisfação do cliente (Salah et al., 2010).

As metodologias de *Lean* e de *Six Sigma*, em conjunto, procuram criar melhorias nos processos, onde é possível medir as capacidades dos processos usando a estatística, de forma a definir, medir, analisar, melhorar e controlar os processos (segundo o ciclo DMAIC), reduzindo desperdícios e recursos, aumentando ou mantendo o lucro monetário e aumentando a satisfação do cliente (Ahoy, 2009; Lunau et al., 2008; Salah et al., 2010).

O casal Gilbreth estudou a forma como o trabalho manual se desenvolvia, sendo que definiram três princípios, que se baseiam na parte anatômica, biomecânica e fisiológica do corpo humano: o uso do corpo humano, o conjunto e condições no local de trabalho e o design das ferramentas e equipamentos (Niebel & Freivalds, 2014).

Assim, com o estudo da ergonomia, será possível aumentar a produção e a eficiência das operações e ainda diminuir as taxas de ocorrências de problemas de segurança dos operadores. Existem por isso vários tópicos para melhorar as condições de trabalho, no que toca ao design dos espaços, este pode ser feito para extremos, o que significa que foi desenhado a pensar num valor máximo ou mínimo de uma variação da população; outro tipo de design é o ajustável, em que diversos equipamentos e instalações se adaptam a uma variedade de indivíduos, sendo por isso esta tipologia uma das preferidas, apesar dos seus custos de implementação; ou design para o habitual, sendo este o modelo mais barato, no entanto menos desejável porque nunca será perfeito para nenhum trabalhador. Deve encorajar-se os trabalhadores a adotar uma postura correta e prover materiais e equipamentos para evitar a sua fadiga e movimentos desnecessários (Niebel & Freivalds, 2014).

Pessoas e a resistência à mudança

Para que as pessoas se sintam integradas e que façam parte de mudança, é importante formá-las antes de estas começarem a fazer os produtos, uma vez que se se desenvolverem os trabalhadores individualmente, estes irão fazer a empresa desenvolver também, para isso, estes devem possuir diversas competências como de manutenção, de melhoria, de trabalho em equipa, de tarefas específicas e de gestão, bem como capacidades de autonomia e autogestão (Suzaki, 2013).

É bastante comum que exista alguma resistência à mudança quando são sugeridas novas maneiras de realizar as tarefas, uma vez que os trabalhadores já estão habituados e confortáveis com o local de trabalho tal como este se encontra. Assim, a forma como se “vendem” as soluções e novos métodos aos operadores e restantes colaboradores é importante. Por isso, estes devem ser os primeiros a conhecer estes métodos, sendo estes explicados da melhor forma, e passo a passo, para que a mudança pareça o mais simples possível. Se alguém não compreender a mudança, o mais provável é que não vá aceitar este novo método (Niebel & Freivalds, 2014). Devemos por isso, desafiar os colaboradores a sugerir alterações, porque não sabemos se uma dessas sugestões não é a solução ideal para o nosso problema (Suzaki, 2013).

Padronização

De forma a serem eficazes diariamente, as empresas têm de ter padrões que mantêm e melhoram. Para padronizar um conjunto de tarefas deve-se conhecer o processo, e torna-lo num plano simples que forma fases com sentido, no sentido de prevenir falhas recorrentes (Imai, 2012).

2.2.2. Ferramentas

5S's, "*A place for everything and everything in its place*". Esta metodologia japonesa ajuda na redução de desperdícios e melhoria de processos, mantendo o local de trabalho limpo e organizado, recorrendo a ferramentas visuais. Estes 5S correspondem a *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu e Shitsuke*, que significam triagem, ordenar, limpar, normalizar e manter a disciplina, respetivamente (Imai, 2012; Lunau et al., 2008; Pinto, 2008a, 2008b, 2016; Singh et al., 2014).

No primeiro S, *Seiri*, o objetivo é eliminar tudo o que não é necessário do local de trabalho, criando um espaço limpo, para que o fluxo corra. No segundo S, *Seiton*, o objetivo é criar um método organizado, lógico e intuitivo de organização do local. No terceiro S, *Seiso*, o objetivo é manter o local de trabalho e as máquinas limpos e arrumados. Já no quarto S, *Seiketsu*, o objetivo é normalizar o que foi feito nos S's anteriores, e no último S, *Shitsuke*, o objetivo é manter a disciplina e manter os hábitos, sem desistir (Singh et al., 2014). Poderá ainda ser incluído um sexto S, correspondente à segurança, significando que todas as operações devem ser realizadas em segurança e de acordo com as normas estabelecidas (Imai, 2012; Lunau et al., 2008; Pinto, 2008a, 2008b, 2016).

A falta desta boa prática é um indício de que existe falta de eficiência, pouca disciplina, baixa moral, qualidade fraca, altos custos e incapacidade de entregar ao cliente aquilo que ele deseja (Imai, 2012).

Diagrama de Ishikawa

Ainda conhecido como Diagrama Espinha de Peixe, por causa do seu aspeto visual, é uma representação gráfica útil para identificar, explorar e indicar causas prováveis de problemas. As "espinhas" deste diagrama são constituídas por mão-de-obra, materiais, máquinas, meio ambiente, medidas e métodos (Imai, 2012; Lunau et al., 2008; Niebel & Freivalds, 2014; Pinto, 2010). Este diagrama pertence à classe de métodos de resolução de problemas cujo objetivo é perceber a causa raiz dos problemas (Ahoy, 2009; Lunau et al., 2008; Niebel & Freivalds, 2014).

Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é usado na fase da Medição do DMAIC, após todos os dados serem recolhidos (Lunau et al., 2008). De acordo com o autor deste diagrama, 80% das vendas provêm de 20% dos clientes, ou então 80% dos problemas são causados por 20% dos trabalhadores (Ahoy, 2009), ou ainda 20% dos itens classificados correspondem a 80% da atividade total, chamando-se a isto a regra 80-20 (Niebel & Freivalds, 2014).

5 Porquês

Nesta ferramenta é perguntado 'porquê' sucessivamente até se chegar à causa raiz do problema em estudo e a uma solução para a resolver, que costuma ser mais simples do que aparenta (Gangidi, 2019; Ohno, 1988; Pinto, 2008a; Suzuki, 2013). Dependendo da complexidade do problema poder-se-á perguntar porquê mais ou menos vezes do que cinco (Imai, 2012).

Diagrama de Esparguete

O diagrama de esparguete é usado para identificar movimentações durante os processos, seja transporte de algo sejam deslocações dos trabalhadores. A partir deste diagrama é possível melhorar o *layout* do chão de fábrica de forma a minimizar deslocações desnecessárias (Lunau et al., 2008).

3. Estudo dos postos de trabalho

Após a explicação do produto, e da envolvente do tema, é relevante compreender como as pás eólicas são produzidas e como está organizada uma empresa produtora de pás.

No Anexo B apresenta-se o *layout* geral da empresa que inclui os diferentes espaços da empresa, que de seguida serão também explicados.

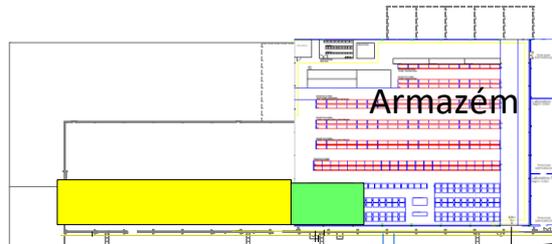


Figura 9 - *Layout*: Armazém Geral [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

No Armazém, apresentado na Figura 9, são guardados todos os EPI's (Equipamentos de Proteção Individual), e todos os outros materiais com a exceção das fibras de vidro e de carbono, sendo por isso o armazém geral da logística. Na zona a azul, encontram-se os laboratórios da Qualidade.



Figura 10 - *Layout*: Escritórios [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

Nos Escritórios, apresentados na Figura 10, estão as áreas da Direção, Financeira, Compras, Recursos Humanos, IT e Higiene, Segurança e Ambiente.



Figura 11 - *Layout*: Resíduos [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

A zona dos Resíduos, Figura 11, é onde se faz a separação e tratamento dos resíduos produzidos na fábrica para reciclagem.



Figura 12 - Layout: Moldes Inativos [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

A zona dos Moldes Inativos, apresentada na Figura 12, é onde são armazenados os moldes de projetos antigos.

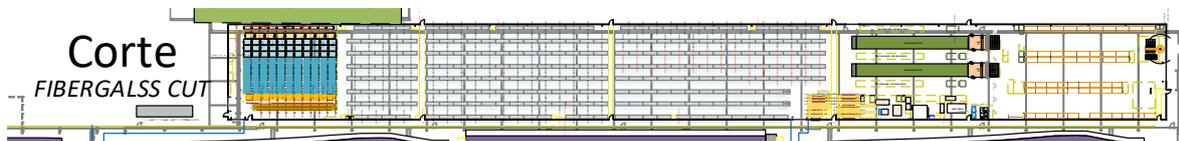


Figura 13 - Layout: Corte [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

No corte (Figura 13), são cortadas as fibras de vidro e de carbono, para toda a fábrica, e são armazenadas as fibras de vidro e de carbono quando chegam à fábrica (Figura 14).



Figura 14 - Arrumação das fibras quando chegam [Fonte: Marinho, 2021]

O Departamento de Engenharia faz os desenhos das fibras num programa de computador, sendo o programa utilizado similar ao da Figura 15 e posteriormente as máquinas de corte de fibra, similares à que se apresenta na Figura 16, mas com uma mesa maior, são programadas para cortar a fibra de acordo com o especificado nesses desenhos.

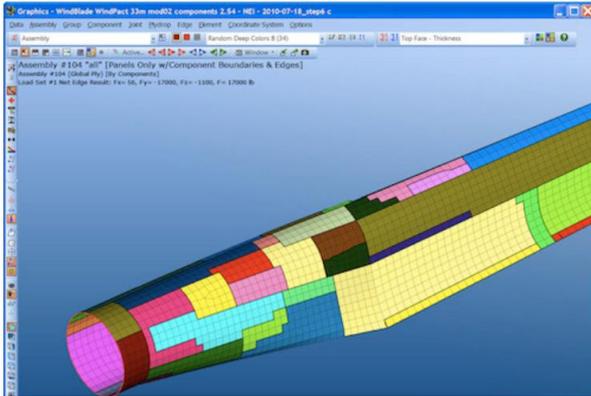


Figura 15 - Kits de fibra [Fonte: Marinho, 2021]



Figura 16 - Máquina de corte de fibras [Fonte: Máquina de corte com faca - Talon 25x™ - Eastman Machine Company - para materiais compósitos / para fibra de vidro / para têxteis, n.d.]

De seguida, a fibra cortada será enrolada em tubos pelos colaboradores, conforme apresentado na Figura 17.



Figura 17 - Colaboradores a enrolar a fibra cortada [Fonte: Marinho, 2021]

Uma vez enrolada, será organizada em racks, similares à da Figura 18, mas ajustadas à largura dos tubos de fibra. Estas fibras são organizadas de acordo com o modelo da pá e com o número da fibra, que se encontram também num código que será colado ao papel enrolado em torno do rolo de fibra. Por sua vez, as racks estão organizadas de forma que quando surja a necessidade de

abastecimento de fibras a BOM (*Bill of Materials*) possa seguir uma rota contínua, evitando passos desnecessários.



Figura 18 - Exemplo de rack [Fonte: (*Gravity Flow Racks* | *Best New Items*, n.d.)]

O edifício maior é o dos moldes, no Anexo B, onde podemos observar 7 espaços distintos, sendo que a representação das pás apresentadas a roxo, pertencem ao projeto SG145. Neste caso, e considerando somente essas imagens, a primeira representa a produção das *webs*, a seguinte das *shells* da pá, bem como a quarta, e a terceira representa as *caps*. No espaço entre os balneários e a zona de resíduos, serão ainda produzidas as *semi-roots*, que vão incorporar as *shells*.

É neste edifício que se inicia a produção das pás através da fabricação das *shells* e dos pré-fabricados referidos anteriormente. Esse processo pode ser explicado com base na Figura 19 que mostra o molde para a formação de uma *shell* assim como as diversas camadas de materiais que são colocadas pelos trabalhadores ao longo desse molde de modo a formar a mesma. Para facilitar a compreensão deste processo encontra-se, no Anexo C, um Glossário com imagens dos diferentes materiais e matérias primas utilizado e existe um vídeo ((20) *TPI Composites Blade Manufacturing Process* - *YouTube*, 2019) que apresenta um processo de produção de pás eólicas semelhante ao processo produtivo da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades, S.A..

Assim, primeiramente é colocado um gel para facilitar o futuro desmolde, depois é colocada *tacky tape* como representado na Figura 19, que serve como *sealant tape* assim como os perfis ômega e os suportes de vazamento. De seguida, os colaboradores colocam as fibras secas ao longo do molde assim como todos os consumíveis: *peelply*, folha desmoldante, *green mesh* e, por cima desta, outro perfil ômega, para que a resina se espalhe por todo o molde. Posto isto, é colocado o saco de vácuo, tal como se pode ver na Figura 20, que será preso com a *tacky tape* e serão colocados os conectores ligados aos tubos com aço em espiral, que transportará a resina através do molde, (ver Figura 21), por forma a chegar a toda a fibra de vidro seca, chamando-se este processo de infusão.

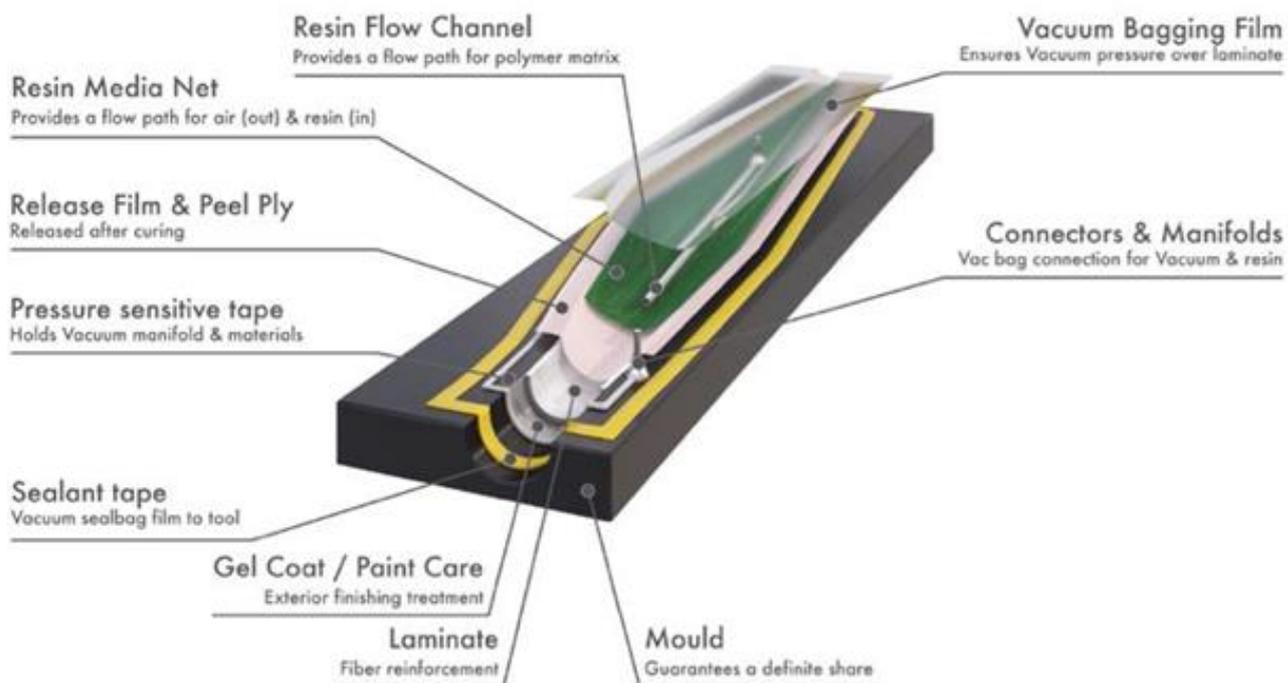


Figura 19 – Infusão [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]



Figura 20 - *Semi-root* com o saco de vácuo [Fonte: (Marinho, 2021)]

