



Universidade de Aveiro
2021

**Daniela Matos de
Almeida**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS E PRÁTICAS *LEAN*
PARA A MELHORIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO
DE PÁS EÓLICAS**



Universidade de Aveiro
2021

**Daniela Matos de
Almeida**

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS E PRÁTICAS *LEAN* PARA A MELHORIA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PÁS EÓLICAS

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 Doutora Maria João Machado Pires da Rosa, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre
Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da
Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof.^a Doutora Maria João Machado Pires da Rosa Professora Auxiliar do
Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos à Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa por toda a acessibilidade demonstrada, colaboração e conhecimentos fornecidos durante a realização do projeto.

À minha família, em especial aos meus pais, João e Elisabete, e irmãos Filipe e Raquel, por sempre acreditarem nas minhas capacidades e me motivarem constantemente para alcançar os meus objetivos.

Agradeço também a todos os meus amigos, nomeadamente à Edna, e ao meu namorado António, pelo incansável apoio e por toda a leveza e positividade que me transmitiram, perante os desafios enfrentados.

À *Siemens Gamesa* e aos seus colaboradores por me terem proporcionado crescer a nível pessoal e profissional.

Aos meus colegas de equipa pelo companheirismo e, em particular, ao orientador de estágio Paulo Rocha e ao coorientador Dârcio Fernandes, pelo voto de confiança, pelos conhecimentos que me transmitiram e estímulo constante em depositar o melhor de mim, no projeto.

palavras-chave

Pensamento *Lean*, *Lead Time*, Tempo de Ciclo, Melhoria Contínua, *Value Stream Mapping*

resumo

O presente relatório de projeto descreve o trabalho desenvolvido na *Siemens Gamesa Renewable Energy Blades* no âmbito da produção do modelo de pás eólicas SG145, que representa o produto com maior volume de vendas da empresa. O aumento da procura deste modelo de pás e o facto do seu processo produtivo não ter capacidade para dar resposta aos pedidos dos clientes, levou à necessidade de repensar e melhorar a produção das pás SG145.

O objetivo do projeto realizado traduziu-se, assim, na análise do estado atual do processo de produção das pás SG145, recorrendo ao *Value Stream Mapping* para identificar os gargalos produtivos e os desperdícios existentes, tanto para o fabrico dos componentes das pás como para os acabamentos. Seguidamente, foram definidos objetivos de redução do *lead time*, tempo de processamento, desperdício e tempos de ciclo associados ao estado atual e desenhado o estado futuro pretendido para este processo.

Tendo em vista o alcance dos objetivos estipulados, realizaram-se eventos *Kaizen* para os subprocessos críticos, que contaram com a participação ativa dos colaboradores no levantamento de problemas e de oportunidades de melhoria. Criaram-se depois planos de ações para três subprocessos, dos sete identificados como gargalos. Para além disso, pretendeu-se que a produção da pá SG145 se tornasse uma linha modelo para os restantes tipos de pás fabricados, isto é, uma linha organizada, eficiente e com trabalho padronizado.

As ações de melhoria propostas englobaram alterações dos métodos de trabalho, tendo sido aplicadas ferramentas de melhoria contínua, nomeadamente o *standard work*, a gestão visual, o diagrama de *Spaghetti*, o diagrama de *Ishikawa*, os 5S e alterações do *layout*.

A implementação destas ações permitiu reduzir o *lead time* do processo de produção das pás em cerca de 4,9%. Relativamente ao desperdício e ao tempo de processamento obtiveram-se reduções de cerca de 3,5% e 11,3%, respetivamente. Verificou-se também um impacto positivo da implementação das ações de melhoria na organização das áreas de trabalho e na standardização do mesmo.

keywords

Lean Thinking, Lead Time, Cycle Time, Continuous improvement, Value Stream Mapping

abstract

This report portrays the work developed at Siemens Gamesa Renewable Energy Blades in the context of the production of the SG145 wind blade model, which represents the product with the highest sales volume of the company. The increased demand for this model of blades and the fact that the production process is not able to respond to customer requests, led to the need to rethink and improve the production of SG145 blades.

The objective of the project was to analyze the current state of the SG145 blades production process, through the Value Stream Mapping, to identify production bottlenecks and waste, both for the manufacture of blade components and for the finishing area. Subsequently, the reduction targets for the future state were defined for lead time, processing time, waste and cycle time for this process.

In order to achieve the required goals, Kaizen events were held for the critical subprocesses, which had the active participation of employees to identify problems and opportunities for improvement. Action plans were then created for three subprocesses out of the seven identified as bottlenecks. Furthermore, it was intended that the production of the SG145 blade would become a model line for the remaining manufactured blade projects, across an organized and efficient line with standardized work.

The proposed improvement actions included changes in working methods, with the application of continuous improvement tools namely standard work, visual management, Spaghetti diagram, Ishikawa diagram, 5S and layout changes.

The implementation of these actions allowed to decrease the lead time by 4,9%. Regarding the waste and processing time reductions of 3,5% and 11,3% were obtained, respectively. There was also a positive impact from the implementation of actions to improve the organization of work areas and its standardization.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização do Projeto.....	1
1.2. Objetivos e Metodologia.....	2
1.3. Estrutura do Relatório de Projeto.....	3
2. Sistemas de Produção <i>Lean</i>	5
2.1. <i>Toyota Production System</i>	5
2.2. <i>Lean Manufacturing e Lean Thinking</i>	5
2.2.1. Origem e Evolução.....	5
2.2.2. Os 7 desperdícios – <i>Muda</i>	8
2.2.3. Métricas <i>Lean</i>	9
2.3. Ferramentas e Metodologias <i>Lean</i>	10
2.3.1. <i>Just-in-Time</i>	10
2.3.2. <i>Model Line</i>	11
2.3.3. <i>Kaizen vs Kaikaku</i>	11
2.3.4. <i>Ciclo PDCA</i>	12
2.3.5. <i>Standard Work</i> – Trabalho Padronizado.....	14
2.3.6. <i>Gestão Visual</i>	15
2.3.7. <i>5S</i>	15
2.3.8. <i>Gemba Walks</i>	16
2.3.9. Diagrama de <i>Spaghetti</i>	17
2.3.10. Diagrama de <i>Ishikawa</i>	18
2.3.11. <i>Value Stream Mapping</i>	19
2.3.11.1. Vantagens e Desvantagens do VSM.....	23
2.3.12. Resultados da Aplicação de Metodologias <i>Lean</i>	24
3. Aplicação de Ferramentas e Práticas <i>Lean</i> para a Melhoria da Produção das Pás SG145.....	26
3.1. Siemens Gamesa Renewable Energy Blades S.A.....	26
3.1.1. Constituição Turbina Eólica.....	27
3.1.2. Composição da Pá Eólica.....	28
3.1.3. Processo de Fabrico.....	29
3.1.4. <i>Layout</i> por posição fixa.....	33
3.2. Análise e Melhoria da Produção da Pá SG145.....	34
3.2.1. Análise do Estado Atual.....	34
3.2.1.1. Elaboração do VSM do Estado Atual.....	38

3.2.1.2. Elaboração do VSM do Estado Futuro	42
3.2.2. Ações de Melhoria – Propostas e Resultados	46
3.2.2.1. <i>Main Shell</i>	46
3.2.2.2. <i>Semi Roots</i>	54
3.2.2.3. <i>Webs</i>	60
3.2.3. Discussão de Resultados	69
4. Conclusões	71
4.1. Perspetivas de Trabalho Futuro	72
Referências Bibliográficas	74
Anexo A: Organograma Siemens Gamesa Renewable Energy Blades	82
Anexo B: <i>Standard Work</i> Desmoldagem da pá e Movimentação – até às primeiras 8 tarefas.	83
Anexo C: <i>Layout</i> dos moldes da <i>main shell</i> SG145	84
Anexo D: Documentação das auditorias 5S	85
Anexo E: Documento com a distribuição das tarefas na área das <i>Webs</i>	86
Anexo F: Fluxo de Movimentações na área das <i>Webs</i> até à colocação do <i>core</i>	87

Índice de Figuras

Figura 1: Ciclo PDCA (Imai, 1986; Tilkemeier, 2016).....	14
Figura 2: Exemplo de um diagrama de <i>Spaghetti</i> (Allen, 2006).	18
Figura 3: Diagrama de <i>Ishikawa</i> (Bilsel & Lin, 2016).....	19
Figura 4: Etapas VSM (Rother & Shook, 2009).....	20
Figura 5: Símbolos VSM (Rother & Shook, 2009).....	22
Figura 6: Diagrama de Pareto.....	27
Figura 7: Constituição de uma torre eólica. Adaptado de Burton et al. (2001).....	28
Figura 8: Composição de uma pá eólica SG145.....	28
Figura 9: <i>Main Shell - Leading Edge (LE), Trailing Edge (TE), Root e Tip</i> . Adaptado de (Mishnaevsky et al., 2017).	29
Figura 10: Pá desmoldada e movimentada por pontes suspensas.	30
Figura 11: Esquema do processo produtivo da <i>main shell</i>	31
Figura 12: Pré-fabs da pá SG145: <i>webs, semi root e cap</i> respetivamente.	31
Figura 13: Pá disponível para expedição.	32
Figura 14: Identificação das áreas críticas.	38
Figura 15: VSM Estado Atual - Moldes.	40
Figura 16: VSM Estado Atual – Acabamentos.	41
Figura 17: VSM Estado Futuro - Moldes.	44
Figura 18: VSM Estado Futuro – Acabamentos.	45
Figura 19: <i>Layup</i> em corda na zona da <i>root</i>	47
Figura 20: Fibras dispostas em raio, colocadas no sentido da <i>tip</i> para a <i>root</i> (da direita para a esquerda).	48
Figura 21: Cenário inicial - cestas por identificar ou mal identificadas.....	48
Figura 22: Identificações dos carros e das cestas, respetivamente.....	49
Figura 23: Carro de fibras cosidas e transporte dos rolos para a <i>shell</i> por pontes.	50
Figura 24: Pá a ser posicionada nos carros (no caso do carro do lado da <i>root</i> , deve respeitar-se a cota de 1m. No que diz respeito ao segundo, este deve estar a 1,5 m da balsa).....	51
Figura 25: Situação antes e depois, respetivamente.....	51
Figura 26: Desorganização inicial da <i>shell</i> SG145: a) existem caixas de cartão no piso e tubos de fibra no papelão; b) o papel foi depositado nas cestas; c) zona da <i>root</i> com resíduos no chão e resíduos mal alocados; d) etapa da ripagem, porém existem dois bidões de resina da fase anterior e o plástico está colocado no sítio errado.....	52
Figura 27: Identificação do <i>layout</i> SG145 afixado no molde.....	54

Figura 28: Diagrama de <i>Ishikawa</i> - causas do tempo de ciclo elevado na área de produção das <i>semi roots</i>	55
Figura 29: Atividades redundantes durante o <i>layup</i> das <i>semi roots</i> : aplicação de <i>spray</i> , cosedura nas abas laterais e colocação de molas, respetivamente.	56
Figura 30: Falta de ergonomia aquando do <i>layup</i> , neste caso, em corda.	56
Figura 31: <i>Layout</i> futuro das <i>semi roots</i> e fluxo de movimentações. Nota: as setas a cinzento representam o percurso extra que o operador da logística terá de efetuar, sendo que, atualmente, apenas efetua as deslocações correspondentes às setas pretas.	58
Figura 32: Fluxo de movimentações, no cenário inicial.	62
Figura 33: Matriz de operações relativas à etapa de preparação do molde, no cenário inicial (os números das tarefas desta figura correspondem aos da Figura 32).	63
Figura 34: Fluxo de movimentações, no cenário proposto.	64
Figura 35: Matriz de operações relativas à etapa de preparação do molde, no cenário proposto.....	64
Figura 36: Cenário proposto de disposição das fibras de reforço na <i>root</i>	65
Figura 37: Diagrama de <i>Spaghetti</i> – cenário inicial.	66
Figura 38: Distâncias percorridas pelos operadores D e E, respetivamente, no cenário anterior.	66
Figura 39: Diagrama de <i>Spaghetti</i> – cenário pós alterações.	67
Figura 40: Distâncias percorridas pelos operadores D e E, respetivamente, no cenário após alterações propostas.	67
Figura 41: Ferramentas de auxílio: posicionamento de fibras e corte na <i>root</i> , respetivamente.	68
Figura 42: Etiquetas de identificação dos raios iniciais e finais das camadas de fibra.....	68
Figura 43: Comparação dos tempos de ciclo com os valores objetivo.	69