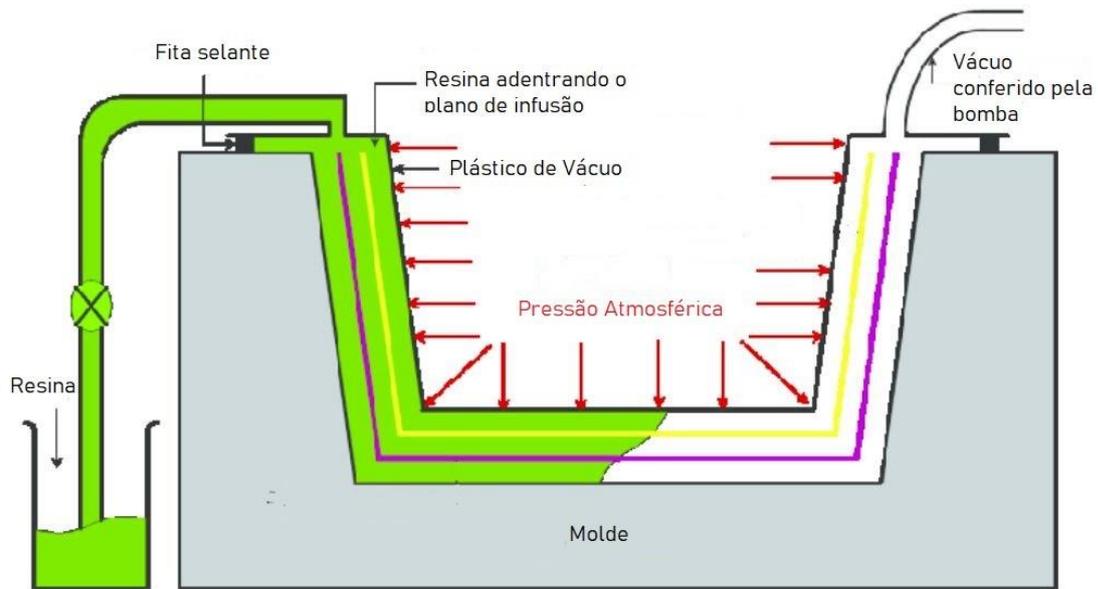


Figura 21 – Infusão [Fonte: (Marinho, 2021)]

Após a cura, ou seja, o período de repouso da *shell* que permite a solidificação das fibras, pode-se desmoldar as *webs*, as *caps* e as *semi-roots*, enquanto as *shells* terão de se manter no molde. O processo de junção realiza-se tal como está representado na Figura 22: em cada *shell* será colocada uma *cap*, e de seguida, numa das *shells* são colocadas as *webs*, e assim, as duas *shells* poderão ser unidas por forma a obter-se uma pá.

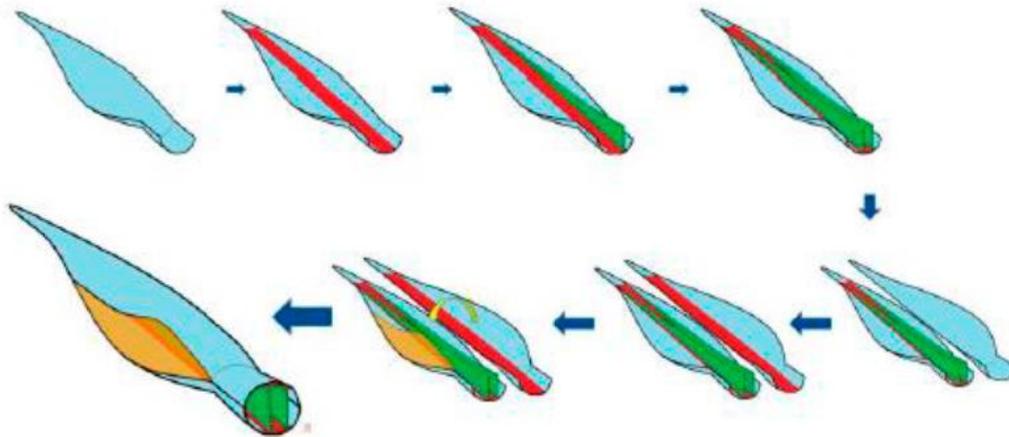


Figura 22 - Montagem da pá [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

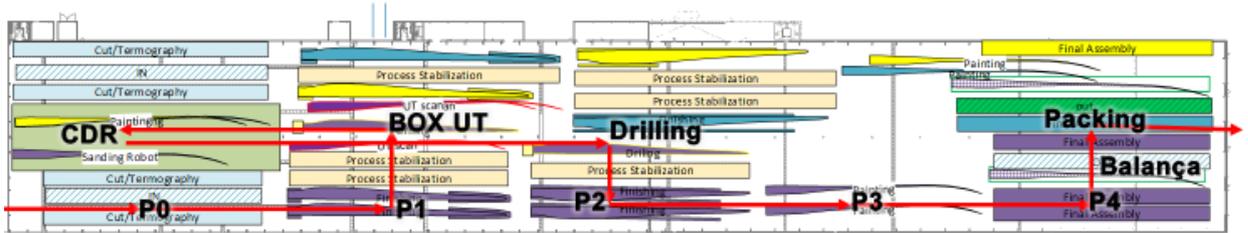


Figura 23 - Layout do edifício dos Acabamentos [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

Estando então a pá feita e colada, será movimentada com o auxílio de empilhadores para o edifício dos acabamentos. Como se consegue perceber a partir da Figura 23, existem 5 posições fundamentais: P0, P1, P2, P3 e P4, e 3 outras posições, para onde a pá será também movimentada: *CDR Machine*, que vai despolir a pá, a *Drilling Machine*, que fará a furação na *root* e a *Box UT*, onde são feitas inspeções de qualidade. Entre estas posições a pá é movimentada por pontes rolantes.

A primeira posição para qual a pá vai é a P0, onde as principais tarefas são corte e aparação das abas da pá retirando os excedentes que esta apresenta, e que são visíveis na Figura 24, assim como a preparação dos reforços internos e externos.



Figura 24 - Pá quando chega à P0

De seguida, também serão preparados os *Leading Edge* (LE) e *Trailing Edge* (TE), para que possam ser reforçados e será feita uma inspeção e posterior validação de qualidade. De seguida, é feita uma injeção de *plexus*, um enchimento, na *tip* (ponta da pá). Por fim, é feita uma nova inspeção e validação de qualidade. Dado que a pá poderá apresentar um *offset* (chanfro), como se

pode ver na Figura 25, este poderá ser corrigido com uma cola denominada de *SIKA*, ou então com fibras de vidro. No final de todas estas operações é feita a limpeza e arrumação do local.

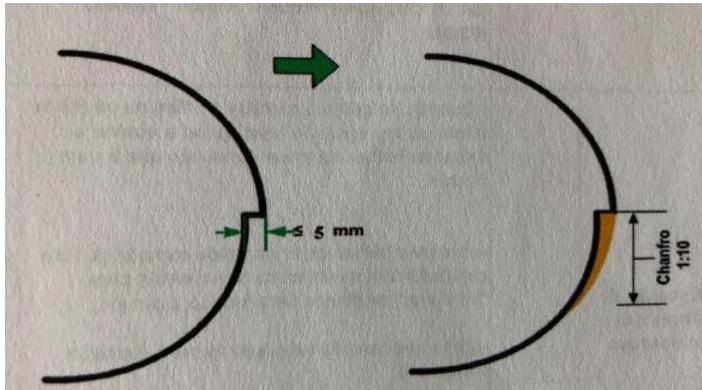


Figura 25 - Representação de um chanfro ou *offset* [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

De seguida, a pá é movimentada para a P1 (ver Figura 26), sendo que, nesta posição as principais tarefas são laminações dos reforços internos e externos dos dois lados da pá, bem como a aplicação de massas, (ver Figura 27), e verificação de *templates*, ou seja, é utilizado um molde que vai encaixar numa zona específica da pá para medir a espessura da massa, de forma a perceber se está conforme as especificidades (ver Figura 28). De notar que a laminação dos reforços é realizada com fibras e resina. Nesta posição é ainda feita a furação para os recetores elétricos na *Pressure Side*, para posterior aplicação do para-raios. No final de todas as operações é feita a limpeza e arrumação do local.



Figura 26 - Pá em P1



Figura 27 - Exemplo de aplicação de massas [Fonte: Marinho, 2021]



Figura 28 - *Template* de espessura

Posto isto, a pá é movimentada para a *Box UT*, onde será preparada para uma inspeção ultrassom, na posição que se vê na Figura 29. Nesta *Box* será feita a laminação dos pés das *webs*, será aplicada massa na *root* e será feita uma limpeza à pá. De seguida, a pá é movimentada até à *Machine Centre*, onde será despolida e assim ativada para as seguintes fases.

Posteriormente, a pá é movimentada para a P2, apresentada na Figura 30 onde serão aplicadas massas, e verificados os *templates* de espessura de ambos os lados. Será feita a preparação e a pintura da *Leading Edge Protection* e será aplicado o *foil*. Depois disso, a pá é colocada na *Drilling Machine*, (ver Figura 31), onde serão feitos os furos para colocar os parafusos de forma que a pá encaixe na *hub*.



Figura 29 - Pá na Box UT



Figura 30 - Pá em P2



Figura 31 - Pá na *Drilling Machine*

Já na P3, a pá é pintada (ver Figura 32), e os parafusos são montados, apresentando um aspeto semelhante ao da Figura 32. É feita uma limpeza à pá e também uma preparação e pintura das faixas de sinalização da pá e, por fim, são montadas as *dinoshells* (Figura 34), cujo objetivo é reduzir o ruído produzido pelas pás. No final das tarefas é feita uma limpeza e arrumação do local.



Figura 32 - Pá em P3



Figura 33 - Exemplo de uma pá a ser pintada [Fonte: (Marinho, 2021)]

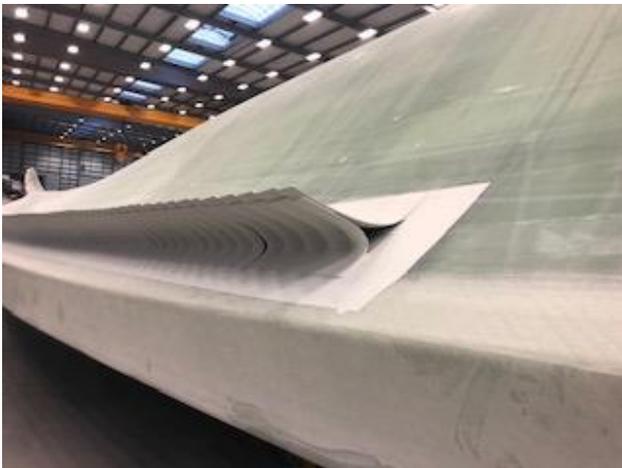


Figura 34 – *Dinoshells*

Por fim, na P4 (Figura 35), serão feitas novas pinturas, e a pesagem na balança (Figura 36) assim como a calibração da pá. Ao fazer a calibração da pá, será necessário fazer a cura da resina e uma repesagem. Os furos de calibração serão reparados e, por fim, pintados. Para concluir, será feita a colocação de etiquetas, montagem da capa e inspeção, fazendo o seu *packing* (Figura 37).



Figura 35 - Pá em P4



Figura 36 – Balança



Figura 37 - Pá em *packing*

De seguida, apresentam-se dados referentes aos tempos de 10 pás, recolhidos pelos supervisores, entre 1 de setembro e 2 de outubro de 2020 e registados num ficheiro de Excel (ver Figura 38). Os dados completos e detalhados encontram-se no Anexo D.

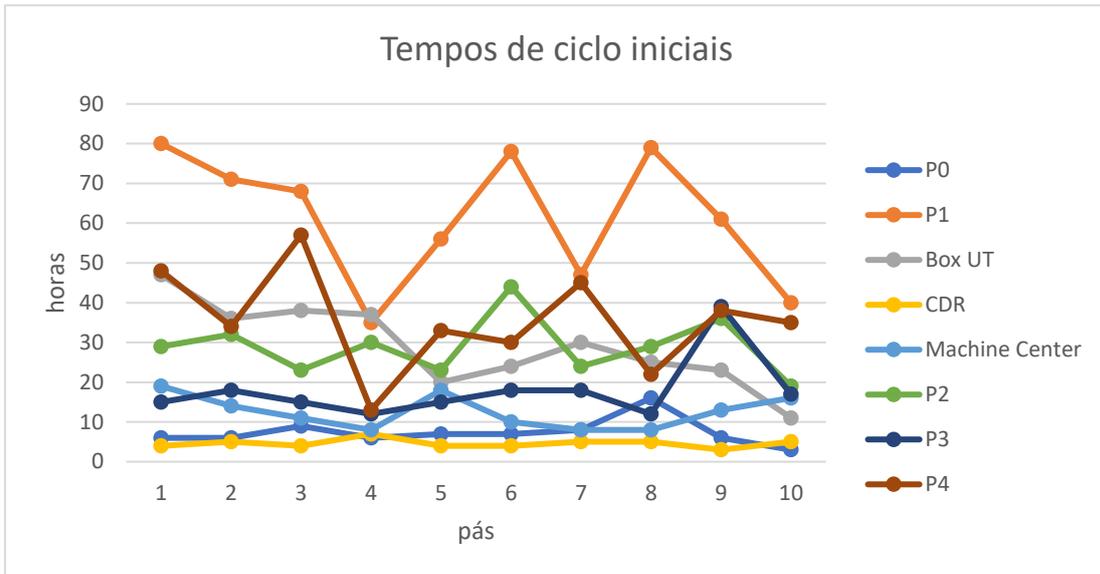


Figura 38 - Tempos de 10 pás [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

Após análise da Figura 38, é possível concluir que a P1 é a posição com o tempo de ciclo mais elevado. Sendo que as Posições 2 e 4 também apresentam um tempo de ciclo inconstante, uma vez que aquando da recolha desses tempos havia duas tarefas (aplicação do LEP e do *foil*) que não estavam alocadas apenas a uma posição. Posteriormente definiram-se que essas tarefas seriam apenas da P2, o que fez aumentar os tempos de ciclo da mesma.

3.1 Posição 1

Mais detalhadamente, na Figura 39 apresenta-se o esquema das tarefas da P1, retirado das Matrizes de Operações da P1 e confirmadas durante a observação de tarefas.

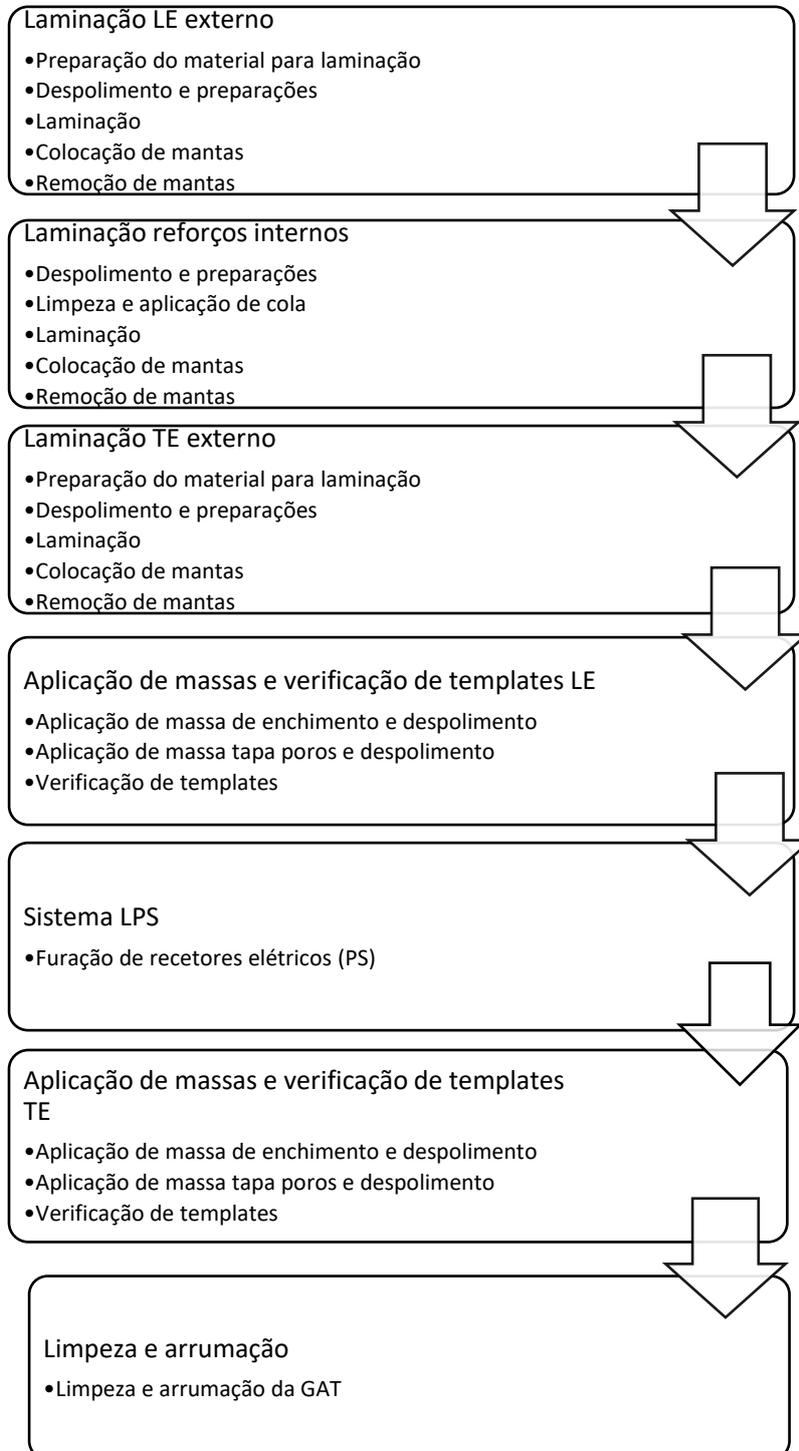


Figura 39 - Tarefas da P1 [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

Após a observação das tarefas, percebeu-se que as laminações e as preparações para as mesmas eram uma das tarefas mais importantes e críticas da posição. Nas observações, e comparando com a matriz de operações, reparou-se que a impregnação das fibras para a laminação deveria ser realizada na MIA - Máquina de Impregnação Automática - que se pode observar na Figura 40, no entanto, quando esta falha, a impregnação é realizada manualmente, com o auxílio de rolos de pintura. A impregnação é embeber a fibra em resina. A MIA raramente falha, sendo que, de acordo com os dados dos Supervisores, esta falha no máximo 3 vezes por mês, contudo os motivos desta falhar poderão ser simples, como uma fibra ficar presa num rolo de impregnação, que os trabalhadores conseguem resolver na hora, ou então o problema será de automação. Apesar de a MIA ser uma ferramenta útil em termos de ergonomia, facilitando o trabalho dos operadores e prevenindo lesões músculo-esqueléticas, existe ainda alguma resistência na sua utilização, por demorar mais tempo a impregnar a fibra do que manualmente, no entanto o seu uso é obrigatório e imposto pela direção.



Figura 40 - MIA (Máquina de Impregnação Automática)

Foram também realizadas gravações para posterior recolha de tempos, identificação de tarefas macro e micro, identificação das paragens existentes e dos tempos de espera. As gravações realizadas também permitiram analisar melhor a forma como as laminações estavam a decorrer tendo sido possível perceber que estas ocupam mais tempo do que o esperado, como suspeitado pela supervisão e direção dos Acabamentos.

Para melhor compreensão, de seguida apresenta-se, na Figura 41, a sequência de tarefas referentes à preparação da pá e de materiais para uma laminação e na Figura 42 a sequência de tarefas para a laminação de um dos exteriores, visto que são mais complexos do que os interiores.



Figura 41 - Preparação para laminação [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]



Figura 42 - Laminação [Fonte: Documentação Interna da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades]

Após o último passo da laminação, postas as mantas, a pá terá de curar, entre 2 e 4 horas. Apenas após este processo será possível despolir a e aplicar massas.

3.1.1. Gravações

Como foi referido anteriormente, foi decidido gravar as laminações do *Leading Edge* e do *Trailing Edge* externos, sendo que no caso deste último em duas fases. As gravações da laminação do *Leading Edge* e da primeira fase do *Trailing Edge*, foram feitas num turno, enquanto as gravações da laminação da segunda fase do *Trailing Edge* foram feitas noutra fase, somando cerca de 14 horas de gravações, sendo que apenas num dos turnos não houve nenhuma gravação. Estas gravações ocorreram uma vez para cada laminação, exceto para a segunda fase do *Trailing Edge*, em que existiram falhas na gravação e, por esse motivo, foi necessário voltar a gravar. Estas gravações foram realizadas na mesma semana contudo as laminações registadas não foram efetuadas na mesma pá, uma vez que a carga horária das tarefas impossibilita que uma pessoa só consiga gravar uma pá completa, bem como a memória da câmara de filmar. Nas laminações a fibra é impregnada com o auxílio da MIA e, posteriormente, estas fibras são colocadas na pá.

Analisando os vídeos, foi possível perceber e comprovar que a capacidade de largura máxima da MIA não estava a ser utilizada, que se realizavam diversos passos desnecessários e também que existiam tempos de espera pela fibra impregnada, visto que a velocidade da MIA era inferior.

Considerando os tempos retirados das gravações do *Leading Edge*, que se encontram na Tabela E.1 do Anexo E, é possível compreender que as tarefas que demoram mais tempo correspondem à preparação de fibras e de consumíveis, cujo tempo é superior a 1h e a impregnação de fibras na MIA, que dura cerca de 1h.

Na Tabela E.2 do Anexo E podemos também verificar as pausas e a sua duração, e conclui-se que a soma total das esperas por fibra é de cerca de 30 min.

Na primeira fase do *Trailing Edge*, presentes na Tabela F.1 no Anexo F, as tarefas que mais demoraram foram, tal como anteriormente, a preparação de fibras e de consumíveis, mas não a fase de impregnação. Fazendo a análise dos tempos de espera, presentes na Tabela F.2 do Anexo F, é possível de perceber que demoraram cerca de 30 min no lanche e 10min a preparar EPI's, sendo os tempos de espera por fibras muito reduzido.

Por fim, das gravações da segunda fase do *Trailing Edge*, cujos resultados se encontram na Tabela G.1 do Anexo G, é possível observar novamente uma duração elevada na preparação de fibras consumíveis (mais de 1h) e também na impregnação de fibras na MIA, sendo quase 2h. Já na Tabela G.2 do Anexo G, relativo às pausas neste fase, percebe-se que em paragens da MIA foram usados cerca de 15 min e as esperas por fibra perfizeram mais de 1h.

Tabela 4 - Comparação entre os tempos da Matriz de Operações e os tempos registados nas gravações

<i>Tarefa</i>	<i>Matriz</i>	<i>Gravações</i>
<i>Preparação dos materiais LE</i>	30min	3h04min
<i>Laminações LE</i>	2h30min	1h46min
<i>Preparação dos materiais TE</i>	1h	2h07min
<i>Laminação TE</i>	2h30min	2h17min

Com a comparação presente na Tabela 4 verifica-se que, aparentemente, as laminações estariam dentro do tempo, no entanto o tempo máximo recomendado para realizar esta tarefa é de 90 minutos, para não comprometer a qualidade das fibras. De notar que na matriz de operações

está um tempo superior, visto que não é possível realizar esta tarefa em menor tempo e com uma ergonomia correta por parte dos colaboradores, sendo que estes tempos são definidos pelo Departamento de Engenharia.

3.1.2. Soluções propostas

À medida que as tarefas foram observadas e acompanhadas, três possíveis soluções surgiram. A primeira, seria o corte anterior de fibras e consumíveis, uma vez que sempre que se ia realizar uma laminação, um ou dois colaboradores iam realizar este corte e só depois se realizavam efetivamente as laminações. Dessa forma, e sendo esta tarefa realizada anteriormente, os operadores poderiam realizar logo a laminação. A segunda solução proposta foi a reorganização das fibras a impregnar na MIA, porque mais uma vez, através da observação desta tarefa, foi deduzido que a capacidade máxima desta máquina não estava a ser aproveitada, e seria proveitoso utilizá-la. A terceira solução proposta foi a padronização de tarefas, uma vez que os turnos repetiam as tarefas diariamente ou quase diariamente, o que leva ao seu desgaste físico. Assim, o melhor seria dividi-las, de acordo com a sua carga física e horária. Estas soluções serão explicadas de seguida.

Corte anterior de fibras e consumíveis:

Para o longo tempo de preparação de fibras e consumíveis, a solução proposta é passar esta tarefa para outra equipa, sem a necessidade de contratar ninguém e utilizando colaboradores que estejam condicionados, ou seja, com alguma limitação física que não os permita realizar as tarefas normais, mas que possam realizar esta tarefa. O objetivo é ter uma pessoa por turno sempre a cortar consumíveis, para garantir o stock para a P1. Para isto, foram também estudadas as medidas necessárias para cortar, tendo em conta as medidas da maior fibra impregnada e do que costuma ser cortado pelas equipas.

Reorganização da entrada das fibras na MIA + nova mia:

Em relação à MIA, uma das soluções propostas passaria pela construção de uma nova MIA, com maior capacidade de largura e maior velocidade, ideia que se encontra a ser estudada pela equipa da Automação, e que cujos valores aumentam as suas vantagens, uma vez que a impregnação poderá ser mais rápida do que manualmente. Uma outra solução passaria pela reorganização da entrada de fibras na MIA e, para analisar essa possibilidade, recorreu-se ao Excel, que será explicado de seguida para o *Leading Edge*, no entanto as tabelas para o *Trailing Edge* e para os interiores encontram-se nos anexos I, J e K.

Todas as fibras têm comprimento e largura definidos, e também uma ordem de aplicação na pá. Assim, foi possível definir uma ordem de entrada de acordo com a saída desejada, e também combinando diferentes fibras tendo em conta as suas larguras e a largura máxima da MIA, bem como a margem de erro (25mm), porque é a largura que as fibras podem variar devido ao corte, e margem de segurança (20mm), que é o espaço que deve existir entre cada rolo, para que todos sejam impregnados corretamente.

Tabela 5 - Esquematização e cálculo das fibras do LE a entrar e sair da MIA

FIBRAS\INÍCIO	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	31275
LEETR_1_2	205	31275
LEETR_2_1	225	31350
LEERR_1	205	2520
LEERR_2	225	3520
TOTAL LARGURA:	1145	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 2520MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	28755
LEETR_1_2	205	28755
LEETR_2_1	225	28830
LEERR_2	225	3520
LEERR_3	245	4520
TOTAL LARGURA:	1185	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 6040MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	25235
LEETR_1_2	205	25235
LEETR_2_1	225	25310
LEERR_3	245	1000
LEERR_4	265	5520
TOTAL LARGURA:	1225	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 7040MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	24235
LEETR_1_2	205	24235
LEETR_2_1	225	24310
LEERR_4	265	4520
LEERR_5	285	6520
TOTAL LARGURA:	1265	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 11560MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	19715
LEETR_1_2	205	19715
LEETR_2_1	225	19790
LEERR_5	285	2000
LEERR_6	305	7520
TOTAL LARGURA:	1305	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 13560MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	17715

LEETR_1_2	205	17715
LEETR_2_1	225	17790
LEERR_6	305	5520
LEETR_1_B	235	3100
TOTAL LARGURA:	1255	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 16660MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	14615
LEETR_1_2	205	14615
LEETR_2_1	225	14690
LEERR_6	305	2420
LEETR_1_D	235	3100
TOTAL LARGURA:	1255	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 19080MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	12195
LEETR_1_2	205	12195
LEETR_2_1	225	12270
LEETR_1_D	235	680
LEERR_7	325	8020
TOTAL LARGURA:	1275	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 31275MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	11515
LEETR_1_2	205	11515
LEETR_2_1	225	11590
LEERR_7	325	7340
TOTAL LARGURA:	1020	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 38615MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_1_1	205	4175
LEETR_1_2	205	4175
LEETR_2_1	225	4250
LEERR_8	345	8520
LEETR_2_2	225	31350
TOTAL LARGURA:	1285	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 42790MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_2_1	225	75
LEERR_8	345	4345
LEETR_2_2	225	27175
LEETR_3_1	245	31425
TOTAL LARGURA:	1100	

COMPRIMENTO PERCORRIDO: 42865MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEERR_8	345	4270
LEETR_2_2	225	22830
LEETR_3_1	245	31350
LEETR_3_2	245	31425
TOTAL LARGURA:	1120	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 47135MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_2_2	225	18560
LEETR_3_1	245	8520
LEETR_3_2	245	27155
TOTAL LARGURA:	755	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 55655MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_2_2	225	10040
LEETR_3_2	245	18635
TOTAL LARGURA:	490	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 65695MM	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEETR_3_2	245	18635
TOTAL LARGURA:	245	
	Tempo demorado:	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 84330MM	2023,92s	33,73min

Na primeira tabela construída (Tabela 5) encontra-se o nome de cada fibra na primeira coluna, na segunda a largura da mesma com a adição da margem de segurança e na terceira coluna o comprimento de cada fibra na primeira vez em que é colocada, ou então o comprimento que falta laminar quando se acrescenta ou acaba uma fibra. A linha representada a verde, assinala a fibra que possui um comprimento menor, e é a que irá sair de seguida. Adicionalmente, para confirmar que a largura não excede a largura da MIA (1300mm) todas as larguras são somadas e apresentadas nas linhas em que se pode ler "Total Largura". Para além disto, o comprimento percorrido traduz o comprimento que a MIA fez as fibras percorrer.

Tabela 6 - Ordem de saída e respetivos tempos para as fibras do LE

<i>Ordem de saída</i>	<i>Fim (min)</i>	<i>Ordem de saída</i>	<i>Fim (min)</i>
LEERR_1	1,01	LEERR_7	15,45
LEERR_2	2,42	LEETR_1_1	17,12
LEERR_3	2,82	LEETR_1_2	17,12
LEERR_4	4,62	LEETR_2_1	17,15
LEERR_5	5,42	LEERR_8	18,85
LEETR_1_B	6,66	LEETR_3_1	22,26
LEERR_6	7,63	LEETR_2_2	26,28
LEETR_1_D	12,51	LEETR_3_2	33,73

Assim, e tendo uma ordem de saída para cada fibra é possível determinar o instante em que cada fibra sai da MIA, tendo em conta a sua velocidade e o comprimento da fibra (ver Tabela 6).

Tabela 7 - Cálculo do tempo demorado a impregnar as fibras no LE

<i>Camada</i>	<i>Raio fina (mm)</i>	<i>Raio final (m)</i>	<i>Passos</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo a laminar (s*2 + 5) (s)</i>	<i>Tempo a laminar (S*2+5) (min)</i>	<i>Tempo total de laminação (min)</i>
LEERR_1	4000	4,00	5	3	11,30	0,19	1,20
LEERR_2	5000	5,00	7	4	12,87	0,21	2,63
LEERR_3	6000	6,00	8	5	14,45	0,24	3,06
LEERR_4	7000	7,00	9	6	16,02	0,27	4,89
LEERR_5	8000	8,00	10	6	17,60	0,29	5,72
LEERR_6	9000	9,00	12	7	19,17	0,32	7,95
LEERR_7	9500	9,50	12	7	19,96	0,33	15,78
LEERR_8	10000	10,00	13	8	20,75	0,35	19,20
LEETR_1_1	40675	40,68	53	32	69,06	1,15	20,35
LEETR_1_2	71950	71,95	94	57	118,31	1,97	22,32
LEETR_1_B	48850	48,85	64	38	81,93	1,37	23,69
LEETR_1_D	59050	59,05	77	46	97,99	1,63	25,32
LEETR_2_1	40650	40,65	53	32	69,02	1,15	26,47
LEETR_2_2	72000	72,00	94	57	118,39	1,97	28,44
LEETR_3_1	40625	40,63	53	32	68,98	1,15	29,59
LEETR_3_2	72050	72,05	95	57	118,46	1,97	35,71

Com isto, foi criada outra tabela (ver Tabela 7), em que considerando o raio final m metros, e que em média o passo de uma pessoa tem o comprimento de 0,762m (*Steps to Meters | Kyle's Converter*, n.d.), determinou-se o número de passos de um trabalhador. Considerando que em média uma pessoa demora 0.6s a dar um passo, de acordo com os seguintes cálculos:

Tendo em conta que uma pessoa entre os 30 e os 49 anos tem uma velocidade de 4.54km/h (*What your walking speed says about your health (and how long you'll live!) - The Pacer Blog: Walking, Health and Fitness*, n.d.),

$$4.54 \text{ km/h} = 4540 \text{ m/h} = 5958 \text{ passos/h} = 99 \text{ passos/min} = 1.66 \text{ passos/s}$$

$$1 \text{ passo} = 0.60\text{s}$$

Assim, calculou-se o tempo em segundos, que a pessoa demoraria a caminhar até ao raio final da pá, em passo normal (coluna Tempo (s)). No entanto, numa laminação, após observação, verificou-se que os colaboradores dão um passo para a frente e meio para trás, para confirmar que a fibra fica fixa à pá, sendo por isso duplicado o tempo que demorariam (coluna Tempo a laminar (s*2 + 5) (s)), e acrescentados 5s para prevenir eventuais atrasos, como falhas na MIA. Desta forma foi possível estimar o tempo, em minutos, que a pessoa demora a laminar a fibra na pá (coluna Tempo a laminar (s*2 + 5) (min)), e também o instante de conclusão da de laminação de cada

fibra, assim como a conclusão do processo de laminação (coluna Tempo total de Laminação), tendo em conta o tempo que a MIA demora a impregnar e o tempo que os colaboradores demoram a laminar a fibra na pá.