Índice de Tabelas

Tabela 1: Os 7 desperdícios <i>Lean</i> (Ohno, 1988; Pinto, 2014).....	9
Tabela 2: Variáveis para cálculo do <i>Takt Time</i>	36
Tabela 3: Valores do tempo de ciclo, considerando o número de áreas de trabalho e desvio-padrão.	37
Tabela 4: Valores do tempo de ciclo dos Estados Atual e Futuro.	42
Tabela 5: Tempos relativos a desperdício e a processamento, dos VSM Atual e Futuro, para os moldes e acabamentos.	43
Tabela 6: Objetivos de redução para o Estado Futuro.	43
Tabela 7: Plano de ações main shell PS e SS. Nota: na coluna “Responsável” encontram-se as iniciais de cada pessoa (Exemplo: DA – Daniela Almeida).	47
Tabela 8: Plano de Ações <i>semi roots</i> . Nota: na coluna “Responsável” encontram-se as iniciais de cada pessoa (Exemplo: DA – Daniela Almeida).	57
Tabela 9: Redução de custos com a aquisição do molde invertido.	59
Tabela 10: Plano de ações <i>webs</i> . Nota: na coluna “Responsável” encontram-se as iniciais de cada pessoa (Exemplo: DA – Daniela Almeida).	60
Tabela 11: Comparação do antes e depois, face às distâncias percorridas.	67
Tabela 12: Tempos de ciclo médio das áreas examinadas, do mês de maio.	69

1. Introdução

O projeto descrito no presente relatório foi desenvolvido na empresa *Siemens Gamesa Renewable Energy Blades*, no âmbito do estágio curricular do mestrado em Engenharia a Gestão Industrial. Neste primeiro capítulo faz-se uma contextualização do projeto desenvolvido, identificando-se os seus objetivos e a metodologia adotada para a sua concretização. Finalmente, apresenta-se sucintamente a estrutura subjacente à organização do relatório.

1.1. Contextualização do Projeto

As últimas décadas caracterizam-se por uma competitividade crescente sentida nos mercados, tornando-se preponderante que as empresas adotem fontes de vantagem competitiva, de modo a conseguirem tornar os seus negócios sustentáveis (Aalst et al., 2016). De facto, os consumidores estão cada vez mais exigentes, o que aliado a mercados saturados, globalizados e com muita oferta, faz com que as organizações enfrentem dificuldades acrescidas no que concerne à retenção de clientes (Vugec et al., 2019). Deste modo, a redução de custos, a eliminação de desperdícios e a gestão eficiente dos processos são determinantes para manter a competitividade e promover a melhoria contínua, possibilitando o bom desempenho organizacional.

A empresa em estudo atua na produção de pás eólicas, e foi adquirida pelo grupo *Siemens Gamesa Renewable Energy* em maio de 2020, pelo que ainda se depara com tempos de produção longos, processos pouco estáveis e com muitas oportunidades de melhoria. Desta forma, a problemática sentida na empresa residia no elevado *lead time* e tempos de ciclo, que com o aumento da procura, resultaram em gargalos produtivos e consequentemente, poderiam condicionar a entrega atempada das encomendas.

Uma vez que os custos de falhas/atrasos de entregas das encomendas são muito elevados, a empresa tem apostado na adoção uma abordagem *Lean* no seu sistema de produção, através da aplicação de ferramentas e metodologias de melhoria contínua, com o objetivo de eliminar desperdícios e reduzir o *lead time*. Esta aplicação acontece nas diferentes áreas de trabalho, designação dada pela empresa à produção por uma determinada equipa de colaboradores de uma parte específica da pá.

O trabalho desenvolvido na empresa centrou-se na produção do modelo de pás que apresenta atualmente o maior volume de encomendas na *Siemens Gamesa*, e que é um dos três modelos de pás produzidos. Neste sentido, o projeto encontra-se alinhado com os objetivos da empresa, contribuindo para a identificação e melhoria das áreas produtivas da

fábrica que atualmente não têm capacidade para acompanhar o aumento da procura por parte dos clientes. Para tal, a base das soluções para o cenário apresentado, assenta na filosofia *Lean* e na aplicação de ferramentas de melhoria contínua, para garantir a satisfação da procura.

1.2. Objetivos e Metodologia

O projeto realizado teve como principal objetivo melhorar o processo de produção do projeto da pá eólica SG145, através da implementação de ferramentas *Lean*, com vista à identificação de gargalos e subprocessos críticos, diminuição do *lead time* e dos tempos de ciclo, redução de desperdício e criação de linhas modelo.

Para alcançar o objetivo definido, começou-se pela aplicação da ferramenta do *Value Stream Mapping* (VSM) ao processo de produção da pá SG145. Para tal, foi necessário, numa primeira etapa, recolher dados sobre o funcionamento da linha de produção desta pá e acompanhar de forma assídua, no chão de fábrica, todo o desenrolar das diferentes operações de processamento. A partir dos dados recolhidos e das observações realizadas, fez-se o mapeamento do estado atual da produção das pás, o qual foi depois analisado cuidadosamente com o intuito de identificar quais os subprocessos em que seria necessário atuar de imediato, dada a urgência em diminuir os tempos de ciclo para garantir a entrega atempada das encomendas.

Posteriormente, foi elaborado o VSM do estado futuro da produção das pás SG145, tendo em consideração os objetivos de melhoria definidos relativamente à diminuição de tempos de ciclo, de desperdício e do *lead time*. O desenho deste VSM resultou da observação dos pontos críticos provenientes da análise do VSM relativo ao estado atual do processo. Para que fosse possível alcançar este estado, definiram-se, então, planos de ações de melhoria para os subprocessos identificados como gargalos, através da realização de eventos *Kaizen*. Foram, portanto, efetuadas reuniões com os trabalhadores, líderes de equipa, supervisores e diretores industriais envolvidos na produção das pás, para discussão e levantamento dos problemas existentes. Nesta fase, foi essencial um acompanhamento constante dos processos no terreno, seguindo-se o ciclo PDCA.

Para além do objetivo da redução das métricas anteriormente mencionadas foi utilizada a abordagem *model line* para as áreas identificadas, ou seja, criaram-se *standards* e ferramentas de gestão visual, ao longo de toda a linha de produção das pás SG145, que no futuro poderão ser generalizados à produção de outros modelos de pás.

Após a definição das ações para eliminar e/ou diminuir os problemas existentes, seguiu-se a implementação das mesmas e, por fim, a avaliação do seu impacto de acordo com os valores objetivo definidos para os indicadores de desempenho selecionados.

1.3. Estrutura do Relatório de Projeto

O presente relatório encontra-se estruturado em 4 secções. Inicia-se com a introdução, onde é feita uma apresentação do projeto e a contextualização dos problemas identificados na produção das pás SG145, que estiveram na base do trabalho desenvolvido. Adicionalmente, são enunciados os objetivos e a metodologia utilizada para os alcançar.

No capítulo 2 é feita uma revisão da literatura sobre sistemas de produção *Lean*, sendo expostos os conceitos teóricos mais relevantes no âmbito do projeto desenvolvido e que possibilitaram o alcance dos objetivos definidos. Mais concretamente, são alvo de estudo conceitos como *Lean Thinking*, *Lean Manufacturing*, desperdícios, indicadores de desempenho e ferramentas/metodologias de melhoria contínua.

Em seguida, apresenta-se o trabalho desenvolvido na *Siemens Gamesa Renewable Energy Blades*, começando-se por uma apresentação da empresa, uma descrição da composição de uma pá eólica e do seu processo de produção, bem como do tipo de *layout* em que o mesmo ocorre. Descreve-se depois a análise realizada à produção da pá SG145, através da elaboração do VSM do Estado Atual, bem como o levantamento de objetivos para alcançar o seu Estado Futuro, o qual é também desenhado (VSM do Estado Futuro). A partir deste último VSM é apresentado o plano de ações de melhoria proposto para o alcançar, bem como descrita a sua implementação e os resultados obtidos com a mesma. O capítulo termina com a discussão dos resultados obtidos, fazendo-se uma comparação entre estes e os objetivos definidos para o estado futuro do processo.

No capítulo 4 são apresentadas as principais conclusões do projeto realizado e elencam-se algumas propostas para trabalho futuro.

2. Sistemas de Produção *Lean*

Neste capítulo apresentam-se os conceitos de *Lean Thinking* mais relevantes para sustentar a realização do estágio curricular, entre as quais, os princípios *Lean*, métricas relevantes para o projeto prático e ferramentas como o ciclo PDCA, 5S, gestão visual, *Value Stream Mapping* (VSM), entre outras.

2.1. *Toyota Production System*

Nos anos 50, com as dificuldades económicas resultantes da segunda guerra mundial e a escassez de recursos, as empresas japonesas sentiram-se obrigadas a alterar os seus paradigmas de gestão das operações para conseguirem sobreviver (Womack & Jones, 2003). Como resultado, a *Toyota Motor Corporation*, criou o *Toyota Production System* (TPS), com o intuito de melhorar a sua adaptação aos mercados, através de um método contrastante com a produção em massa (Womack et al., 1990; Womack & Jones, 2003).

Os principais impulsionadores do TPS foram Kiichiro Toyoda, presidente da *Toyota*, e o engenheiro Taiichi Ohno, que propuseram uma nova abordagem à produção fundamentada em dois pilares: *Just-in-Time* (JIT) e *Jidoka* (Ohno, 1988; Xue-gang & Er-shi, 2010). Em relação ao primeiro pilar, este assenta na produção de componentes e produtos finais apenas quando necessário, nas quantidades certas e no tempo apropriado, ambicionando a eliminação de *stocks* (Ohno, 1988). Por sua vez, o segundo pilar relaciona-se com a prevenção de erros durante os processos produtivos e com a consequente eliminação de desperdícios, tais como o excesso de produção (Ohno, 1988; Wilson, 2009).

Em suma, o TPS define-se como uma abordagem à gestão das operações que visa alcançar maior eficiência nas organizações, através da diminuição de custos e garantindo a satisfação dos consumidores e a qualidade do produto (Ohno, 1988).

2.2. *Lean Manufacturing e Lean Thinking*

2.2.1. Origem e Evolução

Durante mais de duas décadas, o *Toyota Production System* foi aperfeiçoado, traduzindo-se no alcance progressivo de cada vez melhores resultados operacionais, com recurso a técnicas de engenharia industrial e conceitos de gestão moderna (Xue-gang & Er-shi, 2010). Em 1988, com a publicação do artigo "*Triumph of Lean Production System*"

(Krafcik, 1988), a filosofia de produção subjacente ao TPS foi designada de “*Lean Production*”. Posteriormente, em 1990, o lançamento do livro “*The Machine That Changed the World*”, espoletou o crescente interesse pela adoção de práticas orientadas à criação de valor, popularizando o termo produção *Lean* (Wang & Qi, 2008; Womack et al., 1990).

Face ao exposto, nas últimas décadas, o *Lean* tem-se destacado como uma estratégia de negócio que garante a competitividade, redução de custos operacionais e diminuição de tempos de ciclo (Mourtzis et al., 2016; Wang & Qi, 2008). A adoção de sistemas *Lean* tornou-se inevitável para adquirir vantagem competitiva, alastrando-se em vários setores e países, incluindo nos menos desenvolvidos, com vista à criação contínua de valor (Carandente et al., 2013; Jadhav et al., 2015; Karwasra et al., 2021).

Segundo Wuang & Qi (2008), o *Lean* é uma filosofia aplicada em negócios ou ambientes industriais, que engloba vários métodos para otimizar tempo, recursos, o desempenho e o nível de qualidade entregue aos clientes. Mourtzis et al. (2016), acrescentam que é uma prática que assenta na eliminação de atividades não produtivas ao longo de toda a cadeia de valor da organização, para criar mais valor para o cliente e estimular o empoderamento dos colaboradores. Perante o pensamento *Lean*, qualquer utilização de recursos que não atribua valor ao cliente, deve ser alvo de mudança ou eliminação (Mourtzis et al., 2016).