Padronização de tarefas:

Para combater a fadiga dos colaboradores decidiu-se elaborar um esquema de divisão de tarefas, de acordo com a sua carga física e horária. A Figura 43 e a Tabela 8 representam o mesmo processo, sendo que em ambos cada cor representa um dia, e as letras "a, b, c" representam os turnos, sem identificar nenhum especificamente. No Anexo L também se encontra um possível horário standard de duas semanas, podendo este ser iniciado na semana X (SX) ou na semana Y (SY), e seguindo alternando a partir daí.

Tabela 8 - Representação de tarefas e turnos

Tarefa\pá		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Laminar LE + montar mantas	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a
	Laminar interiores + montar mantas	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a
2	Laminar TE + montar mantas	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b
	Aplicar massas LE	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b
3	Aplicar massas TE	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c
	Laminar pés das webs	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c	b	a	c

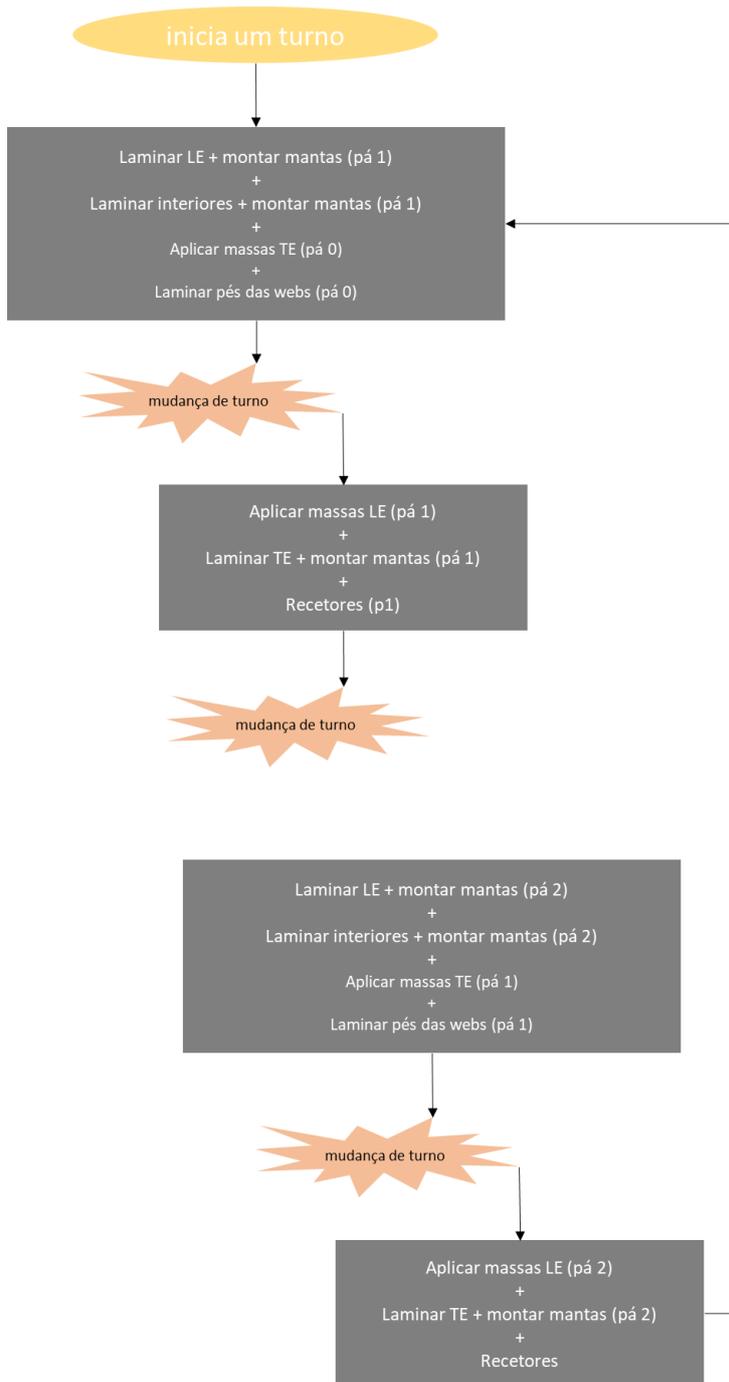


Figura 43 - Standard de P1

Exemplificando, num dia de trabalho, em que inicia o turno a, de seguida o b e terminando com o c, seria possível trabalhar numa pá e em algumas tarefas de outra. Se considerarmos, por exemplo, as pás 2 e 3, percebemos que o grupo de tarefas 1 foi realizado no dia anterior pelo turno c, e que para aquela pá apenas sobravam o grupo de tarefas 2 e 3 que foram realizadas pelos turnos b e c, respetivamente. No entanto, ainda seria possível trabalhar na pá 3, sendo que o turno b, para além das tarefas na pá 2, seria capaz de realizar o grupo de tarefas 1 na pá 3. O turno c, iria apenas trabalhar na pá 3, realizando o grupo de tarefas 2. Note-se que cada turno deverá sempre começar pelas laminações e então depois passar às restantes tarefas, uma vez que as laminações são as

tarefas mais exigentes em termos físicos. Este fator foi tido em conta, bem como os tempos previstos para cada tarefa, curas, pausas e limpezas.

Com isto, é possível tornar o trabalho mais rotineiro, e diferente em dias alternados. Desta forma será possível produzir pelo menos 6 pás o que corresponde ao objetivo atual da empresa, mas que se espera que irá aumentar a breve prazo.

3.2. Posição 2

Nesta posição, foi necessário analisar especificamente as tarefas de aplicação de *leading edge protection* e de aplicação de *foil*, uma espécie de autocolante protetor. Estas tarefas são as responsáveis pelo aumento de tempo de ciclo, uma vez que possuem diversos retrabalhos (cerca de 8 retrabalhos no lep e de 2 retrabalhos no foil em todas as pás, de acordo com os registos dos Supervisores). De seguida, apresenta-se um gráfico (ver Figura 44), com tempos recolhidos entre 9 de março e 23 de março de 2021 tendo-se verificado que a média de tempo na P2 é de 34h, sendo que o objetivo seriam as 24h.



Figura 44 - Tempo de ciclo da P2

As duas tarefas acima mencionadas são realizadas no *Leading Edge*, de forma a protegê-lo. A pintura LEP (*Leading Edge Protection*) inicia-se com o despolir da superfície para posteriormente ser aplicado o LEP, seguindo-se, então, o processo de cura. Este processo repete-se três vezes, sendo que a distância pintada aumenta, para diminuir a possibilidade de ficar um degrau de tinta, o que acontece quando se pintam várias camadas numa zona da pá, e não em toda, acabando por criar um relevo. Quando isto está feito, a superfície volta a ser despolida, faz-se uma inspeção de qualidade e poderá então ser aplicado o *foil*. Este é como um autocolante transparente que, quando aplicado não pode ter bolhas de ar nem resíduos, nem qualquer outra marca.

Aquando da primeira observação da pintura do LEP estavam 3 colaboradores a realizar a tarefa, tal como referido na Matriz de Operações, no entanto um destes operadores passou a maior parte do tempo sem realizar nenhuma micro tarefa, sendo que a sua única função era mexer a massa, para que outro colaborador a aplicasse e o seguinte a espalhasse e reduzisse o degrau de

LEP. Sendo que, enquanto este mexia a massa, o primeiro colaborador parava a tarefa que estava a realizar à espera da massa que estava a ser mexida.

3.2.1. Soluções

Verificou-se que na aplicação de LEP, duas pessoas são suficientes: o primeiro trabalhador vai à frente e faz a aplicação do LEP e o segundo operador faz a mistura, retira uma fita cola de papel que serve de marcador e consegue ainda suavizar o degrau de LEP. Esta distribuição foi testada e o tempo demorado foi de 1 hora, tal como previsto pela Matriz de Operações. Deste modo, foi possível libertar o terceiro trabalhador que estava alocado à P2, podendo mesmo agora realizar outras tarefas.

Adicionalmente, de forma a compreender os passos que um dos operadores dava quando ia buscar mais LEP, ainda antes da melhoria, foi elaborado um diagrama de esparguete, representado na Figura 45.

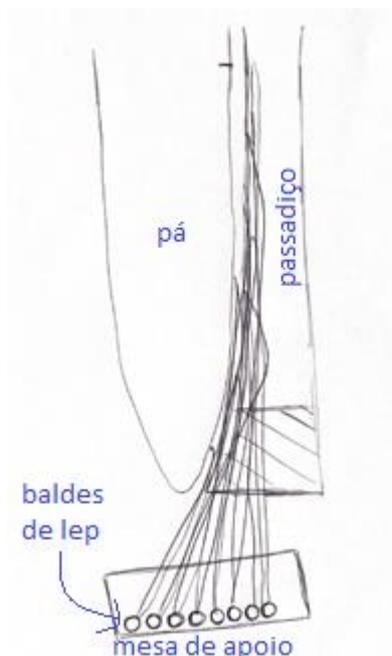


Figura 45 - Diagrama de Esparguete da situação anterior à melhoria

Para reduzir as deslocações, foram colocados 3 suportes de apoio ao longo do passadiço, e assim, os dois trabalhadores levam os 8 baldes, distribuindo-os pelos suportes (Figura 47 e Figura 48) de modo a aproximá-los do local de aplicação, quando se deslocam para a zona de início. Esta melhoria está representada no diagrama de esparguete da Figura 46.

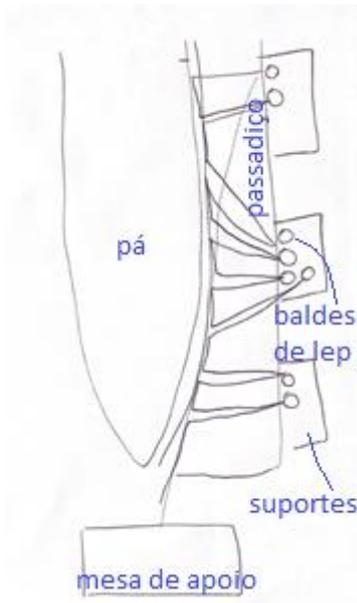


Figura 46 - Diagrama de Esparguete da situação melhorada



Figura 47 - Suporte no passadiço



Figura 48 - Suporte com baldes de lep e acelerador

Posteriormente, foram identificados os defeitos mais comuns tanto no LEP como no *foil*, em conjunto com os colaboradores e supervisores, e de seguida foi aplicada a ferramenta dos 5 Porquês, aos vários defeitos identificados, da forma representada nas figuras seguintes (Figuras 49 a 55):

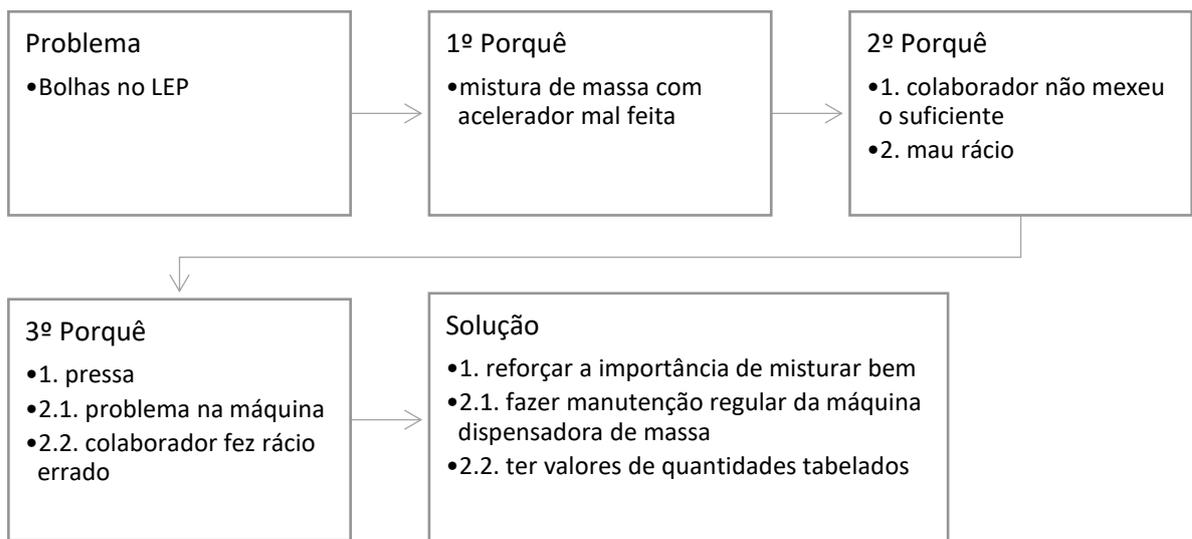


Figura 49 - 5 Porquês: Bolhas no LEP

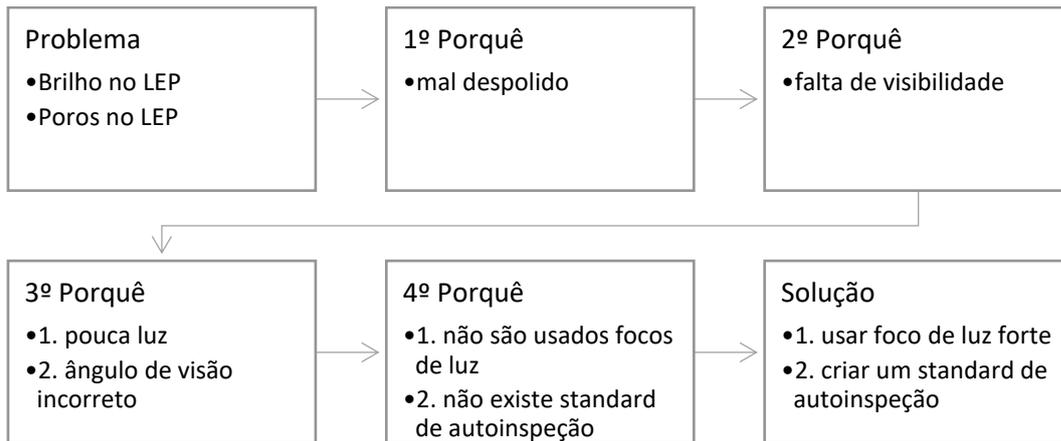


Figura 50 - 5 Porquês: Brilho e Poros no LEP

Na Figura 50 foram agrupados dois problemas, uma vez que os porquês de estes acontecerem e as soluções são as mesmas.