Os autores mencionados, apontam ainda que as operações *Lean* se focam na melhoria contínua e na eliminação dos desperdícios decorrentes dos processos da produção, proporcionando a redução de custos. De facto, o *Lean* está muito orientado a processos produtivos e a sua aplicação traz vários benefícios para as empresas, incluindo a melhoria da capacidade, produtividade, utilização de recursos, diminuição de *stocks* e variabilidade (Mourtzis et al., 2016). Apesar da origem do *Lean* ser na produção industrial, é importante mencionar que atualmente tem aplicações em vários domínios, nomeadamente nos serviços, onde a sua adoção tem crescido progressivamente (Wang & Qi, 2008; Womack & Jones, 2003).

Womack & Jones (2003), introduziram o conceito do *Lean Thinking*, como uma forma de pensamento que deve guiar as organizações para diminuir esforços, tempo, recursos, espaço, custos e defeitos, enquanto oferece continuamente produtos e/ou serviços que vão ao encontro das necessidades dos clientes. O *Lean Thinking* assenta em cinco princípios (Womack & Jones, 2003):

1. Especificação de Valor

Definir o valor, garantindo que se ajusta às necessidades reais dos clientes. A dificuldade desta definição reside no facto do valor percebido pelos clientes não ser linear, dependendo do que cada um valoriza. É, portanto, imprescindível comunicar com o cliente para perceber o que é que para ele constitui valor. Womack & Jones (2003) reforçam a importância da redefinição da especificação de valor, sendo esta a chave do sucesso do *Lean Thinking*, para conquistar e reter os clientes. Portanto, esta fase destaca-se pela procura sistemática pela melhoria dos produtos, aumento de vendas e atividades produtivas. A tarefa determinante da caracterização do valor consiste na determinação do custo, pois o montante a pagar pelo cliente tem de corresponder ao produto/serviço adquirido.

2. Identificação do Fluxo de Valor

O fluxo de valor inclui a sequência de atividades que compõem o produto ou serviço (Mourtzis et al., 2016). Neste sentido, o mapeamento de processos permite identificar e mensurar quais as atividades que contribuem para adicionar valor e as que correspondem a valor não acrescentado. De acordo com a literatura, existem três categorias de atividades: as de valor acrescentado, pelas quais o cliente está disposto a pagar; as não produtivas, mas que são inevitáveis para o desenvolvimento do produto, não podendo ser eliminadas de imediato; e as que não agregam valor e que podem ser eliminadas instantaneamente.

3. Implementação de um Fluxo Contínuo

Realização de atividades de forma contínua, desde o pedido ao fornecimento dos bens, sem movimentos desnecessários e interrupções. O objetivo consiste em diminuir o recurso a zonas de *stock* e filas de espera, pretendendo-se transportar as peças certas, no momento certo e realizando a operação certa.

4. Implementação de um Sistema *Pull*

Por definição, uma abordagem *pull* defende que apenas um pedido a jusante, por parte do cliente, pode desencadear a produção a montante. Deste modo, a produção é realizada de acordo com a procura real e não com base em previsões desta mesma procura.

5. Perfeição

Com a aplicação dos passos anteriores, ambiciona-se criar valor para o cliente e eliminar desperdícios, até atingir a perfeição. O ciclo do pensamento *Lean* não tem fim, na

medida em que a procura pela melhoria é constante, existindo sempre formas de eliminar desperdícios (*muda*), para reduzir esforço, tempo, espaço e erros.

Pinto (2014), aponta algumas falhas nos princípios anteriormente descritos, nomeadamente pelo facto de serem apenas orientados aos clientes e não terem em conta todos os *stakeholders*. Para além disto, a inovação não é alvo de matéria de criação de valor.

Apesar da notoriedade associada ao *Lean* e da satisfação percebida pelas organizações que o adotam, existem alguns desafios inerentes, tais como a promoção de uma cultura de melhoria contínua entre todos os funcionários. De facto, acredita-se que os níveis hierárquicos superiores detêm um conhecimento mais profundo dos princípios *Lean*, em prol de melhores resultados (Mourtzis et al., 2016). Portanto, a dificuldade reside na instituição e cultivo do espírito de melhoria contínua em todos os níveis hierárquicos e em contrariar a resistência à mudança. Como tal, as empresas devem envolver os colaboradores numa estratégia partilhada e em torno de um foco comum (Eriksson & Fundin, 2018).

2.2.2. Os 7 desperdícios – Muda

Segundo Pinto (2014), o tempo despendido numa organização em atividades que não acrescentam valor é superior a 95%; por outro lado, cerca de 40% dos custos advêm da manutenção do desperdício gerado. Posto isto, a identificação e eliminação das atividades que não agregam valor são fundamentais para atingir vantagem competitiva, na medida em que permitem entregar o mesmo produto a custos menores (Pinto, 2014).

Na literatura, são elencados sete desperdícios decorrentes de processos produtivos (*muda*): transporte, *stocks*, movimentação, espera, produção excessiva, processamento excessivo e defeitos (Ohno, 1988) (Tabela 1). Adicionalmente, foi acrescentado um oitavo – o não aproveitamento das capacidades das pessoas.

Desperdício	Descrição
Sobreprodução	Produção desnecessária, ou seja, mais do que o cliente pede. Isto origina outros desperdícios, tais como o excesso de inventário, matéria-prima e ocupação de recursos.
Esperas	Podem derivar de avarias, defeitos, problemas de <i>layout</i> (originando transportes excessivos), entregas tardias de fornecedores, entre outros. Equivale a tempo perdido por pessoas ou equipamentos, à espera por algo, que interrompem o fluxo contínuo.
Transporte	Qualquer movimentação ou transporte de materiais de um local para outro. Constituem custos de aquisição, manutenção, ocupam espaço e acrescem os tempos de produção. Não é viável eliminar todas as transferências de material, contudo, podem ser minimizadas.
Sobreprocessamento	Operações/processos desnecessários e pouco eficientes, não contribuindo para criar valor ao produto. Usualmente, devem-se à falta de formação e de <i>standards</i> .
Stocks	Retenção de materiais por um determinado tempo, dentro ou fora das instalações fabris. As causas mais comuns predem-se com o <i>layout</i> , elevados tempos de trocas de ferramentas, existência de gargalos, ritmos diferentes de produção, problemas de qualidade e produção antecipada. Representa um custo para a empresa, visto que é material parado, que se deprecia ao longo do tempo.
Movimentos	Movimentos que não são necessários para efetuar as operações, provenientes de <i>layouts</i> incorretos, falta de formação, treino e operações instáveis.
Defeitos	Inconformidades ao nível da qualidade, comparativamente às especificações, acarretando retrabalhos e aumento do <i>lead time</i> . Para além de consumir tempo, recursos e custos de inspeção, diminuem a produtividade e aumenta os custos do produto.

Tabela 1: Os 7 desperdícios *Lean* (Ohno, 1988; Pinto, 2014).

2.2.3. Métricas *Lean*

Existem vários indicadores no que diz respeito à produção, bastante relevantes para perceber o estado em que a mesma se encontra. Os *Key Performance Indicators* - KPIs - são uma forma de auxiliar a tomada de decisões e de quantificar as melhorias aplicadas, em termos de tempo, qualidade ou custos (Aalst et al., 2016; Meier et al., 2013). A seleção de KPIs deve ir ao encontro dos objetivos organizacionais, sendo que para aumentar a eficiência produtiva, devem-se englobar essencialmente dimensões de tempo e custos (Aalst et al., 2016). Neste sentido, expõem-se as métricas *Lean* mais relevantes para o âmbito do estágio:

- Tempo de ciclo (CT) – frequência com que uma peça ou produto são terminados por um processo, ou tempo que um operador demora até repetir o seu trabalho (Ohno, 1988).
- *Lead Time* (LT) – tempo que demora um produto a atravessar toda a cadeia de valor, desde o pedido do cliente até à sua entrega (Rother & Shook, 2009).
- *Takt Time* (TT) – frequência a que se deve produzir, para conseguir satisfazer a procura (Rother & Shook, 2009). A fórmula para calcular este indicador é dada por:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ Trabalho\ Disponível}{Procura}$$

- Tempo de Valor Acrescentado – tempo correspondente a elementos de trabalho que transformam o produto, pelo qual o cliente está disposto a pagar (Rother & Shook, 2009).
- Tempo de Valor não Acrescentado – Em oposição à métrica anterior, corresponde a tempo que não agrega valor, isto é, a desperdício (Rother & Shook, 2009).

2.3. Ferramentas e Metodologias *Lean*

São muitas e variadas as ferramentas e metodologias tipicamente usadas no âmbito dos sistemas de produção *Lean* para alcançar melhorias de produtividade e redução de custos. De entre estas são de destacar as que auxiliam a resolução de problemas e eliminação de desperdícios, e que devem ser usadas consoante os objetivos pretendidos. Seguidamente, apresentam-se algumas destas ferramentas e metodologias *Lean*, especialmente relevantes no âmbito da realização do projeto descrito neste relatório.

2.3.1. *Just-in-Time*

Tal como referido anteriormente, o *Just-in-Time* é um dos pilares do TPS, que visa a produção aquando da procura real do cliente. O objetivo primordial passa por eliminar as fontes de desperdício dos processos ao longo de todo o fluxo de produção. Para tal, é necessário que as empresas transformem a sua estratégia tradicional de gestão, evoluindo de um sistema *push* para um *pull* (Nelson, 2016). Enquanto no sistema *push* o produto é empurrado para o processo seguinte, tendo como base previsões da procura, no sistema *pull* o produto passa a ser puxado pelos pedidos do cliente (Nelson, 2016; Womack et al., 1990).

Neste sentido, num processo empurrado, é frequente a acumulação de *stock*, custos, e falta de flexibilidade a mudanças do mercado (Nelson, 2016; Wu et al., 2019). Por sua vez, numa estratégia puxada, existe uma maior capacidade de resposta às alterações e um menor nível de *stock*; no entanto, também existem desvantagens como a dificuldade em responder em casos de picos imprevisíveis de procura (Ohno, 1988).

2.3.2. Model Line

O conceito de linha modelo – *model line* – surgiu no final dos anos 60, na Toyota, por Taiichi Ohno (Womack, 2018). O objetivo de uma linha modelo é criar uma referência de aplicação de *Lean Thinking* numa determinada área, a qual implica a realização de múltiplas melhorias, alcançando-se resultados inovadores e instituindo-se uma cultura de aprendizagem e de melhoria contínua a longo prazo (Koenigsaecker, 2013).

Desta forma, apresenta-se como uma estratégia desenvolvida segundo princípios *Lean*, onde se destaca a importância de ferramentas como o *standard work*, 5S, gestão visual, balanceamento das operações e a abordagem *pull* (Hamel, n.d.; Harari et al., 2013). Com uma linha modelo ambiciona-se aumentar a produtividade, consistência e qualidade numa linha de produção, a qual passa a servir como base e exemplo para as outras linhas de trabalho da fábrica (Hamel, n.d.; Koenigsaecker, 2013). Esta metodologia é um ponto chave para a mudança e sucesso das organizações, quando devidamente apoiada pela gestão de topo (Womack, 2018).

2.3.3. Kaizen vs Kaikaku

O *Kaizen* assenta em pequenas mudanças sustentadas em melhorias inovadoras e incrementais, sem necessidade de elevado esforço de capital (Kumar et al., 2017). Foi introduzido em 1981, numa empresa japonesa, para garantir a melhoria contínua de processos, produtos e sistemas, com vista a colmatar desperdícios, defeitos e variabilidade, reforçando o papel ativo dos funcionários (Dhingra et al., 2019; Kumar et al., 2017). Berger (1997), identifica três vertentes de atividades *Kaizen*: gestão *Kaizen*, grupos/equipas *Kaizen* e *Kaizen* individual. O *Kaizen* orientado para a gestão, engloba melhorias graduais de procedimentos e sistemas, tais como, no planeamento, controlo e no processo de tomada de decisões. O *Kaizen* individual, foca-se no indivíduo, estimulando a proposta de sugestões de melhorias face ao método de trabalho.