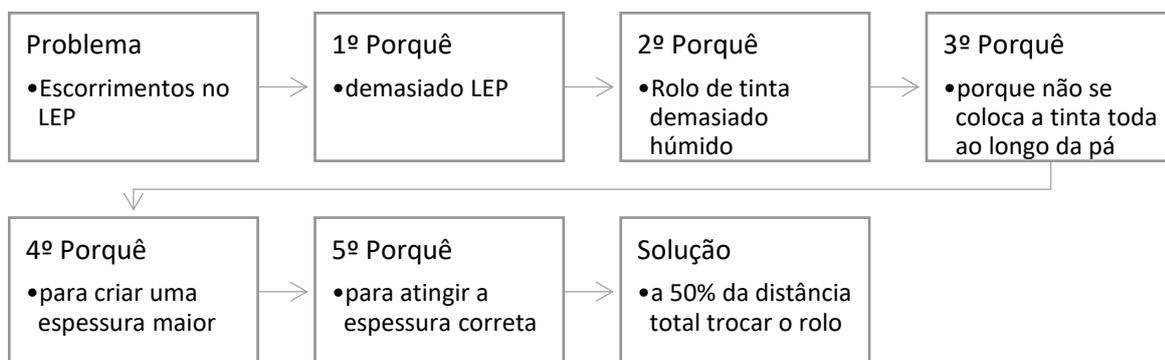


Figura 51 - 5 Porquês: Escorrimentos no LEP

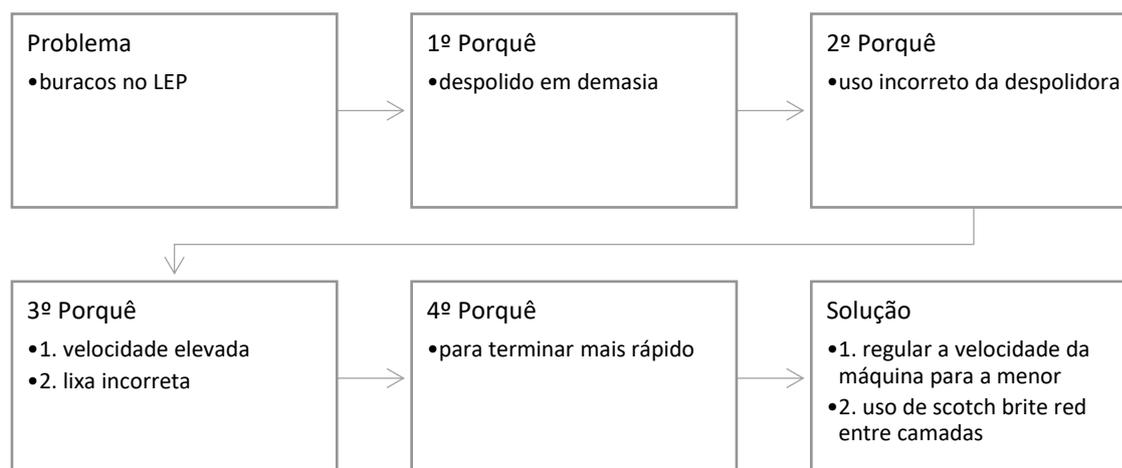


Figura 52 - 5 Porquês: Buracos no LEP

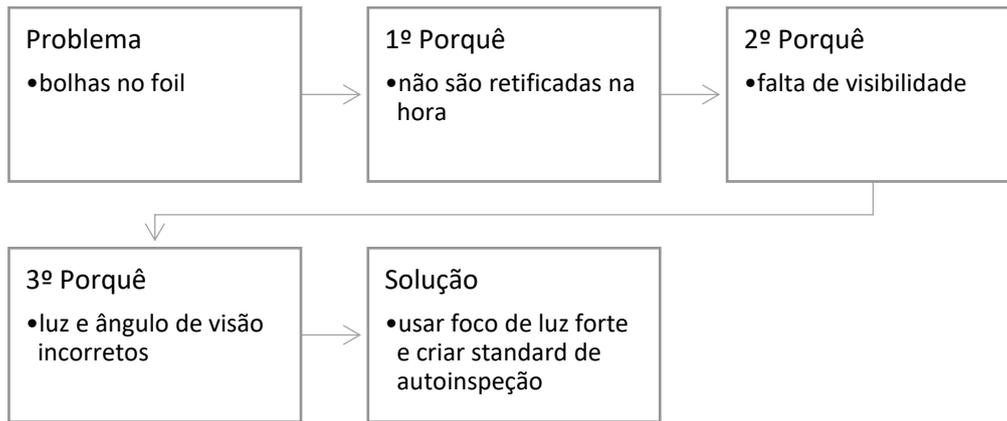


Figura 53 - 5 Porquês: Bolhas no foil

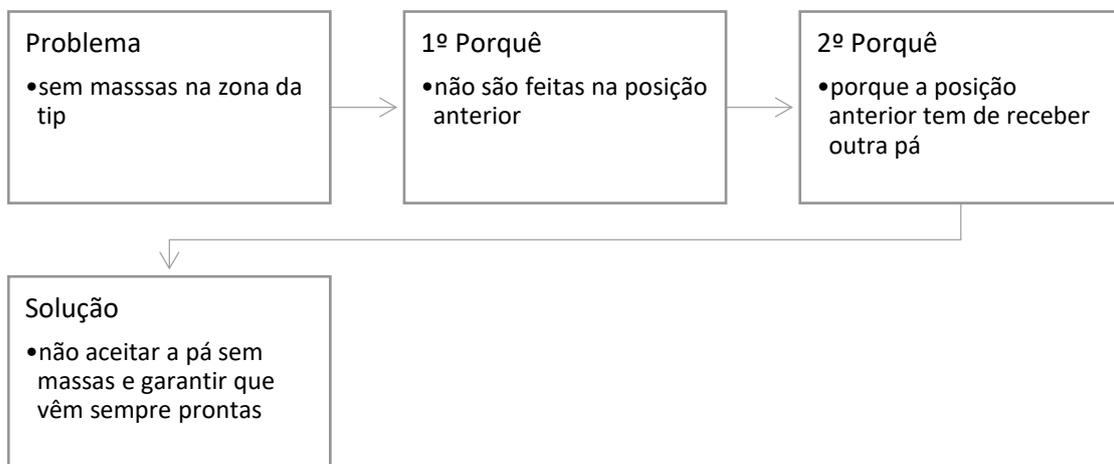


Figura 54 - 5 Porquês: sem massas

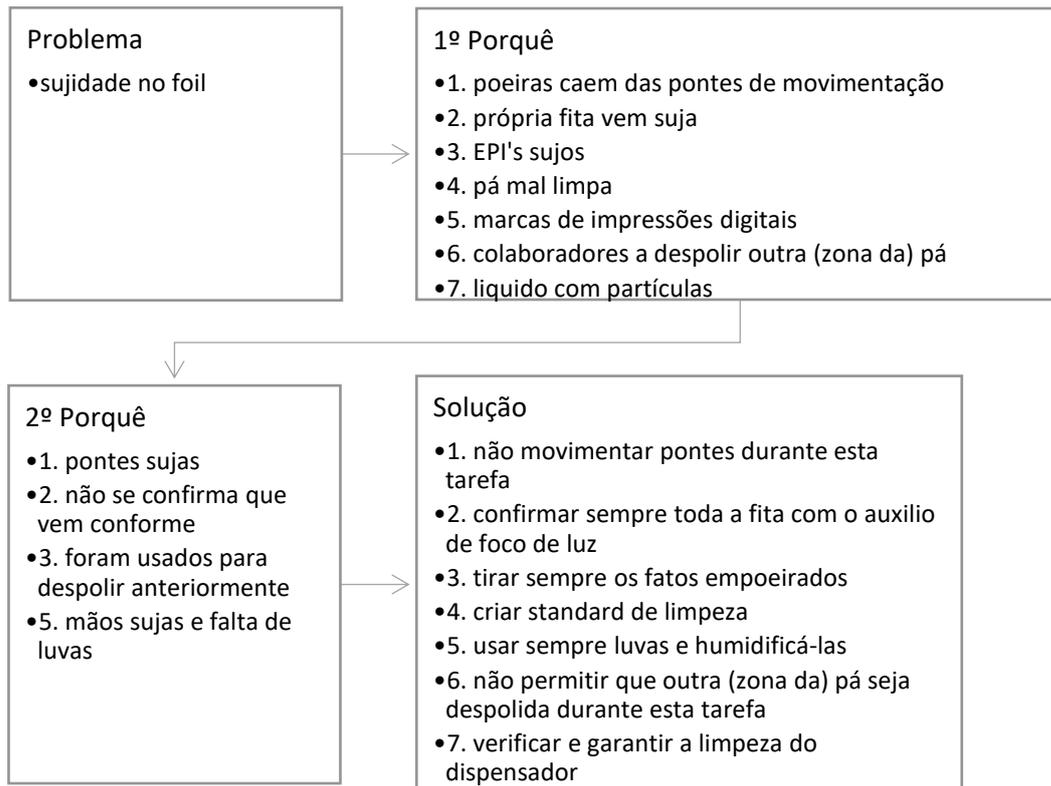


Figura 55 - 5 Porquês: Sujidade no foil

Com base nesta análise, foi sugerido que se adquirissem pelo menos 2 focos de cabeça por equipa, de forma a reduzir estes problemas, bem como foram esclarecidas as regras de inspeção da qualidade, de forma que os colaboradores consigam preparar melhor as suas tarefas. As restantes soluções também foram discutidas com os Supervisores e passadas aos operadores, para que as implementassem e melhorassem o seu trabalho.

3.3. 5S's no escritório dos Supervisores

Algo que é valorizado na Siemens Gamesa Renewable Energy Blades é a organização e limpeza, nomeadamente os 5S's. De forma a dar o exemplo aos operadores, o escritório dos Supervisores foi também alvo da aplicação da ferramenta 5S's. Na Figura 56 pode-se observar como se encontrava o escritório antes da aplicação dos 5S's.



Figura 56 - O antes do escritório

Inicialmente foi feita uma triagem dos objetos que estavam no escritório por forma a verificar quais seriam necessários e quais não seriam necessários (primeiro S). Para proceder a essa triagem todos os materiais e objetos foram retirados e encaminhados para o local indicado, fora do escritório. De seguida, os objetos foram organizados por tipologia (segundo S), e foram limpos e colocados no sítio certo (terceiro S), tal como se pode observar na Figura 57.



Figura 57 - O depois do escritório

De forma a normalizar esta organização, foram colocadas etiquetas, para que todos os objetos tivessem um sítio e assim qualquer pessoa que precise de algo, saberá onde encontrar o que precisa e posteriormente arrumar (quarto S). O quinto S é manter a disciplina e os bons hábitos, que levam tempo a adquirir, e por esse motivo terão de ser controlados pelo Coordenador dos Supervisores, que fará auditorias ao espaço.

4. Considerações finais

O recurso a energia eólica tem vindo a aumentar a um nível global. As suas vantagens são diversas, sendo que a redução do efeito dos gases de estufa é uma das principais. Por outro lado, uma das dificuldades é o facto de o tempo de produção das torres eólicas ser elevado, porém é possível reduzi-lo através da implementação de melhorias.

A implementação de melhorias nos processos produtivos devem ser feitas com regularidade. Com isto, poderá reduzir-se tempos de ciclo, custos e até materiais consumíveis. Os processos produtivos devem ser analisados regularmente para se perceber se estão a ser eficazes e eficientes.

Para suportar estas melhorias podem ser usadas diversas ferramentas na área de gestão de operações e lean, sendo que estas visam a redução de qualquer tipo de desperdício e a análise a vários níveis de qualquer tarefa ou processo.

No estudo realizado foram analisados com detalhe dois postos de trabalho do setor de acabamentos de uma linha de produção de pás eólicas. Na Posição 1, as tarefas eram mais difíceis e demoradas e, por isso, fazer mudanças nesta posição era fundamental. Na Posição 2, as causas dos defeitos encontrados estavam interligadas entre si, o que facilita a sua resolução uma vez que, resolvendo uma causa, se poderão resolver vários defeitos.

Por fim, a aplicação da ferramenta 5S's no escritório dos Supervisores tornou-se importante, não só para ajudar a que estes tenham um espaço organizado para trabalhar, mas também porque assim os trabalhadores terão um exemplo positivo para seguir.

A principal limitação deste projeto foi o facto de o processo produtivo de pás eólicas ser pouco comum, e diferente de todos os exemplos que são dados ao longo da formação académica. Como o produto possui uma dimensão elevada é difícil comparar o processo com o de outras indústrias, como a automóvel. O tempo produtivo é também maior do que o esperado noutro tipo de produto, tornando a recolha de tempos uma tarefa mais trabalhosa.

A resistência à mudança por parte de alguns trabalhadores foi outra limitação, uma vez que nem todos conseguiam ver as vantagens que as mudanças a implementar poderiam trazer.

Em termos de trabalho futuro é de notar que as melhorias e alterações propostas não foram completamente implementadas e, por esse motivo, é esperado que o sejam. Para além disso, seria importante reforçar aos trabalhadores a importância de tentar identificar pequenas ou grandes melhorias nos seus postos de trabalho, uma vez que estes são quem mais irá beneficiar das mesmas.

Referências

- (20) *TPI Composites Blade Manufacturing Process - YouTube*. (2019, June 6). TPI Composites. <https://www.youtube.com/watch?v=jpRudTUIyFM>
- Ahoy, C. K. (2009). *Customer-Driven Operations Management*.
- Akbar, A., & Liew, K. M. (2020). Assessing recycling potential of carbon fiber reinforced plastic waste in production of eco-efficient cement-based materials. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 274). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123001>
- Asplund, R. W. (2008). *Profiting from Clean Energy*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Associação de Energias Renováveis. (n.d.). *APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis*. Retrieved February 5, 2021, from <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- Bartczak, A., Budziński, W., & Gołębiowska, B. (2021). Impact of beliefs about negative effects of wind turbines on preference heterogeneity and valuation regarding renewable energy development in Poland. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 169). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105530>
- Brown, L. R., Larsen, J., Roney, J. M., & Adams, E. E. (2015). *The Great Transition*.
- Byon, E., Ntamo, L., Singh, C., & Ding, Y. (2013). *Wind Energy Facility Reliability and Maintenance* (pp. 639–672). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41080-2_19
- Carvalho, W. C. de, Bataglioli, R. P., Fernandes, R. A. S., & Coury, D. V. (2020). Fuzzy-based approach for power smoothing of a full-converter wind turbine generator using a supercapacitor energy storage. *Electric Power Systems Research*, 184(March), 106287. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106287>
- Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. (n.d.). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) - BCSD Portugal*. Retrieved March 15, 2021, from <https://www.ods.pt/>
- Deshmukh, S., Bhattacharya, S., Jain, A., & Paul, A. R. (2019). Wind turbine noise and its mitigation techniques: A review. *Energy Procedia*, 160(2018), 633–640. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.215>
- El Bassam, N., Maegaard, P., & Schlichting, M. L. (2013). *Distributed renewable energies for off-grid communities strategies and technologies toward achieving sustainability in energy generation and supply*. http://sfx.ethz.ch/sfx_locator?sid=ALEPH:EBI01&genre=book&isbn=978-0-12-397178-4
- European Wind Energy Association. (2012). *Wind Energy - The Facts*. In *Wind Energy - The Facts*. <https://doi.org/10.4324/9781849773782>
- Gangidi, P. (2019). A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(1), 295–310. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2017-0114>
- Gibbons, P. M., Kennedy, C., Burgess, S. C., & Godfrey, P. (2012). The development of a lean resource mapping framework: Introducing an 8th waste. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(1), 4–27. <https://doi.org/10.1108/20401461211223704>
- Gravity Flow Racks | Best New Items*. (n.d.). Retrieved May 31, 2021, from <https://bestnewitems.wordpress.com/tag/gravity-flow-racks/>
- Hao, S., Kuah, A. T. H., Rudd, C. D., Wong, K. H., Lai, N. Y. G., Mao, J., & Liu, X. (2020). A circular economy approach to green energy: Wind turbine, waste, and material recovery. In *Science of the Total Environment* (Vol. 702). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135054>

- Huesca-Pérez, M. E., Sheinbaum-Pardo, C., & Köppel, J. (2016). Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region - The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 58, pp. 952–965). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.310>
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen* (2nd ed.).
- Kalkanis, K., Psomopoulos, C. S., Kaminaris, S., Ioannidis, G., & Pachos, P. (2019). Wind turbine blade composite materials - End of life treatment methods. *Energy Procedia*, 157(2018), 1136–1143. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.281>
- Kanoglu, M., Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2019). *Fundamentals and Applications of Renewable Energy*.
- Khaki, B. (2021). Joint sizing and placement of battery energy storage systems and wind turbines considering reactive power support of the system. *Journal of Energy Storage*, 35(January), 102264. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102264>
- Letcher, T. M. (2017). Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines. In *Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*. Academic Press.
- Liker, J. K., & Convis, G. L. (2011). *The Toyota Way to Lean Leadership Achieving and Sustaining Excellence Through Leadership Development*.
- Lunau, S., John, A., Meran, R., Roenpage, O., & Staudter, C. (2008). *Six Sigma +Lean Toolset: Executing Improvement Projects Successfully*.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained - Theory, Design and Application* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- Máquina de corte com faca - Talon 25xTM - Eastman Machine Company - para materiais compósitos / para fibra de vidro / para têxteis. (n.d.). Retrieved May 31, 2021, from <https://www.directindustry.com/pt/prod/eastman-machine-company/product-54829-1866949.html>
- Marinho, T. (2021). *Os 12 macro-processos de manufatura de pás eólicas*. <https://www.linkedin.com/pulse/os-12-macro-processos-de-manufatura-das-pás-eólicas-thayc-marinho/>
- Miller, L. M., & Keith, D. W. (2018). Climatic Impacts of Wind Power. *Joule*, 2(12), 2618–2632. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.09.009>
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). *Niebel's methods, standards, and work design*.
- Novais, R. M., Carvalheiras, J., Capela, M. N., Seabra, M. P., Pullar, R. C., & Labrincha, J. A. (2018). Incorporation of glass fibre fabrics waste into geopolymer matrices: An eco-friendly solution for off-cuts coming from wind turbine blade production. In *Construction and Building Materials* (Vol. 187, pp. 876–883). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.004>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System Beyond Large-Scale Production*.
- Oliveira, P. S., Antunes, M. L. P., da Cruz, N. C., Rangel, E. C., de Azevedo, A. R. G., & Durrant, S. F. (2020). Use of waste collected from wind turbine blade production as an eco-friendly ingredient in mortars for civil construction. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122948. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122948>
- Patel, M. R. (1999). Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation. In *Wind Engineering* (Vol. 30, Issue 3). <https://doi.org/10.1260/030952406778606197>
- Pinto, J. P. (2008a). *Lean Thinking Glossário de termos e acrónimos*.