No que diz respeito aos grupos/equipas *Kaizen*, estes surgem dos eventos *Kaizen* (Venkatesan & Kundu, 2020). Os eventos *Kaizen* são projetos estruturados, onde são aplicadas ferramentas *Lean* numa determinada área, por equipas multidisciplinares constituídas por um grupo restrito de pessoas, com a intenção de alcançar um objetivo, num curto período de tempo (Cannas et al., 2018; Farris et al., 2009; Garza-Reyes et al., 2020). Através deste método, o envolvimento dos colaboradores é potenciado para identificar os desperdícios e sugestões de melhoria, permitindo a tomada de decisões (Vo et al., 2019). Tipicamente, as oportunidades de melhoria exigem custos baixos, recorrendo-se à criatividade (Chen et al., 2010; Cherrafi et al., 2019).

Em contrapartida ao conceito exposto, o *Kaikaku* refere-se a alterações radicais, muitas vezes pautadas por mudanças inovadoras que surgem das oportunidades em alcançar resultados mais impactantes, partindo da base de que existe capital para investimento (Gåsvaer & Axelson, 2012).

Existem vários autores que realçam que a utilização combinada de ambas as metodologias é crucial para as organizações, pois com o *Kaikaku* surgem resultados mais rápidos mas com o *Kaizen*, são obtidas melhorias graduais que contribuem para bons resultados (Gåsvaer & Axelson, 2012). O *Kaikaku* é muito relevante para que as empresas se mantenham competitivas e inovadoras; porém nem sempre é passível de ser implementado, uma vez que os custos, o tempo necessário e as mudanças que envolve podem ser muito significativos.

2.3.4. Ciclo PDCA

O ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), também conhecido como ciclo de Deming, é um ciclo sistemático e iterativo de melhoria de processos (Nino et al., 2020). Ainda que tenha sido elaborado por Walter Shewhart, na década de 1930, foi Deming quem impulsionou a popularidade do método, em 1950 (Pinto, 2014). O método *Kaizen* segue o ciclo apresentado (Imai, 1986).

A inclusão do PDCA nos projetos das organizações aumenta a probabilidade da análise e implementação das melhorias serem bem sucedidas (Nino et al., 2020). Para além de promover a melhoria contínua das organizações, é uma ferramenta fácil de

implementar, não exigindo conhecimentos técnicos (Imai, 1986; Pinto, 2014). As fases que compõem o PDCA (Figura 1) são (Imai, 1986; Tilkemeier, 2016):

1. Plan (Planear)

Análise da situação atual, na qual é necessário recolher dados para sustentar o plano de ações de melhoria. Desta forma, são estudadas as causas dos problemas, definem-se os objetivos de melhoria e as projeções da equipa face à situação futura. Desta etapa, resulta um plano de ações com os objetivos definidos, numa linha temporal estipulada e com todas as áreas que irá envolver.

2. Do (Fazer)

Colocar em prática o plano previamente delineado e escolha de um líder para supervisionar o processo de implementação do mesmo. Para que o plano seja exequível, deve-se garantir a formação dos colaboradores, documentar os problemas que possam ocorrer e analisar os dados após execução.

3. Check (Verificar)

Avaliar o impacto das intervenções e se corresponderam aos objetivos estipulados, permitindo inferir acerca da taxa de sucesso do projeto. Portanto, pretende-se comparar o desempenho e indicadores iniciais com o cenário após aplicação do plano. Todas as melhorias e aprendizagens devem ser documentadas.

4. Act (Agir)

Adotar medidas preventivas e corretivas, como forma de agir caso o problema inicial volte a surgir. O líder deve determinar se o plano pode ser implementado ou se há necessidade de voltar ao início do ciclo, para estipular novas metas e se controlar o processo.

O ciclo do PDCA é interminável, na medida em que os novos *standards* definidos são continuamente revistos, questionados e substituídos por práticas mais recentes e melhoradas (Imai, 1986).

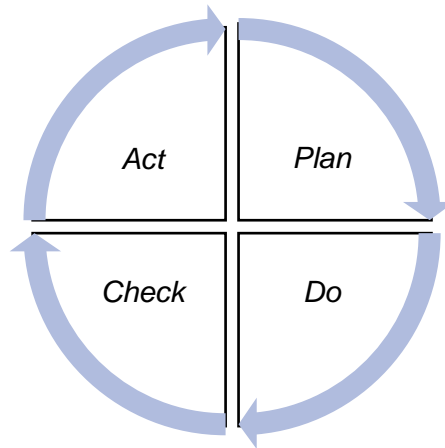


Figura 1: Ciclo PDCA (Imai, 1986; Tilkemeier, 2016).

2.3.5. *Standard Work* – Trabalho Padronizado

O *Standard Work* é uma ferramenta que garante a consistência no trabalho, com rapidez, repetições e recurso a diferentes pessoas, com o objetivo de reduzir a variabilidade, assegurar a segurança, a conformidade na produção e a qualidade (Lu & Yang, 2015). A padronização do trabalho é bastante desejada pois, caso contrário, não é possível distinguir o que é aceitável e não aceitável, e o estado do trabalho tende a tornar-se caótico, desviando a atenção da causa raiz dos problemas (Williams, 2018). Apenas com um *standard* é possível detetar, de forma clara, as oportunidades de melhoria e minimizar as inconsistências.

Nesta perspetiva, Imai (1986) realça a importância da estabilização dos padrões/normas atuais dos processos, antes de se aplicar o PDCA. Com isto, surge a metodologia *Standardize-Do-Check-Action* (SDCA), e apenas quando um processo se torna estável é que se pode melhorá-lo, através do ciclo de Deming (Imai, 1986). Para uma gestão bem-sucedida, ambas as abordagens devem ser seguidas.

O trabalho padronizado consiste na sequência equilibrada de operações de cada trabalhador, especificação de padrões para o ritmo de produção, alinhada com o *takt time*, e do inventário necessário (Bragança & Costa, 2015; Lu & Yang, 2015). Deste modo, compreende um conjunto de procedimentos, representados da forma mais eficaz, segura e consistente, ao longo do tempo. Independentemente de quem o realiza, garante-se que o trabalho é efetuado sempre da mesma forma, eliminando-se preferências individuais (Bragança & Costa, 2015). A criação de documentos proporciona o registo do trabalho

padronizado e a criação de pontos de referência e só desta forma é que se podem criar oportunidades *Kaizen* (Bragança & Costa, 2015).

Dos vários benefícios associados a esta ferramenta destacam-se a redução de custos, incluindo de formação, aumento do desempenho, flexibilidade, controlo, estabilidade e qualidade dos processos, previsão de anomalias e diminuição do *lead time* (Bragança & Costa, 2015).

2.3.6. Gestão Visual

A prática de visualizar informações e de descrever procedimentos de forma visual e intuitiva, é conhecida como gestão visual (Torghabehi et al., 2016). O objetivo desta ferramenta consiste em garantir a compreensão clara de processos e áreas associadas, de modo a que o desempenho dos trabalhadores seja efetuado corretamente (Eriksson & Fundin, 2018). Alguns exemplos de aplicações de gestão visual são *kanbans*, luzes *andon*, alarmes de evacuação, entre outros (Torghabehi et al., 2016).

Um sistema que compreenda estes mecanismos é a chave para operações *Lean* e essencial para garantir a standardização, na medida em que auxilia as ações dos trabalhadores através de informações essenciais, alinhadas com o objetivo de uso (Galsworth, 2017; Gonçalves & Salonitis, 2017). Apesar da vasta variedade de ferramentas, todas apresentam um aspeto em comum – facilitar que a gestão perceba o estado da empresa, apenas ao olhar para as mesmas (Galsworth, 2017). Como tal, permite obter um desempenho eficaz e excelência operacional (Torghabehi et al., 2016).

2.3.7. 5S

A ferramenta 5S é uma abordagem sistemática que pretende organizar, classificar, limpar, padronizar e melhorar continuamente uma área de trabalho (Singh & Ahuja, 2014). É uma metodologia bastante simples mas que tem um impacto muito significativo na redução de valor não acrescentado, no aumento da produtividade e no aproveitamento do espaço (Peiris et al., 2021; Singh & Ahuja, 2014). Os 5S assentam em cinco etapas:

1. **Seiri (separação)** – remoção de todas as ferramentas, materiais não necessários, equipamentos obsoletos e até de pessoas não necessárias das áreas de trabalho (Sule, 2008). Por conseguinte, consegue-se ter uma área mais organizada, com o consequente aumento da produtividade do trabalho, visto que existem menos obstáculos. Comumente, a triagem dos materiais consiste na utilização de

etiquetas vermelhas para remover os objetos não necessários (Peiris et al., 2021). Se alguns dos itens forem utilizados com pouca frequência, deve ser criada uma zona de *stock* à parte da estação de trabalho para os mesmos (Sule, 2008).

2. **Seiton (arrumação)** – colocação dos materiais de acordo com a sua utilização, ou seja, os mais usados devem ser dispostos perto do local em que serão utilizados para diminuir movimentos e distâncias percorridas (Singh & Ahuja, 2014). Deve-se atribuir um local e nome a cada item, garantir que os mesmos são fáceis de obter e de substituir e manter o pavimento limpo e seguro (Sule, 2008). Assim, começa-se pela organização dos itens maiores, como máquinas, desenvolvimento de áreas para o armazenamento necessário, e, por fim, ordenação dos materiais de menor dimensão.
3. **Seiso (limpeza)** – após a definição da localização dos itens e locais mais eficientes, prossegue-se à limpeza da área (Peiris et al., 2021).
4. **Seiketsu (padronização)** – assim que sejam realizados testes suficientes para averiguar a credibilidade do método aplicado na área de trabalho e que o processo esteja estável, é necessário padronizá-lo (Sule, 2008). Isto é, manter a área tal como projetada: disposição dos itens, facilidade em localizar e substituir itens e manutenção da limpeza da área. Alguns exemplos de padrões incluem auditorias mensais de limpeza, *standards* de trabalho e distribuição de tarefas (Singh & Ahuja, 2014; Sule, 2008).
5. **Shitsuke (disciplina)** – o sucesso alcançado nas organizações baseia-se no cumprimento das etapas anteriores (Peiris et al., 2021). Assim, nesta última etapa, pretende-se impulsionar o espírito de melhoria contínua, elaborar filmagens com as boas práticas, desenvolver sessões de treino para novas equipas e envolver todos os colaboradores (Sule, 2008).

2.3.8. Gemba Walks

A proximidade dos níveis de gestão com o chão de fábrica é deveras importante, uma vez que é onde é gerado o valor (Cherrafi et al., 2019; Romero et al., 2020). Uma forma de perceber esta integração vertical é por meio de *Gemba Walks* – termo japonês que se refere ao ato de “ir ver” fisicamente o que está a ocorrer no ambiente industrial e, conseqüentemente, perceber os problemas existentes (Romero et al., 2020).

Esta técnica é imprescindível para observar, interagir e recolher informações sobre as trabalho realizado pelos colaboradores e o funcionamento das máquinas, existindo assim quatro elementos que compõem os *Gemba Walks* (Romero et al., 2020):

1. Localização

Observação de um posto de trabalho, no local real, onde é criado o valor para o cliente.

2. Observação

Análise do trabalho dos colaboradores, observando as suas dificuldades e os desperdícios existentes.

3. Equipa

Interação com as equipas, para perceber quais os problemas sentidos e aspetos a melhorar.

4. Reflexão

Após a recolha de todas as informações dos colaboradores e depois de realizadas todas as observações decorrentes do acompanhamento do processo, reflexão acerca de ações a tomar no sentido de promover e cultivar a melhoria contínua.

2.3.9. Diagrama de *Spaghetti*

O diagrama de *Spaghetti* é um método simples de rastrear visualmente a movimentação de um objeto, produto ou trabalhador, ao longo de um processo (Mares et al., 2017). Permite ainda a representação de vários recursos, através da utilização de cores diferentes para cada um (Figura 2).