- Pinto, J. P. (2008b). *Lean Thinking Introdução ao pensamento magro*.
- Pinto, J. P. (2010). *Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços* (3rd ed.). Lidel.
- Pinto, J. P. (2016). *5S Manual* (1st ed.). CLT VALUEBASED PUBLISHING.
- Porter, A. (2009). *Operations Management*.
- Prasad, P. V. V., Thomas, J. M. G., & Narayanan, S. (2016). Global Warming Effects. In *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* (Vol. 3, pp. 289–299). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00013-7>
- Rani, M., Choudhary, P., Krishnan, V., & Zafar, S. (2021). A review on recycling and reuse methods for carbon fiber/glass fiber composites waste from wind turbine blades. In *Composites Part B: Engineering* (Vol. 215). <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108768>
- Ria Blades. (n.d.). *Ria Blades S.A.* Retrieved January 20, 2021, from <https://www.linkedin.com/company/ria-blades-sa>
- Salah, S., Rahim, A., & Carretero, J. A. (2010). The integration of Six Sigma and lean management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 249–274. <https://doi.org/10.1108/20401461011075035>
- Sayed, E. T., Wilberforce, T., Elsaid, K., Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Chae, K. J., & Olabi, A. G. (2021). A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal. In *Science of the Total Environment* (Vol. 766). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144505>
- Senff, L., Novais, R. M., Carvalheiras, J., & Labrincha, J. A. (2020). Eco-friendly approach to enhance the mechanical performance of geopolymer foams: Using glass fibre waste coming from wind blade production. In *Construction and Building Materials* (Vol. 239). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117805>
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). *Defining and developing measures of lean production; Defining and developing measures of lean production*. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (n.d.). *OptimaFlex Optimization through flexibility*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/-/media/siemensgamesa/downloads/en/products-and-services/onshore/brochures/siemens-gamesa-wind-turbine-blades-optimaflex-brochure-en.pdf>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021a). *Committed to environmental and climate protection | Siemens Gamesa*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/sustainability/environment>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021b). *Committed to Sustainability | Siemens Gamesa*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/sustainability>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021c). *Onshore Wind Turbine SG 5.0-145 | Siemens Gamesa*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services/onshore/wind-turbine-sg-5-0-145>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021d). *Onshore Wind Turbine SG 5.8-155 | Siemens Gamesa*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services/onshore/wind-turbine-sg-5-8-155>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021e). *Onshore Wind Turbine SG 5.8-170 | Siemens Gamesa*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services/onshore/wind-turbine-sg-5-8-170>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021f). *Products and Services | Siemens Gamesa*.

- <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021g). *Siemens Gamesa*.
https://es.linkedin.com/company/siemensgamesa?trk=similar-pages_result-card_full-click
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021h). *Siemens Gamesa*.
<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6778287228675215360/>
- Siemens Gamesa Renewable Energy, S. A. (2021i). *Siemens Gamesa | About us*.
<https://www.siemensgamesa.com/en-int/about-us>
- Singh, J., Rastogi, V., & Sharma, R. (2014). Implementation of 5S practices: A review. *Uncertain Supply Chain Management*, 2, 155–162. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2014.5.002>
- Steps to Meters | Kyle's Converter*. (n.d.). Retrieved May 29, 2021, from
<http://www.kylesconverter.com/length/steps-to-meters#1>
- Sultan, A. A. M., Mativenga, P. T., & Lou, E. (2018). Managing Supply Chain Complexity: Foresight for Wind Turbine Composite Waste. In *Procedia CIRP* (Vol. 69, pp. 938–943).
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.027>
- Suzaki, K. (2013). *Gestão no Chão de Fábrica Lean*.
- Toloie-Eshlaghy, A., Chitsaz, S., Karimian, L., & Charkhchi, R. (2011). *A Classification of Qualitative Research Methods*. 20, 106–123.
- Turunen, A. W., Tiittanen, P., Yli-Tuomi, T., Taimisto, P., & Lanki, T. (2021). Symptoms intuitively associated with wind turbine infrasound. *Environmental Research*, 192, 110360.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110360>
- What your walking speed says about your health (and how long you'll live!) - The Pacer Blog: Walking, Health and Fitness*. (n.d.). Retrieved May 29, 2021, from
<https://blog.mypacer.com/2019/05/23/what-your-walking-speed-says-about-your-health-and-how-long-youll-live/>
- WindEurope asbl/vzw. (n.d.). *Daily Wind Power Numbers | WindEurope*. Retrieved February 12, 2021, from <https://windeurope.org/data-and-analysis/product/daily-wind-power-numbers/>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1990). *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world*.

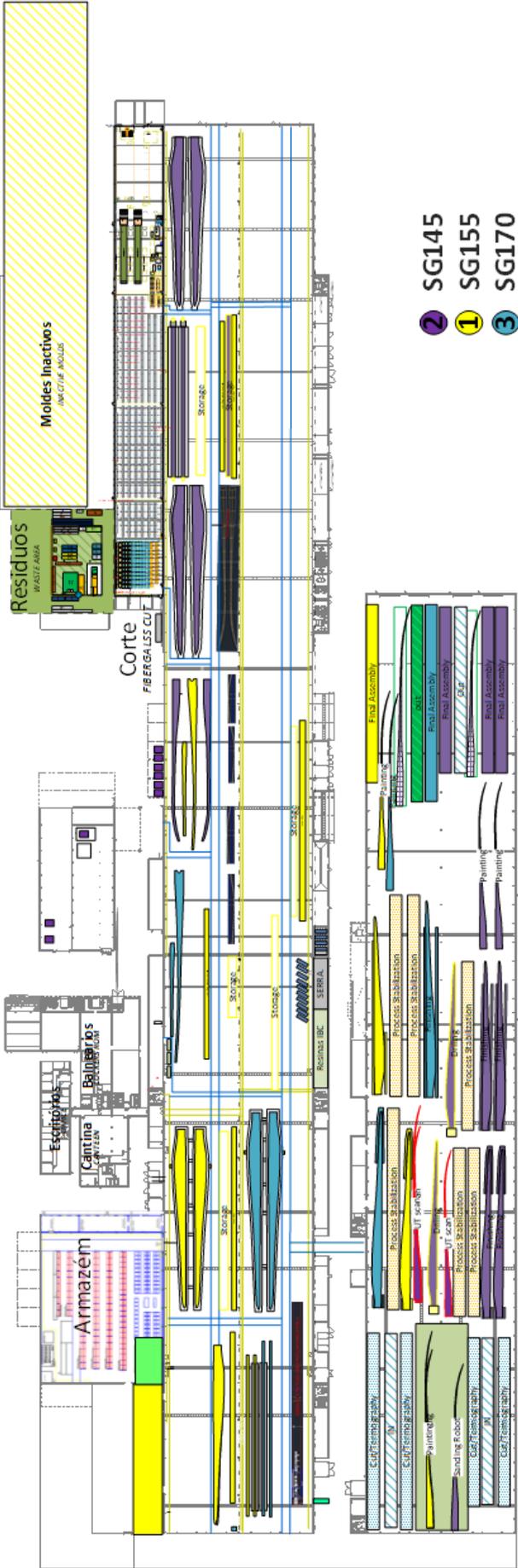
Anexos

Anexo A – Organigrama geral da empresa

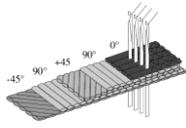
Diretor geral	Assistente de gestão	
Equipa de suporte de Gestão Geral	<i>Team leader</i> de segurança	Técnicos de higiene e segurança
	<i>Team leader</i> de ambiente	GAT <i>leaders</i> - ambiente Operadores de limpeza e desperdício
	<i>Team leader</i> de infraestruturas e projetos	Gestão de espaço Técnicos de manutenção de infraestruturas Operadores de manutenção de infraestruturas
	Coordenador do Sistema Integrado de Gestão	
Diretor de Recursos Humanos	Especialistas em pagamentos e gestores de administração	Assistentes de pagamentos Assistentes de administração
	Recursos humanos (geral)	
	Coordenador de desenvolvimento e formação	Formadores
Diretor de Finanças	<i>Team leader</i> de contabilidade	Contabilistas/tesoueiros Pagamentos
	<i>Team leader</i> de taxas/tesouraria	Contabilistas/tesoueiros
	<i>Team leader</i> de auditorias	Auditor industrial Auditor
	<i>Team leader</i> de TI	Técnicos de TI
	Analista SAP	
Diretor de Logística e Compras	<i>Team leader</i> de aquisições	Compras Assistente de compras
	<i>Team leader</i> de planeamento e abastecimento	Planeamento de produção e abastecimento
	<i>Team leader</i> de clientes e transporte	Gestão de clientes e transporte GAT <i>leaders</i> logística Operadores de logística – movimentadores
	Supervisores de logística	GAT <i>leaders</i> – logística Armazém – operadores de logística
	<i>Team Leader</i> de engenharia do processo	Engenheiros de processo Técnicos de CAD Técnicos do processo
Diretor de Engenharia	<i>Team leader</i> de engenharia do produto	Engenheiros do produto
	<i>Team leader</i> de melhoria contínua	Desenvolvimento de equipamentos chave Coordenador do custo de processo para fora Melhoria contínua
	Gestor de projeto	

Diretor de Qualidade	<i>Team leader</i> de desenvolvimento da engenharia da qualidade de abastecimento	Técnicos de inspeção de qualidade – controlo e receção de matéria-prima	
	<i>Team leader</i> de laboratório	Técnicos de inspeção de qualidade – laboratório	
	Supervisores de qualidade	GAT <i>leaders</i> – inspeção de qualidade	
		Técnicos de inspeção de qualidade – produto GAT <i>leaders</i> – inspeção de qualidade – testes não destrutivos Inspeção de qualidade – Técnicos de teste não destrutivo	
Diretor de Manutenção	<i>Team leader</i> moldes e ferramentas	Engenharia de ferramentas	
	<i>Team leader</i> compósitos	Técnicos de manutenção de compósitos	
	<i>Team leader</i> manutenção e engenharia de máquinas	Engenharia de máquinas	
		GAT <i>leaders</i> – manutenção Técnicos de manutenção	
	<i>Team leader</i> armazenamento, automação e robótica	Técnico de automação e manutenção robótica Assistente SAP – controlo de MP e armazenagem	
Diretor de Produção – Moldes hall 1	Coordenador de produção		
	Supervisores de produção	GAT <i>leaders</i> Operadores de produção	
Diretor de Produção – Moldes hall 2 e corte	Supervisores de produção	GAT <i>leaders</i> Operadores de produção	
		GAT <i>leaders</i> – movimentadores Operadores logísticos de movimentação	
	Supervisores corte	GAT <i>leaders</i> - Produção Operadores de Produção	
Diretor de Produção – Acabamentos	Supervisores de produção	GAT <i>leaders</i> Operadores de produção	
	Supervisores de produção	GAT <i>leaders</i> – reparadores Reparadores Operadores logísticos de movimentação	

Anexo B – Layout da Siemens Gamesa Renewable Energy Blades



Anexo C – Glossário: Compósitos e Consumíveis

Fotografia	Nome	Descrição
	Fibra triax	Orientação das fibras: 0º, -45º e 45º
	Fibra triax	Orientação das fibras: 90º, -45º e 45º
	Fibra biax	Orientação das fibras: -45º e 45º
	Fibra unidirecional	
	Fibra de carbono	
	Fibra de vidro	
	Espuma PVC	Usada nos moldes
	Espuma PET	Usada nos moldes
	Balsa	Usada nos moldes
	<i>Peel ply</i>	Fica em contacto direto com as fibras e permite ativar a superfície
	Folha desmoldante	usada na infusão para ajudar a remover os consumíveis que sejam aplicados por cima desta e que não façam parte estrutural da pá
	<i>Green Mesh</i>	Material que facilita o fluxo de resina e ajuda na impregnação das fibras
	<i>Gutter Tape</i>	Tem a função de fixar as diferentes camadas de fibras entre elas
	<i>Tacky Tape</i>	Tem a função de fixar o saco ao molde e vedar a passagem de ar
	Mangueira de aço espiral	Canal de infusão que transporta a resina do bidão até à tela de infusão
	Suporte de vazamento	Colocado nos perfis ómega, permite a entrada de resina no saco
	Conector em L	Liga a mangueira de infusão e fixa-se ao suporte de vazamento
	Felpo	Tem dupla função, protege o saco de peças que o possam perfurar e promove a evacuação do ar do interior do saco para as condutas de vácuo
	Fita cola papel	Ajuda a fixar os consumíveis
	Membrana VAP	Serve de filtro, deixa passar o ar e impede a passagem de resina
	Passador de infusão	Serve de torneira para iniciar e parar a infusão
	Saco vácuo	Embar as peças no molde e sela com a ajuda da <i>tacky tape</i>
	Perfil ómega	Canal por onde passa a resina, na infusão
	Fita temperatura	Cinta adesiva capaz de suportar processos que impliquem temperaturas altas mantendo as suas propriedades

Anexo D - Tempos de 10 pás

		Nº Pá 21	Total	Nº Pá 22	Total	Nº Pá 23	Total	Nº Pá 24	Total	Nº Pá 26	Total
Posição 0	Início	27/8/20 23:00	6	31/8/20 6:30	6	2/9/20 18:00	9	4/9/20 13:00	6	8/9/20 22:40	7
	Fim	28/8/20 5:30		31/8/20 12:30		3/9/20 3:30		4/9/20 19:00		9/9/20 5:00	
Posição 1	Início	29/8/20 14:30	80	4/9/20 4:20	71	10/9/20 9:00	68	9/9/20 22:30	35	14/9/20 16:00	56
	Fim	30/8/20 22:40		9/9/20 3:00		15/9/20 5:00		12/9/20 9:30		17/9/20 0:00	
Box UT	Início	31/8/20 13:00	47	9/9/20 22:30	36	16/9/20 4:00	38	14/9/20 0:30	37	17/9/20 22:30	20
	Fim	1/9/20 12:00		12/9/20 10:00		17/9/20 18:00		15/9/20 13:00		18/9/20 18:30	
CDR	Início	2/9/20 14:00	4	14/9/20 5:00	5	18/9/20 11:00	4	16/9/20 21:30	7	22/9/20 5:20	4
	Fim	3/9/20 18:30		14/9/20 10:00		18/9/20 15:30		17/9/20 4:00		22/9/20 9:00	
Machine Center	Início	4/9/20 18:30	19	9/9/20 3:30	14	15/9/20 5:30	11	16/9/20 13:00	8	17/9/20 1:30	18
	Fim	5/9/20 13:30		9/9/20 17:00		15/9/20 16:30		16/9/20 21:10		17/9/20 19:30	
Posição 2	Início	6/9/20 8:00	29	14/9/20 14:30	32	18/9/20 15:40	23	17/9/20 4:30	30	22/9/20 10:30	23
	Fim	7/9/20 13:55		15/9/20 22:10		21/9/20 14:20		18/9/20 10:00		23/9/20 9:00	
Posição 3	Início	8/9/20 14:20	15	15/9/20 22:30	18	21/9/20 14:30	15	18/9/20 10:15	12	23/9/20 9:00	15
	Fim	9/9/20 5:00		16/9/20 16:00		22/9/20 5:00		20/9/20 22:45		24/9/20 0:20	
Posição 4	Início	10/9/20 5:30	48	16/9/20 16:30	34	22/9/20 5:00	57	20/9/20 23:15	13	24/9/20 0:40	33
	Fim	11/9/20 5:00		18/9/20 2:30		24/9/20 14:00		22/9/20 12:42		25/9/20 9:00	