Depois de elaborar o diagrama, é realizada uma análise das distâncias percorridas e do número de movimentos, com o objetivo de identificar redundâncias e oportunidades de melhoria para reduzir desperdícios resultantes de deslocações e/ou de áreas organizadas de forma menos eficiente (Tanco et al., 2013). Tendo como base os *Muda* observados, sugerem-se alterações, tais como a redução do número de trabalhadores, alterações na distribuição do trabalho, do *layout* ou do fluxo de materiais (Mares et al., 2017; Sule, 2008).

Para quantificar as melhorias sugeridas, é bastante relevante voltar a desenhar um diagrama de *Spaghetti* da situação futura, por forma a poder compará-la com o cenário inicial (Tanco et al., 2013).

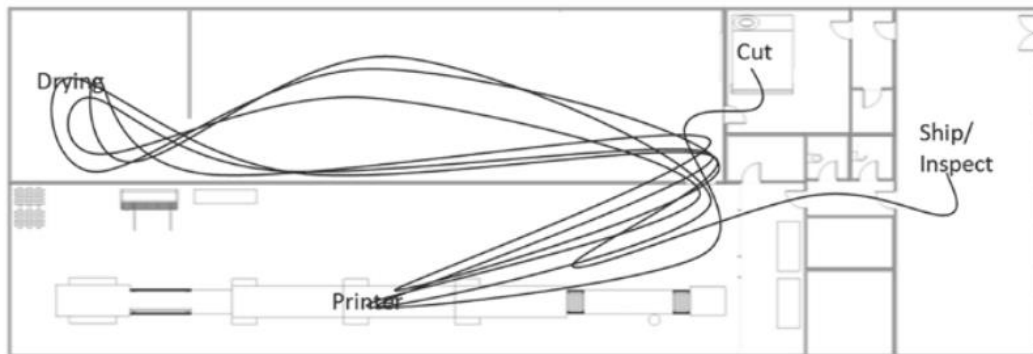


Figura 2: Exemplo de um diagrama de *Spaghetti* (Allen, 2006).

Para o desenho do diagrama, seguem-se as seguintes etapas (Allen, 2006):

1. Obter ou desenvolver o *layout* da área em questão.
2. Selecionar o recurso a seguir (pessoas, objetos ou outros).
3. Desenhar os movimentos observados, com uma linha contínua.
4. Calcular a distância total.
5. Determinar o tempo de viagem percorrido.
6. Analisar o diagrama de *spaghetti* e identificar movimentos redundantes e desnecessários.
7. Reorganizar os processos para reduzir a distância percorrida.
8. Alterar os passos 4-7, recorrendo a alterações do *layout* ou a novas suposições.

2.3.10. Diagrama de *Ishikawa*

O diagrama de *Ishikawa*, também conhecido como diagrama espinha de peixe ou causa-efeito, é uma das sete ferramentas básicas da qualidade (Bamford & Greatbanks, 2005), desenvolvida por Kaoru Ishikawa nos anos 60, no Japão (Wong, 2011). Na cabeça do peixe representa-se o problema em análise, enquanto as suas potenciais causas constituem as “espinhas” do peixe, geralmente recolhidas em sessões de *brainstorming*.

Com esta ferramenta é possível identificar e classificar graficamente as causas de um determinado problema ou característica, de uma forma estruturada e simples, cujo foco assenta exclusivamente nas causas e não nos efeitos (Mayur & Johnson, 2013; Suárez-Barraza & Rodríguez-González, 2018). Ishikawa sugeriu seis categorias para alocar as várias causas – os 6M’s – máquina, mão de obra, material, método, medida e meio-ambiente (Suárez-Barraza & Rodríguez-González, 2018). Adicionalmente, alguns autores incorporam o parâmetro gestão (Li & Lee, 2011).

Para a construção do diagrama de espinha de peixe, começa-se por elencar os aspetos mais gerais numa categoria, até alcançar quatro ou cinco níveis de profundidade (Figura 3), determinadas pela questão “porquê” (Suárez-Barraza & Rodríguez-González, 2018). Com isto, pretende-se chegar à causa raiz do problema, ou seja, aquela que tem maior impacto no problema em estudo (Bilsel & Lin, 2016). Desta forma, ao atuar sobre a causa, o problema será atenuado, permitindo diminuir a variabilidade. Em ambiente industrial revela-se bastante útil listar todos os fatores e criar um plano de ações para os solucionar (Li & Lee, 2011).

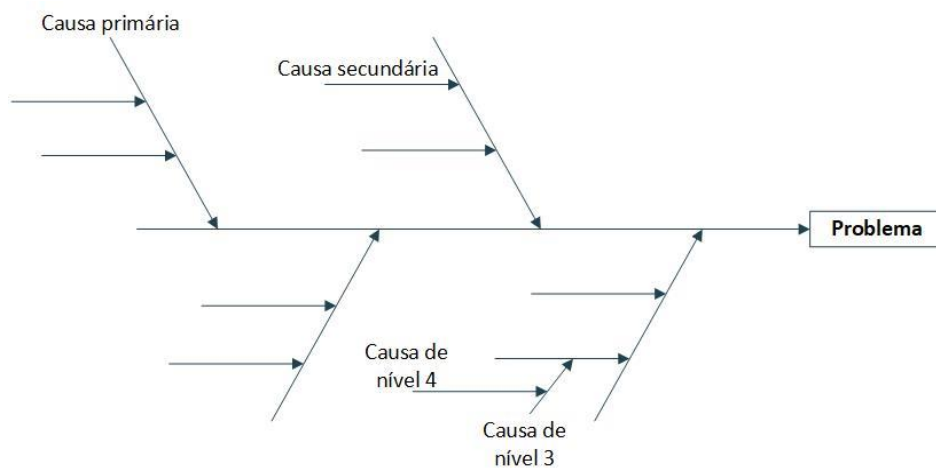


Figura 3: Diagrama de *Ishikawa* (Bilsel & Lin, 2016).

2.3.11. Value Stream Mapping

De acordo com Noto & Cosenz (2020), o momento determinante das aplicações de *Lean Thinking* prende-se com a identificação, mapeamento e análise das operações que constituem o processo, de modo a identificar desperdícios e representar o fluxo de atividades mais eficaz. Nos projetos baseados em *Lean*, o mapeamento de processos é frequentemente realizado através da ferramenta *Value Stream Mapping* - VSM, proposta por Mike Rother e John Shook, em 1998, que permite representar o fluxo de material e informação e destacar as atividades de valor acrescentado e não acrescentado (Hines et al., 1999; Noto & Cosenz, 2020; Rother & Shook, 2009).

Segundo os autores supracitados, o VSM é uma “ferramenta de comunicação, planeamento de negócios e de gestão de processos”, que possibilita identificar gargalos e fontes de desperdício, tendo surgido na *Toyota*, em ambiente produtivo (Rother & Shook, 2009, p. 9). Esta ferramenta utiliza um conjunto de grafismos para descrever os processos, mediante uma simbologia específica (Noto & Cosenz, 2020). Desta forma, proporciona a

sugestão de melhorias e o desenvolvimento de ações, auxiliando as empresas a aplicar tanto mudanças incrementais como radicais, com vista à melhoria de processos (Moyano-Fuentes & Sacristán-Díaz, 2012).

Importa destacar que o *Value Stream Mapping* é uma abordagem estática, que fornece uma representação do processo atual (“as is”), ou seja, uma fotografia do estado em que se encontra, com o intuito de diagnosticar oportunidades de melhoria (Noto & Cosenz, 2020). Posteriormente, pretendem-se definir ações que colmatem/eliminem as ineficiências, com o propósito de desenhar o cenário que se ambiciona alcançar (“to be”) (Noto & Cosenz, 2020).

Portanto, o VSM revela-se bastante eficiente para o redesenho do sistema produtivo, de acordo com uma visão *Lean*, contribuindo, assim, para que as organizações se mantenham competitivas e ágeis face às mudanças do mercado (Lasa et al., 2008). Esta ferramenta é utilizada ao nível macro, uma vez que representa os processos e a forma como estão interligados. Consequentemente, permite melhorar todo o fluxo e não apenas os processos a nível individual (Fukuzawa, 2020). A aplicação do mapeamento do fluxo de valor tem sido amplamente utilizada e mostra-se bastante eficiente tanto para indústrias de manufatura, como em setores dos serviços (Fukuzawa, 2020). O VSM baseia-se em quatro fases definidas por Rother & Shook (2009), representadas na Figura 4.

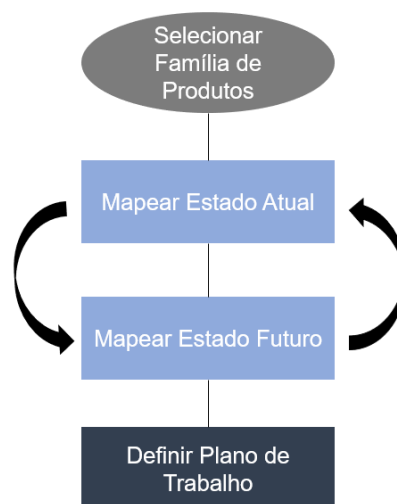


Figura 4: Etapas VSM (Rother & Shook, 2009).

a. Seleção da família de produtos

Em primeiro lugar, é necessário selecionar a família de produtos, visto que não é praticável o mapeamento total no chão de fábrica, dado que acresce dificuldade à representação. Tipicamente, esta triagem baseia-se num grupo de produtos/serviços que apresentam processos e equipamentos comuns.

Em seguida, é nomeado o responsável pelo fluxo de valor, denominado por *Value Stream Manager*, esperando-se que este detenha a aptidão para reportar à direção, constituindo um agente da mudança.

b. Mapeamento do estado atual

Após a seleção da família de produtos, é necessário desenhar o estado atual, através da recolha de informações no chão de fábrica. Numa perspetiva de facilitar a compreensão dos modelos, foi proposto um conjunto de símbolos e ícones *standard* detalhados na Figura 5.

O processo inicia-se no sentido do cliente, terminando no fornecedor. Tal como mencionado previamente, o mapeamento do estado atual é baseado numa observação estática do estado em que o processo se encontra, por isso, é importante garantir a adequação e viabilidade dos dados recolhidos, para que sejam realistas. Nesta etapa representa-se o fluxo de informação, na parte superior, e de materiais, na parte inferior, do mapa, sendo para o efeito necessário recolher tempos de valor acrescentado (processamento) e não acrescentado (desperdícios).

As métricas *Lean* selecionadas para o mapeamento do fluxo de valor são essencialmente o *takt time*, o *lead time*, o tempo de ciclo e o número de trabalhadores necessários para os processos.

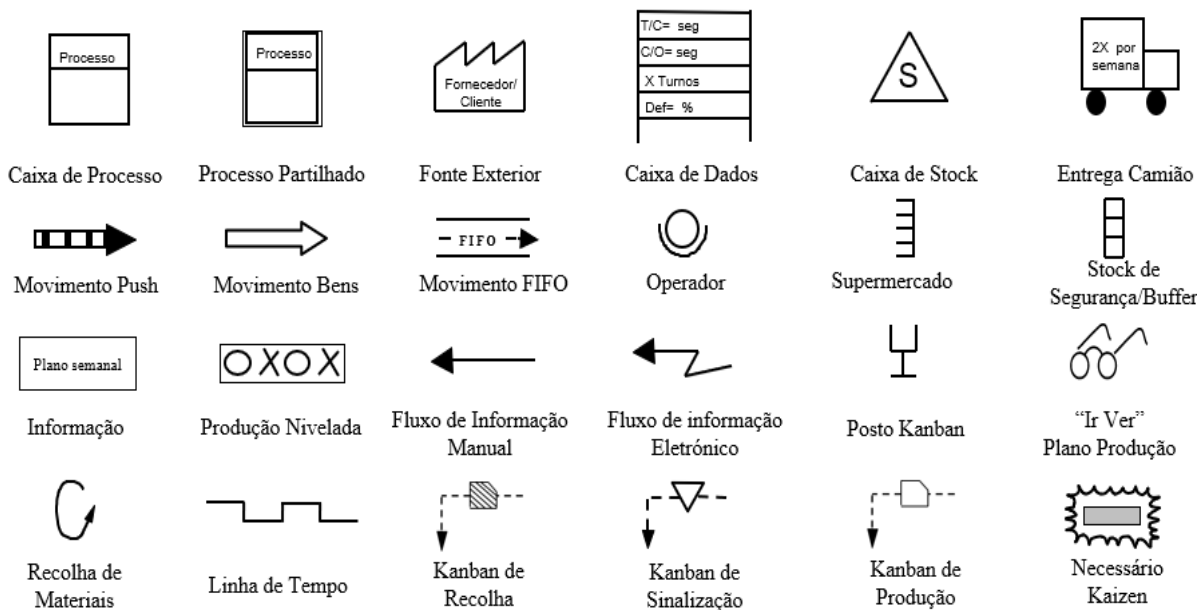


Figura 5: Símbolos VSM (Rother & Shook, 2009).

c. Mapeamento do estado futuro

Através da análise do estado atual, é proposto um estado futuro, com base nos desperdícios identificados e nas melhorias possíveis. O objetivo consiste em reduzir o *lead time* e o tempo de valor não acrescentado. Para tal, Rother e Shook (2009) apontam alguns princípios que devem ser seguidos, com base na filosofia *Lean*:

- O ritmo da produção deve ser imposto pela procura do produto, sendo o *takt time* o indicador que reflete essa taxa.
- Devem implementar-se fluxos contínuos sempre que possível; cada *box* de processo deve descrever uma área do fluxo.
- Devem utilizar-se supermercados para controlo da produção entre diferentes centros de trabalho, quando o fluxo contínuo não for possível.
- Apenas um processo deve ditar a produção das diferentes peças, conhecido como *pacemaker*, que irá definir o ritmo de todo o fluxo de valor. A jusante desse processo, deve utilizar-se uma filosofia FIFO e a montante recorrer ao sistema *Pull*.
- Deve nivelar-se o *mix* produtivo, de maneira que a distribuição da produção de diferentes produtos seja uniforme ao longo do tempo, no processo *pacemaker*. Isto permite responder mais agilmente às necessidades dos clientes, reduzir o *lead time*, *stocks* de produto acabado e supermercados menores.

- Deve nivelar-se o volume produtivo, através da definição de um ritmo de produção consistente, que crie um fluxo previsível e, conseqüentemente, permita alertar precocemente para eventuais problemas e agir imediatamente sobre os mesmos.
- Deve incrementar-se a capacidade de efetuar “todas as partes todos os dias” nos processos a montante do *pacemaker*, com a diminuição dos lotes e do tempo correspondente à troca de produtos.

d. Definição de um plano de trabalho para alcance do estado futuro

Não é possível implementar o mapa futuro de uma só vez, pelo que é necessário dividir em pequenos passos as ações a tomar. Devem ser registadas num documento todas as ações a implementar, os seus responsáveis e os objetivos das mesmas. Com base no estado futuro são priorizadas as ações de melhoria, designadas como eventos *Kaizen* (Khaswala, 2001).

2.3.11.1. Vantagens e Desvantagens do VSM

De acordo com Solding (2009), Khaswala (2001) e Noto & Cosenz (2020), o *Value Stream Mapping* apresenta vários benefícios, na medida em que:

- Relaciona o processo produtivo com a cadeia de abastecimento, canais de distribuição e fluxos de informação.
- Contém uma interface gráfica que facilita a compreensão e a relação entre fluxos de materiais e de informação.
- Permite controlar e programar a produção.
- Abrange uma maior variedade de informação do que outros diagramas, como, por exemplo, os fluxogramas.
- É relativamente rápido de implementar, fácil de utilizar, aprender e de interpretar.
- Não apresenta custos de ferramentas para a sua implementação, dado que pode ser construído apenas com recurso a “lápiz e papel”.
- Auxilia a tomada de decisões e é um ponto de partida para o *Lean Manufacturing*.

Apesar de todos os contributos do VSM, existem algumas limitações associadas a esta ferramenta *Lean*, entre as quais o foco assentar exclusivamente num único produto ou serviço e a dificuldade em experimentar as potenciais soluções (Solding & Gullander, 2009). Existem formas de ultrapassar estas condicionantes, nomeadamente através de estudos de simulação, que permitem testar cenários sem correr riscos. Para além destas questões, existem outras elencadas por Khaswala (2001) e Solding & Gullander (2009):

- Ausência de inclusão de atrasos em filas de espera e em transportes, restrições de capacidade, entre outros.
- Constitui uma análise grosseira da situação real, que traduz um momento instantâneo do chão de fábrica, numa altura específica.
- Falta de indicadores económicos, como custos operacionais e despesas de *stock*.
- Não incorpora o *layout*, o que dificulta a perceção da interação dos materiais e produtos e não permite testar novos sistemas.
- Tende a influenciar na escolha exclusiva de fluxos contínuos, baseados em *kanbans* e sistemas *pull*, adequados para baixa variedade e volumes elevados.
- Dificuldade no desenho e análise de produtos mais complexos, com uma BOM (*Bill of Materials*) extensa.

2.3.12. Resultados da Aplicação de Metodologias *Lean*

Com a aplicação de VSM baseados em atividades *Kaizen*, é espectável que haja melhorias de desempenho, tais como o aumento da produtividade, a proporção do tempo de valor acrescentado, a diminuição do *lead time* e a identificação de excessos de inventário, movimentações e transportes (Dhingra et al., 2019; Fukuzawa, 2020). Outros trabalhos reportados na literatura destacam ainda a importância do VSM, complementado com outras ferramentas *Lean* para a diminuição de custos e aumento da qualidade, tal como o de Dhingra et al. (2019). Neste caso, a abordagem *Lean-Kaizen* na empresa em análise, permitiu reduzir custos de não qualidade em quase meio milhão de rupias por ano;

o tempo de ciclo em, aproximadamente 8%, e uma diminuição do *lead time* em cerca de 91%.

Outro exemplo de uma aplicação bem-sucedida do VSM relata a situação de uma empresa do setor automóvel em que se aplicaram esta e outras ferramentas e metodologias *Lean* para eliminar desperdícios, tendo-se obtido uma redução de 62% do tempo de ciclo, 25% do número de operadores e de inventário, e a eliminação de um dos principais gargalos (Lacerda et al., 2016). Para alcançar estes resultados, foi aplicada a ferramenta VSM e realizados eventos *Kaizen*, a partir dos quais foram definidos planos de ações e aplicadas outras ferramentas como *Poka Yoke*, 5S e alteração de *layouts*.

Já Tyagi et al. (2014) recorreram aos *Gemba Walks* para desenhar o mapeamento atual e apurar o processo mais crítico, para que fosse alvo de melhorias no futuro. Através de ferramentas de análise das causas-raiz e sessões de *brainstorming*, propuseram soluções capazes de reduzir o *lead time* em 50%.

O estudo efetuado por (Vinodh et al., 2015) baseou-se na análise do mapeamento de fluxo de valor para identificar oportunidades de melhoria. Com o auxílio dos trabalhadores da linha de produção, efetuaram o levantamento das causas dos problemas e quantificaram-nos no âmbito dos 7 desperdícios. Em seguida, aplicaram as melhorias, nomeadamente, através de 5S e sistemas *pull*. Assim, obtiveram uma redução do *lead time* em 41% e uma redução de tempo de valor não acrescentado de 3,4%.

3. Aplicação de Ferramentas e Práticas *Lean* para a Melhoria da Produção das Pás SG145

No presente capítulo faz-se a apresentação da empresa onde foi realizado o projeto descrito neste relatório e descreve-se o seu produto – pás eólicas – bem como o processo de fabrico do mesmo. Em seguida, é descrita a análise realizada ao estado atual do processo de produção das pás SG145, sendo apresentado o seu mapeamento através do recurso à ferramenta VSM. Com base nesta análise são definidos objetivos para o estado futuro da produção destas pás e desenhado este mesmo estado (VSM do estado futuro). Finalmente, descrevem-se as ações de melhoria propostas para atingir os objetivos e expõem-se os resultados alcançados com a sua implementação.

3.1. Siemens Gamesa Renewable Energy Blades S.A.

A *Siemens Gamesa Renewable Energy Blades S.A.* localiza-se em Vagos, no distrito de Aveiro, e tem como atividade principal a produção de pás eólicas para ambiente terrestre – *onshore*. A empresa surgiu da aquisição da *Ria Blades S.A.*, em maio de 2020, pela *Siemens Gamesa Renewable Energy S.A.*, um dos líderes mundiais no fornecimento de turbinas eólicas. O grupo emergiu da fusão da multinacional espanhola *Gamesa*, com a empresa alemã *Siemens Wind Power* e encontra-se presente em mais de 90 países (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021a). A visão da *Siemens Gamesa Renewable Energy* consiste em liderar mundialmente o setor das energias renováveis, comprometendo-se com o desenvolvimento sustentável (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021b).

A *Ria Blades S.A.* foi fundada em 2007, na sequência de um concurso nacional de gestão de parques eólicos, integrando o grupo *Senvion* (Cavaco, 2018). Em janeiro de 2009, iniciou a sua atividade e produziu a primeira pá, aproximadamente, um ano depois (Capela, 2019).

A empresa possui uma política muito forte no que diz respeito à segurança e saúde no trabalho, qualidade do produto e melhoria contínua, onde se destacam os 5S. Atualmente, é um dos principais empregadores da Região de Aveiro, tendo mais de 1000 colaboradores. A organização da empresa encontra-se representada no Anexo A. O departamento da Engenharia ramifica-se em Engenharia do Processo, do Produto, Melhoria Contínua e Gestão de Projetos. O projeto apresentado neste relatório foi desenvolvido no departamento de Melhoria Contínua.

Atualmente, são fabricados três modelos de pás na Siemens Gamesa Vagos: SG145, SG155 e SG170. A nomenclatura de cada uma está relacionada com o diâmetro que percorre o rotor, que contém as três pás. Desta forma, os diferentes projetos apresentam características distintas, nomeadamente o comprimento da pá, potência nominal, gerador, materiais, componentes, entre outras (Siemens Gamesa Renewable Energy, 2021c). Uma vez que o presente projeto de estágio está inserido no modelo SG145, apenas este será explorado. O referido projeto é o que representa o maior volume de vendas da empresa, constituindo cerca de 64% das encomendas dos clientes, desde o início da atividade até 2021 (Figura 6).

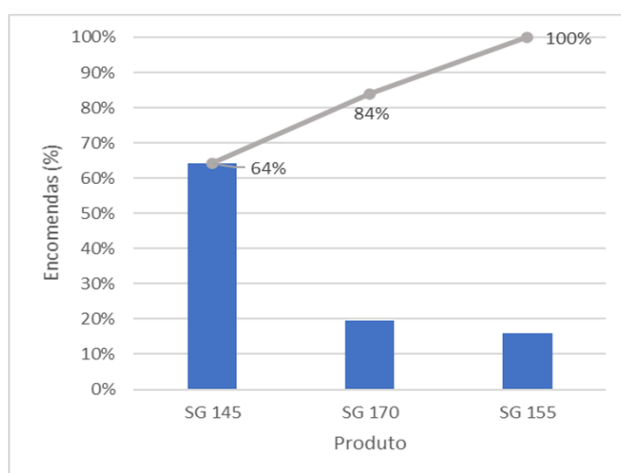


Figura 6: Diagrama de Pareto.

3.1.1. Constituição Turbina Eólica

A turbina eólica tem como função transformar energia cinética do vento, em energia mecânica, produzindo eletricidade por meio de um gerador (Burton et al., 2001). Os principais componentes de uma turbina de eixo vertical (Figura 7), são: alicerce, base que une a turbina ao solo; torre, que sustenta todos os elementos; nacele – divisão que acopla o gerador e todos os mecanismos associados a este; *hub* ou rotor, responsável pela conversão de energia cinética em mecânica, é o componente onde as pás estão conectadas, sendo a função destas captar a energia do vento (Burton et al., 2001; Letcher, 2017). As pás são, portanto, o componente mais relevante para garantir a captura da maior energia possível, pelo que é de extrema importância garantir que o seu processo de produção lhes confere as características necessárias a um bom desempenho.