		Nº Pá 27	Total	Nº Pá 28	Total	Nº Pá 29	Total	Nº Pá 30	Total	Nº Pá 31	Total
Posição 0	Início	11/9/20 7:00	7	11/9/20 6:00	8	16/9/20 6:00	16	18/9/20 6:30	6	21/9/20 11:00	3
	Fim	11/9/20 14:00		11/9/20 14:00		16/9/20 22:30		18/9/20 12:30		21/9/20 14:30	
Posição 1	Início	16/9/20 6:00	78	18/9/20 14:30	47	21/9/20 14:30	79	22/9/20 16:00	61	29/9/20 6:00	40
	Fim	21/9/20 12:00		22/9/20 13:30		24/9/20 21:30		25/9/20 5:15		30/9/20 22:00	
Box UT	Início	21/9/20 14:30	24	22/9/20 14:00	30	24/9/20 21:30	25	27/9/20 23:30	23	2/10/20 0:00	11
	Fim	22/9/20 14:00		23/9/20 20:00		25/9/20 22:30		28/9/20 22:00		3/10/20 11:50	
CDR	Início	24/9/20 3:45	4	25/9/20 0:30	5	29/9/20 22:30	5	30/09/2 020 16:00	3	6/10/20 13:00	5
	Fim	24/9/20 7:30		25/9/20 5:00		30/9/20 3:00		30/9/20 19:30		6/10/20 18:00	
Machine Center	Início	23/9/20 17:30	10	24/9/20 16:15	8	29/9/20 14:00	8	25/09/2 020 6:00	13	1/10/20 3:00	16
	Fim	24/9/20 3:30		25/9/20 0:45		29/9/20 22:00		25/9/20 19:30		1/10/20 19:00	
Posição 2	Início	24/9/20 9:30	44	28/9/20 5:45	24	30/9/20 4:40	29	30/09/2 020 22:15	36	6/10/20 22:00	19
	Fim	28/9/20 5:00		29/9/20 5:30		1/10/20 9:40		2/10/20 10:00		7/10/20 17:30	
Posição 3	Início	28/9/20 5:20	18	29/9/20 5:50	18	1/10/20 10:00	12	02/10/2 020 10:15	39	7/10/20 17:40	17
	Fim	28/9/20 23:30		29/9/20 23:00		1/10/20 22:50		6/10/20 1:30		8/10/20 10:50	
Posição 4	Início	28/9/20 23:50	30	29/9/20 23:30	45	1/10/20 23:00	22	6/10/20 1:50	38	8/10/20 11:00	35
	Fim	30/9/20 5:00		1/10/20 20:00		2/10/20 21:30		7/10/20 15:50		9/10/20 22:00	

Anexo E – Tempos resultantes das gravações do LE

Tabela E.1 – Tempos LE

<i>Tarefa macro</i>	<i>Tarefa micro</i>	<i>Duração</i>	<i>Nº de pessoas</i>
<i>Preparação LE Externo</i>	<i>Remoção do peel ply/despolir</i>	00:34:45	2 a 4
<i>Preparação LE Externo</i>	<i>Medições</i>	00:20:10	1
<i>Preparação LE Externo</i>	<i>Colocar Tacky tape + calçar</i>	00:24:36	2
<i>Preparação LE Externo</i>	<i>Cola sika para uniformizar</i>	00:05:55	1
<i>Preparação LE Externo</i>	<i>Colocar os tubos de ar + cabos dataloger</i>	00:21:16	2
<i>Preparação LE Externo</i>	<i>Preparar fibras/consumíveis</i>	01:18:11	1
<i>Laminação LE Externo</i>	<i>Impregnar fibra na MIA</i>	00:59:01	6
<i>Consumíveis</i>	<i>Colocar resina</i>	00:06:16	2
<i>Consumíveis</i>	<i>Colocar peel ply</i>	00:06:33	1
<i>Consumíveis</i>	<i>Colocar folha desmoldante</i>	00:03:15	1
<i>Consumíveis</i>	<i>Colocar gutter tape sobre a folha desmoldante</i>	00:05:47	1
<i>Consumíveis</i>	<i>Retirar papel da gutter tape</i>	00:04:31	1
<i>Consumíveis</i>	<i>Colocar felpo</i>	00:04:23	1
<i>Consumíveis</i>	<i>Retirar papel da fita cola de papel e tacky tape</i>	00:02:50	1
<i>Consumíveis</i>	<i>Plástico saco de vácuo</i>	00:03:24	4
<i>Consumíveis</i>	<i>Confirmar e corrigir fugas</i>	00:10:02	4

Tabela E.2 – Pausas durante as gravações do LE

<i>Pausas</i>	<i>Duração</i>
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:44
<i>Outra laminação</i>	02:45:05
<i>Outra laminação</i>	00:54:50
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:58
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:16
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:19
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:20
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:26
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:43
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:25
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:42
<i>Esperas por fibra</i>	00:09:00
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:28
<i>Esperas por fibra</i>	00:04:19
<i>Esperas por fibra</i>	00:03:43
<i>Esperas por fibra</i>	00:03:58

Anexo F - Tempos resultantes das gravações da 1ª fase do TE

Tabela F.1 – 1ª fase do TE

<i>Tarefa macro</i>	<i>Tarefa micro</i>	<i>Duração</i>	<i>Nº de pessoas</i>
<i>Preparação TE Externo</i>	Remoção do <i>peel ply</i> /despolir	00:30:43	1
<i>Preparação TE Externo</i>	Medições	00:02:57	1
<i>Preparação TE Externo</i>	Colocar <i>Tacky tape</i> + calcar	00:07:12	2
<i>Preparação TE Externo</i>	Colocar Fita de papel sobre a <i>tacky tape</i>	00:02:28	2
<i>Preparação TE Externo</i>	Cola <i>sika</i> para uniformizar	00:03:48	1
<i>Preparação TE Externo</i>	fibras "pequenas" para uniformizar	00:24:29	6
<i>Preparação TE Externo</i>	Colocar os tubos de ar + cabos <i>dataloger</i>	00:02:54	1
<i>Preparação TE Externo</i>	Preparar fibras/consumíveis	01:18:11	1
<i>Laminação TE Externo</i>	Impregnar fibra na MIA	00:09:03	6
<i>Consumíveis</i>	Colocar resina	00:01:04	1
<i>Consumíveis</i>	Colocar <i>peel ply</i>	00:03:55	2
<i>Consumíveis</i>	Colocar folha desmoldante	00:03:54	1
<i>Consumíveis</i>	Colocar fita de dupla face sobre a folha desmoldante	00:03:53	1
<i>Consumíveis</i>	Retirar papel da fita de dupla face	00:03:30	1
<i>Consumíveis</i>	Colocar felpo	00:04:08	1
<i>Consumíveis</i>	Colocar os tubos de ar para cima	00:00:43	2
<i>Consumíveis</i>	Retirar papel da fita cola de papel e <i>tacky tape</i>	00:00:39	1
<i>Consumíveis</i>	Plástico azul para vácuo	00:02:36	3
<i>Consumíveis</i>	Confirmar e corrigir fugas	00:40:19	3

Tabela F.2 – Pausas durante as gravações da 1ª fase do TE

<i>Pausas</i>	<i>Duração</i>
<i>Na preparação</i>	00:01:13
<i>Levar BOM vazia</i>	00:02:12
<i>Na preparação</i>	00:02:20
<i>Na preparação</i>	00:00:10
<i>Na preparação</i>	00:17:06
<i>Na preparação</i>	00:00:26
<i>Movimentação pá</i>	00:03:09
<i>?</i>	00:01:35
<i>Lanche</i>	00:29:11
<i>Chegar do lanche + preparação EPI's</i>	00:08:30
<i>Paragem MIA</i>	00:00:38
<i>Paragem MIA</i>	00:00:28
<i>Paragem MIA</i>	00:00:56
<i>Paragem MIA</i>	00:01:16
<i>Esperas por fibra</i>	00:03:11
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:31

Anexo G - Tempos resultantes das gravações da 2ª fase do TE

Tabela G.1 – 2ª fase do TE

<i>Tarefa macro</i>	<i>Tarefa micro</i>	<i>Duração</i>	<i>Nº de pessoas</i>
<i>Preparação TE Externo</i>	Remoção do <i>peel ply</i> / despolir	00:19:32	3
<i>Preparação TE Externo</i>	Medições	00:06:01	1
<i>Preparação TE Externo</i>	Colocar <i>tacky tape</i> + calçar	00:45:41	1
<i>Preparação TE Externo</i>	Colocar Fita Cola de papel sobre a <i>tacky tape</i>	00:00:26	1
<i>Preparação TE Externo</i>	Cola <i>sika</i> para uniformizar	00:16:42	1
<i>Preparação TE Externo</i>	Fibras "pequenas" para uniformizar	00:10:20	7
<i>Preparação TE Externo</i>	Colocar os tubos de ar + cabos <i>data logger</i>	00:26:45	2
<i>Preparação TE Externo</i>	Preparar fibras/consumíveis	01:06:47	2
<i>Laminação TE Externo</i>	Impregnar fibra na MIA	01:54:48	10
<i>Consumíveis</i>	Colocar resina	00:05:29	1
<i>Consumíveis</i>	Colocar <i>peel ply</i>	00:01:02	4
<i>Consumíveis</i>	Colocar folha desmoldante	00:02:36	4
<i>Consumíveis</i>	Colocar fita de dupla face sobre a folha desmoldante	00:01:06	1
<i>Consumíveis</i>	Retirar papel da fita de dupla face	00:01:07	1
<i>Consumíveis</i>	Colocar felpo	00:01:43	2
<i>Consumíveis</i>	Colocar os tubos de ar para cima	00:01:30	2
<i>Consumíveis</i>	Retirar papel da fita cola de papel e <i>tacky tape</i>	00:01:12	1
<i>Consumíveis</i>	Plástico azul para vácuo	00:01:39	7
<i>Consumíveis</i>	Ligar vácuo	00:00:29	1
<i>Consumíveis</i>	Confirmar e corrigir fugas	00:04:03	5

Tabela G.2 – Pausas durante as gravações da 2ª fase do TE

<i>Pausas</i>	<i>Duração</i>
<i>Movimentação pá P1 - P2</i>	00:05:45
<i>Movimentação pá P0 - P1</i>	00:07:19
<i>Lanche</i>	00:25:37
<i>Paragem MIA</i>	00:01:29
<i>Paragem MIA</i>	00:01:00
<i>Paragem MIA</i>	00:00:43
<i>Paragem MIA</i>	00:00:46
<i>Paragem MIA</i>	00:00:36
<i>Paragem MIA</i>	00:00:36
<i>Paragem MIA</i>	00:00:37
<i>Paragem MIA</i>	00:01:07
<i>Paragem MIA</i>	00:00:43
<i>Paragem MIA</i>	00:01:16
<i>Paragem MIA</i>	00:00:59
<i>Paragem MIA</i>	00:00:33
<i>Paragem MIA</i>	00:01:09

<i>Paragem MIA</i>	00:00:29
<i>Paragem MIA</i>	00:00:32
<i>Paragem MIA</i>	00:01:27
<i>Paragem MIA</i>	00:00:38
<i>Esperas por fibra</i>	00:05:50
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:30
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:13
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:57
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:35
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:41
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:39
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:25
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:24
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:51
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:35
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:49
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:26
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:34
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:28
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:04
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:50
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:31
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:36
<i>Esperas por fibra</i>	00:03:53
<i>Esperas por fibra</i>	00:02:41
<i>Esperas por fibra</i>	00:04:57
<i>Esperas por fibra</i>	00:03:36
<i>Esperas por fibra</i>	00:01:57
<i>Esperas por fibra</i>	00:04:57
<i>Esperas por fibra</i>	00:04:47
<i>Esperas por fibra</i>	00:04:28
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:22
<i>Esperas por fibra</i>	00:00:20

Anexo H – Fibras para o LE

Tabela H.1 - Fibras a utilizar no LE e suas características

<i>Camada</i>	<i>Raio inicial (mm)</i>	<i>Raio final (mm)</i>	<i>Largura (mm)</i>	<i>Largura + margem de erro (mm)</i>	<i>Comprimento (mm)</i>
LEERR_1	1480	4000	180	205	2520
LEERR_2	1480	5000	200	225	3520
LEERR_3	1480	6000	220	245	4520
LEERR_4	1480	7000	240	265	5520
LEERR_5	1480	8000	260	285	6520
LEERR_6	1480	9000	280	305	7520
LEERR_7	1480	9500	300	325	8020
LEERR_8	1480	10000	320	345	8520
LEETR_1_1	9400	40675	180	205	31275
LEETR_1_2	40675	71950	180	205	31275
LEETR_1_B	45750	48850	210	235	3100
LEETR_1_D	55950	59050	210	235	3100
LEETR_2_1	9300	40650	200	225	31350
LEETR_2_2	40650	72000	200	225	31350
LEETR_3_1	9200	40625	220	245	31425
LEETR_3_2	40625	72050	220	245	31425

Anexo I – Fibras para os interiores

Tabela I.1 – Fibras a utilizar nos interiores e suas características

<i>Camada</i>	<i>Raio inicial (mm)</i>	<i>Raio final (mm)</i>	<i>Comprimento (mm)</i>	<i>Largura (mm)</i>	<i>Largura + margem de erro (mm)</i>
LEIR_1	1480	3500	2020	180	205
LEIR_2	1480	3550	2070	200	225
LEIR_3	1480	3600	2120	220	245
LEIR_4	1480	3650	2170	240	265
LEIR_5	1480	3700	2220	260	285
LEIR_6	1480	3750	2270	280	305
LEIR_7	1480	3800	2320	300	325
LEIR_8	1480	3850	2370	320	345
TEIR_1	1480	3500	2020	180	205
TEIR_2	1480	3550	2070	200	225
TEIR_3	1480	3600	2120	220	245
TEIR_4	1480	3650	2170	240	265
TEIR_5	1480	3700	2220	260	285
TEIR_6	1480	3750	2270	280	305
TEIR_7	1480	3800	2320	300	325
TEIR_8	1480	3850	2370	320	345

Tabela I.2 – Esquematização e cálculo das fibras dos interiores a entrar e sair da MIA

	INICIO	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)
	LEIR_1	205	2020
	LEIR_2	225	2070
	LEIR_3	245	2120
	LEIR_4	265	2170
	LEIR_5	285	2220
	TOTAL LARGURA:	1305	
	COMPRIENTO PERCORRIDO: 2020	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)
	LEIR_2	225	50
	LEIR_3	245	100
	LEIR_4	265	150
	LEIR_5	285	200
	TOTAL LARGURA:	1080	
	COMPRIENTO PERCORRIDO: 2070	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)
	LEIR_3	245	50
	LEIR_4	265	100
	LEIR_5	285	150
	LEIR_6	305	2270
	TOTAL LARGURA:	1160	
	COMPRIENTO PERCORRIDO: 2120	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)
	LEIR_4	265	50
	LEIR_5	285	100
	LEIR_6	305	2220
	LEIR_7	325	2320
	TOTAL LARGURA:	1240	
	COMPRIENTO PERCORRIDO: 2170	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)
	LEIR_5	285	50
	LEIR_6	305	2170
	LEIR_7	325	2270
	TEIR_1	205	2020
	TOTAL LARGURA:	1180	
	COMPRIENTO PERCORRIDO: 2220	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)
	LEIR_6	305	2120
	LEIR_7	325	2220
	TEIR_1	205	1970
	LEIR_8	345	2370
	TOTAL LARGURA:	1240	
	COMPRIENTO PERCORRIDO: 4190	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)
	LEIR_6	305	150
	LEIR_7	325	250
	LEIR_8	345	400
	TEIR_2	225	2070
	TOTAL LARGURA:	1260	
	COMPRIENTO PERCORRIDO: 4340MM	LARGURA (MM)	COMPRIENTO (MM)