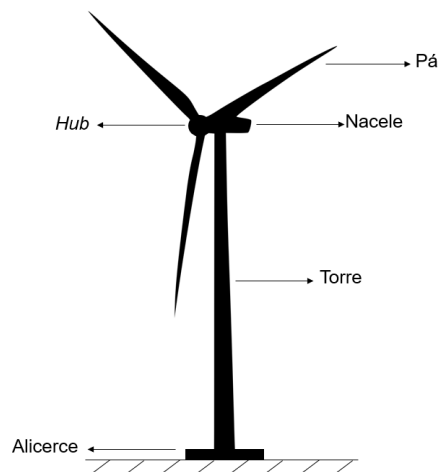


Figura 7: Constituição de uma torre eólica. Adaptado de Burton et al. (2001).

3.1.2. Composição da Pá Eólica

Uma pá SG145 é constituída por duas *main shell*, uma de sucção (*Suction Shell - SS*) e outra de pressão (*Pressure Shell - PS*), sendo que são estas que dão à pá o seu formato. Posteriormente, são adicionadas peças pré-fabricadas (duas *caps*, duas *webs* e duas *semi roots*), chamadas de pré-fabs, para aumentar a resistência da pá e garantir o seu funcionamento estrutural. Portanto, em cada *main shell* é colocada uma *semi root*, depois uma *cap*, que é a “espinha dorsal” da *shell* e que permite conferir as características estruturais exigidas. Por fim, estas são unidas por duas *webs*, que são colocadas na SS, na qual a PS irá depois encaixar, formando a pá eólica. Na Figura 8, é possível observar todos os componentes previamente mencionados.

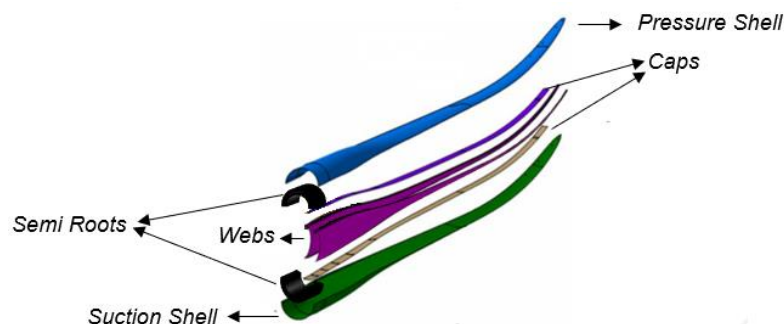


Figura 8: Composição de uma pá eólica SG145.

Este produto é um compósito, constituído por fibras de vidro, *veil* e CFM-*Continuous Filament Mat*, sendo o seu *core* composto por balsa e espuma (PVC - Policloreto de vinilo e PET - Politereftalato de etileno). Durante o processo produtivo de cada elemento que compõe a pá são consumidos outros materiais, endurecedor e resina,

que unem e transformam o material, oferecendo-lhe resistência, através de um processo de cura.

Relativamente às *main shell* é ainda importante referir que o ar flui no lado ascendente da pá *Leading Edge* (LE) e torna a sair pelo lado *Trailing Edge* (TE) (Figura 9). Para além disso, a parte da pá que se anexa ao *hub* designa-se por *Root* e a extremidade final por *Tip*.

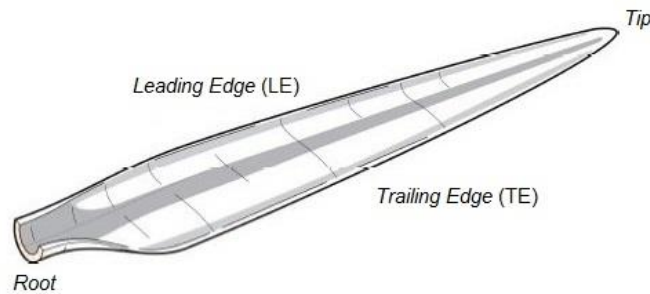


Figura 9: *Main Shell* - *Leading Edge* (LE), *Trailing Edge* (TE), *Root* e *Tip*. Adaptado de (Mishnaevsky et al., 2017).

3.1.3. Processo de Fabrico

O processo de fabrico envolve dois edifícios: moldes, onde são produzidos os componentes, e os acabamentos.

Antes de ser iniciada a produção da *main shell*, a equipa da logística tem a função de abastecer carros com fibras de vidro nas cestas, que se encontram colocadas nos moldes, e os materiais consumíveis. Os passos seguintes, correspondem às atividades desempenhadas pelas equipas da produção (PS e SS), da área dos moldes:

1. Limpeza dos moldes das *main shell*, retirando os resíduos resultantes da produção anterior e colocação de desmoldante, que garante a proteção da superfície da peça, após desmoldagem. Posicionamento das *semi root* em ambos os moldes e de termopares, que são sensores de temperatura.
2. Segue-se a fase de disposição de fibras em camadas (*layup*), CFM, *veil*, balsa e espuma ao longo dos dois moldes. As caps são incorporadas nesta etapa, antes da colocação do *core*. Por fim, são inseridos termopares, materiais consumíveis, como o saco de vácuo e canais por onde irá fluir a resina, aplicada adiante. Um dos materiais consumíveis, o *peel ply*, é um tecido que após a cura da resina é retirado, para conferir rugosidade à peça.
3. Realização do teste de vácuo, num sistema de controlo. Caso o requisito de descida máxima de pressão não seja cumprido, os operadores têm de encontrar os pontos

de fuga e repetir o procedimento, até que os parâmetros especificados para o processo se verifiquem. Após o teste, é efetuada a infusão da resina, através de uma máquina de mistura de resina e endurecedor.

4. Inicia-se o processo de cura, durante o qual o molde é aquecido até 90°C, sendo ainda colocadas mantas de aquecimento. Assim que todos os termopares atinjam uma temperatura superior a 55°C, as mantas são retiradas. A temperatura é monitorizada através do sistema de controlo.
5. Depois do arrefecimento das *main shell* segue-se a etapa da extração do *peel ply* e canais de resina, conhecido como ripagem. Colagem das duas *webs*, no molde SS. Os dois pré-fabs são unidos por distanciadores, antes de serem colocados no molde.
6. Fecho do molde e iniciação do processo de cura.
7. Abertura do molde e desmoldagem da pá (Figura 10). Os termopares têm de detetar uma temperatura inferior a 65°C para ser possível realizar este passo.



Figura 10: Pá desmoldada e movimentada por pontes suspensas.

Na Figura 11, apresentam-se todos os passos descritos anteriormente, para produção de pás, a qual é efetuada no edifício dos moldes.

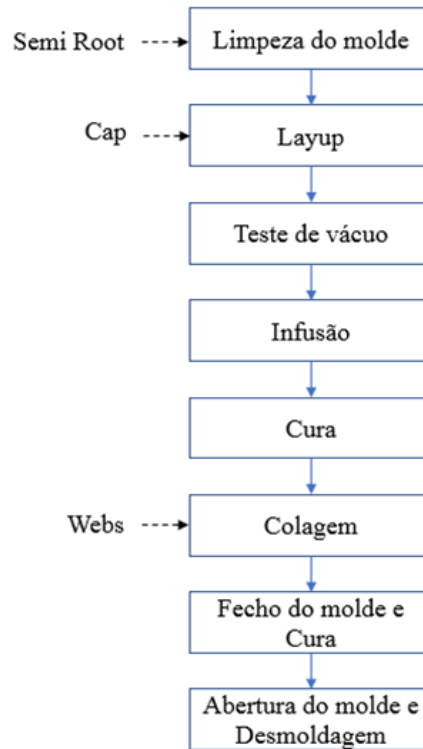


Figura 11: Esquema do processo produtivo da *main shell*.

O processo de fabrico dos pré-fabricados é bastante semelhante ao da *shell*, cingindo-se essencialmente à limpeza, *layup*, teste de vácuo, infusão, cura, desmoldagem e transporte para a zona de stock, onde aguardam até serem incorporadas na *shell*. No que concerne à produção de *semi roots*, esta ocorre num edifício à parte e após a desmoldagem é cortada, controlada pela qualidade e só depois se encontra disponível para ser transportada para o molde. Na Figura 12 é possível observar todos os componentes mencionados.



Figura 12: Pré-fabs da pá SG145: *webs*, *semi root* e *cap* respetivamente.

Após a desmoldagem da pá, a peça é transportada para o edifício dos acabamentos, onde ocorrem os seguintes processos:

- Posição 0 – Corte das abas que contêm cola e material excedente, preparação da superfície e limpeza interior da pá.
- Posição 1 – Despolimento, reforço das linhas de colagem e *webs*, colocação de massa para revestir falhas e fortalecer a ligação das *main shell* (LE e TE).
- *Center Drilling Robot* (CDR) – despolimento através de um *Robot*.
- *UT Scan* – Controlo de qualidade, por meio de testes ultrassónicos.
- Box Reparações – Área destinada a reparações da pá, devidas a defeitos identificados. Esta estação de trabalho não é linear, variando em função dos defeitos previamente identificados.
- *Drilling Machine* – máquina de furação, que perfura a zona da *Root*, transversal e longitudinalmente.
- Posição 2 – despolimento e colocação de massa na área da pá que sofre maior erosão devido à ação do vento.
- Posição 3 – Limpeza superficial, pintura da pá e montagem de parafusos nos furos previamente realizados, que vão ligar ao *hub*.
- Posição 4 – Conclusão da pintura e aplicação de um selante.
- Balança e Calibração – Pesagem da pá e calibração.

Depois destas etapas, a pá é transportada para a zona de *stock*, podendo ser expedida para o cliente (Figura 13).



Figura 13: Pá disponível para expedição.

3.1.4. *Layout* por posição fixa

O *layout* por posição fixa é um dos quatro tipos de *layout* básicos, a par com o por processo, celular e por produto (Chambers et al., 2010). A utilização desta tipologia em sistemas de produção *Lean* é atípica, pois a aposta mais comum assenta em células de fabrico.

Tendo em conta que na Siemens Gamesa o *layout* usado é por posição fixa, este foi alvo de estudo, em virtude de propostas de melhoria. Neste caso, devido às dimensões, peso ou fragilidade do produto, o recurso em transformação encontra-se imóvel enquanto os recursos transformadores (equipamentos, máquinas, operadores, entre outros) se movem em torno do produto, para efetuar os processos (Brandon-Jones, 2014).

Este tipo de *layout* tem vantagens relativamente à flexibilidade que proporciona na variedade de produto acabado, permite maior rotação de tarefas entre os trabalhadores, aquisição de aptidões múltiplas e, conseqüentemente, mais autonomia, uma vez que o foco conjunto se concentra na totalidade do produto e não apenas numa parte (Brandon-Jones, 2014). Desta forma, o estímulo de trabalho em equipa é potenciado e existe mais motivação para melhorar a qualidade e eficiência.

Em contrapartida, existem algumas desvantagens, tais como os custos unitários tenderem a ser elevados e a gestão do espaço e das atividades poderem ser bastante complexas (Chambers et al., 2010). Dado que o produto se encontra imóvel, surge ainda o desafio do excesso de movimentações dos recursos transformadores. Como tal, o abastecimento e manuseamento dos materiais são de extrema importância, pois afetam o fluxo de trabalho, na medida em que se podem acumular materiais ao longo de uma linha, gerar desorganização e um fluxo menos contínuo e coeso, resultando num processo mais demorado e com mais custos (Kulweic, 1985).

Face ao exposto, para este tipo de *layout* não existe uma metodologia específica, pelo que deve ser efetuada uma análise de localização de recursos por forma a minimizar custos, distâncias e movimentações (desperdícios), tornar o fluxo de valor mais simples e garantir áreas de trabalho organizadas (Brandon-Jones, 2014; Chambers et al., 2010).

3.2. Análise e Melhoria da Produção da Pá SG145

Neste subcapítulo é abordada a componente prática do trabalho, começando-se pela análise do estado atual, através da realização do *Value Stream Mapping*, e levantamento das áreas críticas, para se definir os objetivos do VSM do estado futuro. Desta forma, surgem os eventos *Kaizen*, com o intuito de atingir as metas definidas, no qual foram propostas melhorias, com base na identificação de problemas/desperdícios. Para tal, recorreu-se a ferramentas *Lean*, nomeadamente 5S, gestão visual, *standard work*, diagrama de *Spaghetti* e diagrama de *Ishikawa*. Por último, apresentam-se os resultados das ações implementadas e comparam-se com os objetivos estipulados.