LEIR_7	325	100
LEIR_8	345	250
TEIR_2	225	1920
TEIR_3	245	2120
TOTAL LARGURA:	1200	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 4440	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
LEIR_8	345	150
TEIR_2	225	1820
TEIR_3	245	2020
TEIR_4	265	2170
TOTAL LARGURA:	1140	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 4590	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEIR_2	225	1670
TEIR_3	245	1870
TEIR_4	265	2020
TEIR_5	285	2220
TOTAL LARGURA:	1080	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 6260	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEIR_3	245	200
TEIR_4	265	350
TEIR_5	285	550
TEIR_6	305	2270
TOTAL LARGURA:	1160	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 6460	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEIR_4	265	150
TEIR_5	285	350
TEIR_6	305	2070
TEIR_7	325	2320
TOTAL LARGURA:	1240	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 6610	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEIR_5	285	200
TEIR_6	305	1920
TEIR_7	325	2170
TOTAL LARGURA:	955	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 6810	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEIR_6	305	1720
TEIR_7	325	1970
TEIR_8	345	2370
TOTAL LARGURA:	1015	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 8530	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEIR_7	325	250
TEIR_8	345	650
TOTAL LARGURA:	670	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 8780	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)

TEIR_8	345	650
COMPRIENTO PERCORRIDO: 9430	226,32s	Tempo decorrido: 3,77min

Tabela I.3 – Ordem de saída e respetivos tempos para as fibras dos interiores

<i>Ordem saída</i>	<i>Final (min)</i>
LEIR_1	0,81
LEIR_2	0,83
LEIR_3	0,85
LEIR_4	0,87
LEIR_5	0,89
TEIR_1	1,68
LEIR_6	1,74
LEIR_7	1,78
LEIR_8	1,84
TEIR_2	2,50
TEIR_3	2,58
TEIR_4	2,64
TEIR_5	2,72
TEIR_6	3,41
TEIR_7	3,51
TEIR_8	3,77

Tabela I.4 – Cálculo do tempo demorado a impregnar as fibras nos interiores

<i>Camada</i>	<i>Raio final (mm)</i>	<i>Raio final (m)</i>	<i>Passos</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo a laminar (s*2 + 5) (s)</i>	<i>Tempo a laminar (S*2+5) (min)</i>	<i>Tempo total de laminação (min)</i>
LEIR_1	3500	3,5	4,59	2,76	10,51181	0,175	0,983
LEIR_2	3550	3,55	4,66	2,80	10,59055	0,177	1,160
LEIR_3	3600	3,6	4,72	2,83	10,66929	0,178	1,338
LEIR_4	3650	3,65	4,79	2,87	10,74803	0,179	1,517
LEIR_5	3700	3,7	4,86	2,91	10,82677	0,180	1,697
LEIR_6	3750	3,75	4,92	2,95	10,90551	0,182	1,879
LEIR_7	3800	3,8	4,99	2,99	10,98425	0,183	2,062
LEIR_8	3850	3,85	5,05	3,03	11,06299	0,184	2,246
TEIR_1	3500	3,5	4,59	2,76	10,51181	0,175	2,422
TEIR_2	3550	3,55	4,66	2,80	10,59055	0,177	2,598
TEIR_3	3600	3,6	4,72	2,83	10,66929	0,178	2,776
TEIR_4	3650	3,65	4,79	2,87	10,74803	0,179	2,955
TEIR_5	3700	3,7	4,86	2,91	10,82677	0,180	3,135
TEIR_6	3750	3,75	4,92	2,95	10,90551	0,182	3,317
TEIR_7	3800	3,8	4,99	2,99	10,98425	0,183	3,500
TEIR_8	3850	3,85	5,05	3,03	11,06299	0,184	3,685

Anexo J – Fibras para a 1ª fase do TE

Tabela J.1 – Fibras a utilizar na 1ª fase do TE e suas características

Camada	Raio inicial (mm)	Raio final (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Largura + margem de erro (mm)
TEER_1_1	1480	4900	3420	180	205
TEER_2_1		4850	3370	200	225
TEER_3_1		4800	3320	220	245
TEER_4_1		4750	3270	240	265
TEER_5_1		4700	3220	260	285
TEER_6_1		4650	3170	280	305
TEER_7_1		4600	3120	530	555
TEER_8_1		4550	3070	550	575

Tabela J.2 – Esquematização e cálculo das fibras da 1ª fase do TE a entrar e sair da MIA

	INICIO	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_1_1	205	3420
	TEER_2_1	225	3370
	TEER_3_1	245	3320
	TEER_4_1	265	3270
	TEER_5_1	285	3220
TOTAL LARGURA:		1305	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 3220		LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_1_1	205	200
	TEER_2_1	225	150
	TEER_3_1	245	100
	TEER_4_1	265	50
TOTAL LARGURA:		1000	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 3270		LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_1_1	205	150
	TEER_2_1	225	100
	TEER_3_1	245	50
	TEER_6_1	305	3170
TOTAL LARGURA:		1040	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 3320		LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_1_1	205	100
	TEER_2_1	225	50
	TEER_6_1	305	3120
TOTAL LARGURA:		775	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 3370		LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_1_1	205	50
	TEER_6_1	305	3070
	TEER_7_1	555	3120
TOTAL LARGURA:		1105	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 3420		LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)

TEER_6_1	305	3020
TEER_7_1	555	3070
TOTAL LARGURA:	880	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 6440	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_7_1	555	50
TEER_8_1	575	3070
TOTAL LARGURA:	1150	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 6490	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_8_1	575	3020
	Tempo decorrido:	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 9510	228,24s	3,80min

Tabela J.3 – Ordem de saída e respetivos tempos para as fibras da 1ª fase do TE

<i>Ordem de saída</i>	<i>Fim (min)</i>
TEER_5_1	1,29
TEER_4_1	1,31
TEER_3_1	1,33
TEER_2_1	1,35
TEER_1_1	1,37
TEER_6_1	2,58
TEER_7_1	2,60
TEER_8_1	3,80

Tabela J.4 – Cálculo do tempo demorado a impregnar as fibras na 1ª fase do TE

<i>Camada</i>	<i>Raio final (mm)</i>	<i>Raio final (m)</i>	<i>Passos</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo a laminar (s*2 + 5) (s)</i>	<i>Tempo a laminar (S*2+5) (min)</i>	<i>Tempo total de laminação (min)</i>
TEER_1_1	4900	4,9	6,430446	3,858268	12,71654	0,211942	1,58
TEER_2_1	4850	4,85	6,364829	3,818898	12,6378	0,21063	1,79
TEER_3_1	4800	4,8	6,299213	3,779528	12,55906	0,209318	2,00
TEER_4_1	4750	4,75	6,233596	3,740157	12,48031	0,208005	2,21
TEER_5_1	4700	4,7	6,167979	3,700787	12,40157	0,206693	2,41
TEER_6_1	4650	4,65	6,102362	3,661417	12,32283	0,205381	2,62
TEER_7_1	4600	4,6	6,036745	3,622047	12,24409	0,204068	2,82
TEER_8_1	4550	4,55	5,971129	3,582677	12,16535	0,202756	4,01

Anexo K – Fibras para a 2ª fase do TE

Tabela K.1 – Fibras a utilizar na 2ª fase do TE e suas características

<i>Camada</i>	<i>Raio inicial (mm)</i>	<i>Raio final (mm)</i>	<i>Largura inicial(mm)</i>	<i>Largura final(mm)</i>	<i>Comprimento (mm)</i>	<i>Largura + margem de erro (mm)</i>
TEER_1_2	8200	16500	496	400	8300	521
TEER_1_3	4850	8250	812	667	3400	837
TEER_2_2	8250	16550	526	430	8300	551
TEER_2_3	4800	8300	811	666	3500	836
TEER_3_2	8300	17500	525	418	9200	550
TEER_3_3	4750	8350	831	686	3600	856
TEER_4_2	8350	17550	596	487	9200	621
TEER_4_3	4700	8400	900	757	3700	925
TEER_5_2_A	8400	16000	616	405	7600	641
TEER_5_2_B	15900	24550	616	405	8650	641
TEER_5_3	4650	8450	920	777	3800	945
TEER_6_2_A	8450	15300	635	424	6850	660
TEER_6_2_B	15200	24650	635	424	9450	660
TEER_6_3	4600	850	939	797	3750	964
TEER_7_2_A	4550	14600	699	331	10050	724
TEER_7_2_B	14500	25500	699	331	11000	724
TEER_8_2_A	4500	13900	719	324	9400	744
TEER_8_2_B	1380	27500	719	324	26120	744
TEER_9_2_A	4450	13200	739	324	8750	764
TEER_9_2_B	13100	29500	739	324	16400	764
TEER_10_2_A	4400	12500	809	390	8100	834
TEER_10_2_B	1240	30200	809	390	28960	834
TEER_11_2_A	4350	11800	829	407	7450	854
TEER_11_2_B	11700	30700	829	407	19000	854
TEER_12_2_A	4300	11100	850	425	6800	875
TEER_12_2_B	11000	31200	850	425	20200	875
TEER_13	24600	31700	878	815	7100	903
TEER_14	24500	32200	980	914	7700	1005

Tabela K.2 – Esquematização e cálculo das fibras da 2ª fase do TE a entrar e sair da MIA

	INICIO	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_1_2	521	8300
	TEER_2_2	551	8300
	TOTAL LARGURA:	1092	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 8300	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_1_3	837	3400
	TOTAL LARGURA:	837	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 11700	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_2_3	836	3500
	TOTAL LARGURA:	836	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 15200	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_3_2	550	9200
	TEER_4_2	621	9200
	TOTAL LARGURA:	1191	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 24400	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_3_3	856	3600
	TOTAL LARGURA:	856	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 28000	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_4_3	925	3700
	TOTAL LARGURA:	925	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 31700	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_5_2_A	641	7600
	TEER_5_2_B	641	8650
	TOTAL LARGURA:	1302	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 39300	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_5_2_B	641	1050
	TOTAL LARGURA:	641	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 40350	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_5_3	945	3800
	TOTAL LARGURA:	945	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 44150	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_6_2_A	424	635
	TOTAL LARGURA:	424	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 44785	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_6_2_B	660	9450
	TOTAL LARGURA:	660	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 54235	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_6_3	964	3750
	TOTAL LARGURA:	964	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 57985	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
	TEER_7_2_A	724	10050
	TOTAL LARGURA:	724	
	COMPRIMENTO PERCORRIDO: 68035	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)

TEER_7_2_B	724	11000
TOTAL LARGURA:	724	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 79035	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_8_2_A	744	9400
TOTAL LARGURA:	744	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 88435	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_8_2_B	744	26120
TOTAL LARGURA:	744	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 114555	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_9_2_A	764	8750
TOTAL LARGURA:	764	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 123305	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_9_2_B	764	16400
TOTAL LARGURA:	764	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 139705	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_10_2_A	834	8100
TOTAL LARGURA:	834	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 147805	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_10_2_B	834	28960
TOTAL LARGURA:	834	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 176765	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_11_2_A	854	7450
TOTAL LARGURA:	854	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 184215	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_11_2_B	854	19000
TOTAL LARGURA:	854	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 203215	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_12_2_A	875	6800
TOTAL LARGURA:	875	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 210015	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_12_2_B	875	20200
TOTAL LARGURA:	875	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 230215	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_13	903	7100
TOTAL LARGURA:	903	
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 237315	LARGURA (MM)	COMPRIMENTO (MM)
TEER_14	1005	7700
		Tempo percorrido:
COMPRIMENTO PERCORRIDO: 245015	5880,36s	98,01min

Tabela K.3 – Ordem de saída e respectivos tempos para as fibras da 2ª fase do TE

<i>Ordem saída</i>	<i>Tempo (min)</i>
TEER_1_2	3,32
TEER_2_2	3,32
TEER_1_3	4,68
TEER_2_3	6,08
TEER_3_2	9,76
TEER_4_2	9,76
TEER_3_3	11,20
TEER_4_3	12,68
TEER_5_2_A	15,72
TEER_5_2_B	16,14
TEER_5_3	17,66
TEER_6_2_A	17,91
TEER_6_2_B	21,69
TEER_6_3	23,19
TEER_7_2_A	27,21
TEER_7_2_B	31,61
TEER_8_2_A	35,37
TEER_8_2_B	45,82
TEER_9_2_A	49,32
TEER_9_2_B	55,88
TEER_10_2_A	59,12
TEER_10_2_B	70,71
TEER_11_2_A	73,69
TEER_11_2_B	81,29
TEER_12_2_A	84,01
TEER_12_2_B	92,09
TEER_13	94,93
TEER_14	98,01

Tabela K.4 – Cálculo do tempo demorado a impregnar as fibras na 2ª fase do TE

<i>Camada</i>	<i>Raio final (mm)</i>	<i>Raio final (m)</i>	<i>Passos</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Tempo a laminar (s*2 + 5) (s)</i>	<i>Tempo a laminar (S*2+5) (min)</i>	<i>Tempo total de laminação (min)</i>
TEER_1_2	16500	16,5	21,65354	12,99213	30,98425	0,52	3,84
TEER_1_3	8250	8,25	10,82677	6,496063	17,99213	0,30	4,98
TEER_2_2	16550	16,55	21,71916	13,0315	31,06299	0,52	5,50
TEER_2_3	8300	8,3	10,89239	6,535433	18,07087	0,30	6,38
TEER_3_2	17500	17,5	22,96588	13,77953	32,55906	0,54	10,30
TEER_3_3	8350	8,35	10,95801	6,574803	18,14961	0,30	11,50
TEER_4_2	17550	17,55	23,0315	13,8189	32,6378	0,54	12,05
TEER_4_3	8400	8,4	11,02362	6,614173	18,22835	0,30	12,98
TEER_5_2_A	16000	16	20,99738	12,59843	30,19685	0,50	16,22
TEER_5_2_B	24550	24,55	32,21785	19,33071	43,66142	0,73	16,95
TEER_5_3	8450	8,45	11,08924	6,653543	18,30709	0,31	17,97
TEER_6_2_A	15300	15,3	20,07874	12,04724	29,09449	0,48	18,40
TEER_6_2_B	24650	24,65	32,34908	19,40945	43,8189	0,73	22,42
TEER_6_3	850	0,85	1,115486	0,669291	6,338583	0,11	23,30
TEER_7_2_A	14600	14,6	19,1601	11,49606	27,99213	0,47	27,68
TEER_7_2_B	25500	25,5	33,46457	20,07874	45,15748	0,75	32,37
TEER_8_2_A	13900	13,9	18,24147	10,94488	26,88976	0,45	35,82
TEER_8_2_B	27500	27,5	36,08924	21,65354	48,30709	0,81	46,63
TEER_9_2_A	13200	13,2	17,32283	10,3937	25,7874	0,43	49,75
TEER_9_2_B	29500	29,5	38,71391	23,22835	51,45669	0,86	56,74
TEER_10_2_A	12500	12,5	16,4042	9,84252	24,68504	0,41	59,53
TEER_10_2_B	30200	30,2	39,63255	23,77953	52,55906	0,88	71,58
TEER_11_2_A	11800	11,8	15,48556	9,291339	23,58268	0,39	74,08
TEER_11_2_B	30700	30,7	40,28871	24,17323	53,34646	0,89	82,18
TEER_12_2_A	11100	11,1	14,56693	8,740157	22,48031	0,37	84,38
TEER_12_2_B	31200	31,2	40,94488	24,56693	54,13386	0,90	92,99
TEER_13	31700	31,7	41,60105	24,96063	54,92126	0,92	95,84
TEER_14	32200	32,2	42,25722	25,35433	55,70866	0,93	98,93

Anexo L – Horário possível para standard P1

	SX	SX	SX	SX	SX	SY	SY	SY	SY	SY
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
T1	31	2	31	2	31	2	31	2	31	2
T2	2	31	2	31	2	31	2	31	2	31
T3	31	2	31	2	31	2	31	2	31	2