3.2.1. Análise do Estado Atual

Para a realização do VSM foi necessário efetuar o desenho dos processos essenciais para a produção de uma pá, tanto para o edifício dos moldes, como dos acabamentos. A separação dos mapeamentos, deveu-se à elevada complexidade e áreas de trabalho que compreendem todo o processo, desde a chegada de matéria-prima até à expedição de uma pá eólica. Desta forma, importa realçar que o VSM dos moldes está relacionado com o VSM dos acabamentos, numa ótica de cliente e fornecedor interno.

Os processos relativos à secção dos moldes incluem as preparações de material, produção dos pré-fabricados e da *main shell*. No caso dos acabamentos, o VSM inclui o transporte do edifício dos moldes até ao dos processos que incluem a finalização da pá, até à expedição da mesma.

O objetivo do mapeamento das duas unidades é identificar as atividades críticas, gargalos e os desperdícios existentes, com o propósito de atuar sobre os mesmos e garantir entregas atempadas aos clientes. Para tal, interessa primeiramente calcular o *takt time*, com base na procura.

Cálculo dos *Takt Time*

Tal como já foi referido o *takt time* determina o ritmo a que se deve produzir, para satisfazer as encomendas dos clientes. A fórmula que representa esse cálculo é:

$$\begin{aligned} \text{Takt Time} &= \frac{\text{Tempo Trabalho Disponível}}{\text{Procura}} \\ &= \frac{(\text{N}^\circ \text{horas trabalho} - \text{Pausas}) \times \text{N}^\circ \text{dias Trabalho} \times \text{Disponibilidade}}{\text{N}^\circ \text{de encomendas de pás}} \end{aligned}$$

Para calcular esta métrica é preciso contabilizar o tempo de trabalho mensal disponível para produção destas pás (projeto SG145), bem como o número de pás encomendadas em cada mês. Relativamente ao tempo disponível este depende do nº total de horas de trabalho diárias menos o tempo para pausas, bem como do número de dias de trabalho no mês em estudo e da disponibilidade dos diferentes postos para o trabalho a realizar no projeto SG145.

Na Tabela 2, apresentam-se os valores do *takt time*, tendo em conta os turnos. Cada área corresponde a uma equipa de trabalho destinada à produção de um determinado componente ou a um subprocesso. Dentro de cada área produtiva, a mesma equipa produz os pré-fabs PS e SS, para o caso das *semi roots* e *caps*, e LE e TE para as *webs*.

Embora o VSM tenha sido elaborado no mês de dezembro, a procura selecionada foi a de maio, dado que houve um aumento significativo e interessava perceber se o ritmo atual seria suficiente para garantir uma entrega atempada, a partir daquele mês. Mais concretamente, o número de encomendas em dezembro foi 15, enquanto em maio passou para 30 pás.

É ainda importante salientar que existem postos de trabalho destinados aos três modelos de pás, pelo que, nesses casos, a proporção de tempo da equipa tem de ser dividida pelos projetos de pás que lhes estão alocados. Esta situação ocorre para o caso das preparações de consumíveis e de químicos, corte de fibra e *UT Scan*. Visto que são processos partilhados, a disponibilidade das respetivas equipas é diferente para os vários projetos. Para calcular este indicador, considerou-se a proporção de encomendas de cada modelo, que para o caso do SG145 corresponde a 75%. No que diz respeito ao corte de *caps* e *webs* para o projeto SG145, existe apenas uma área destinada para ambos os pré-fabs, o que perfaz uma disponibilidade de 50% para cada, dado que os tempos são semelhantes.

Área	Turno 1 (h)	Pausa T1 (h)	Turno 2 (h)	Pausa T2 (h)	Turno 3 (h)	Pausa T3 (h)	Disponibilidade	Nº de dias de trabalho (maio)	Procura (maio)	Takt Time maio (h)
Preparação de Materiais Consumíveis	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	75%	21	30	12,2
Preparação de Químicos	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	75%	21	30	12,2
Corte Fibra de Vidro	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	75%	21	30	12,2
Semi Root SS	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Semi Root PS	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Corte Semi Root	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	60	8,1
Cap PS	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Cap SS	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Corte Cap	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	50%	21	60	4,1
Web LE	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Web TE	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Corte Web	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	50%	21	60	4,1
Web Station (Colagem)	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Main Shell SS	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Main Shell PS	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
P0	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
P1	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
CDR	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
UT SCAN	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	75%	21	30	12,2
Box Reparações	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Drilling	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
P2	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
P3	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
P4	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Balança e Calibração	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2
Packing	8,5	0,67	8,5	0,67	8	0,50	100%	21	30	16,2

Tabela 2: Variáveis para cálculo do *Takt Time*.

Recolha dos Tempos de Ciclo

Após o cálculo do *takt time*, procedeu-se à recolha de dados dos tempos de ciclo, em cada área de trabalho. Para o caso dos moldes estes foram reunidos a partir dos registos em quadros, pelas equipas, dos tempos das operações durante parte dos meses de novembro e dezembro, efetuando-se depois uma média. No caso dos acabamentos, existem registos para estes tempos em folhas de Excel, que são feitos pelos supervisores. O número total de observações recolhidos corresponderam a 11 pás, no qual foram retirados os valores extremos e posteriormente, realizada a média. Não foi efetuado um estudo de tempos mais detalhado, devido ao facto de os subprocessos inerentes à produção de pás ainda não se encontrarem estabilizados nem padronizados e terem vindo a sofrer muitas alterações ao longo dos meses. Para além disso, visto que se trata de tempos de ciclo muito elevados, não foi possível efetuar uma recolha de tempos para uma amostra maior.

Além do cálculo da média dos tempos de ciclo para cada área, foram também calculados os respectivos desvios-padrão, para se poder inferir criticamente acerca da adequação dos valores médios calculados e da estabilidade dos processos (Tabela 3).

Área	Tempo de Ciclo Médio (h)	Desvio-padrão do Tempo de Ciclo (h)	Nº Áreas de Trabalho	Tempo de Ciclo (h)/ Nº Áreas de Trabalho	Takt Time (h)
Preparação de Materiais Consumíveis	5,25	0,30	1	5,25	12,2
Preparação de Químicos	6	0,25	1	6	12,2
Corte Fibra de Vidro	19,7	1,30	2	9,85	12,2
Semi Root SS	19	2,90	1	19	16,2
Semi Root PS	19	2,90	1	19	16,2
Corte Semi Root	1,5	0,01	1	1,5	8,1
Cap PS	19,7	2,00	1	19,7	16,2
Cap SS	19,7	2,00	1	19,7	16,2
Corte Cap	3,5	0,25	1	3,5	4,1
Web LE	18,5	2,50	1	18,5	16,2
Web TE	18,5	2,50	1	18,5	16,2
Corte Web	3	0,32	1	3	4,1
Web Station (Colagem)	3,5	0,15	1	3,5	16,2
Main Shell SS	45,3	4,53	2	22,65	16,2
Main Shell PS	34	3,15	2	17	16,2
P0	26,6	4,02	2	13,3	16,2
P1	38,2	6,80	2	19,1	16,2
CDR	5,5	1,03	1	5,5	16,2
UT SCAN	24	6,86	1	24	12,2
Box Reparações	10,7	6,19	1	10,7	16,2
Drilling	12,1	3,00	1	12,1	16,2
P2	34,1	2,90	2	17,05	16,2
P3	20,9	5,09	2	10,45	16,2
P4	26	5,95	2	13	16,2
Balança e Calibração	7	2,71	1	7	16,2
Packing	8	2,10	1	8	16,2

Tabela 3: Valores do tempo de ciclo, considerando o número de áreas de trabalho e desvio-padrão.

Visto que o objetivo fulcral era perceber se o ritmo de produção seria suficiente para acompanhar os pedidos de pás previstos para o mês de maio, foi necessário ter em consideração o número de recursos disponíveis. Ou seja, existem 2 máquinas de corte, 2 moldes *main shell* PS e SS e duas *boxes* nas posições dos acabamentos. Portanto, apesar da *shell* SS demorar, aproximadamente, 46 horas a ser produzida, existem dois moldes com atividade em simultâneo, mas com tarefas desfasadas, o que significa que a cada 23 horas, uma pá é desmoldada. Na Tabela 3 foi calculado o intervalo em que um componente é terminado, considerando-se o número de moldes ou áreas de trabalho, para posterior

comparação com o *takt time*. Como tal, verifica-se que as *semi roots* (PS e SS), *caps* (PS e SS), *webs* (LE e TE), a *main shell* (SS e PS), P1, UT Scan e P2, não serão capazes de acompanhar o ritmo desejado, pelo que é premente a diminuição dos respetivos tempos de ciclo (Figura 14).

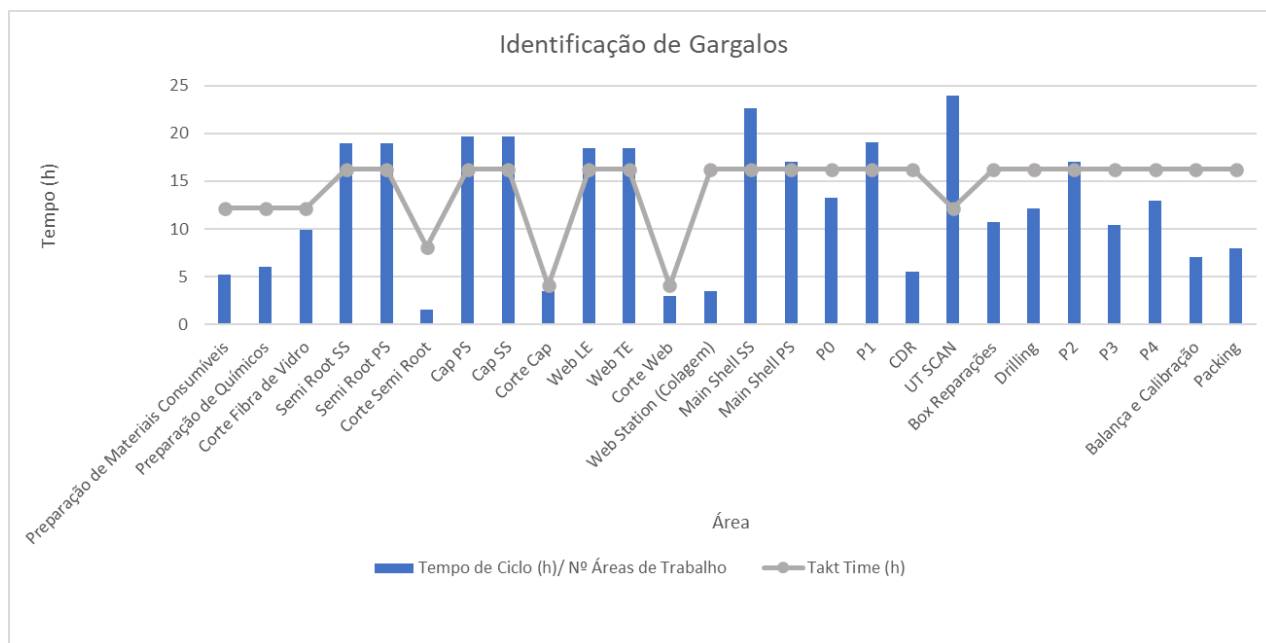


Figura 14: Identificação das áreas críticas.

3.2.1.1. Elaboração do VSM do Estado Atual

Após o levantamento da sequência de operações necessárias para produzir uma pá e o cálculo dos tempos de ciclo e dos *takt time* por área, foi desenhado o mapeamento atual das zonas dos moldes e dos acabamentos no *software Microsoft Visio* (Figura 15 e Figura 16).

Em primeiro lugar, a base dos pedidos dos clientes é anual, sendo que é da competência da direção efetuar o planeamento ao longo das semanas, desencadeando-se, desta forma, uma ordem de produção. O planeamento informa por *email* as necessidades produtivas ao departamento de compras, que se encarrega de encomendar matéria-prima e os materiais necessários aos respetivos fornecedores.

O processo inicia-se com a chegada de matéria-prima aos armazéns, no qual o *stock* mais longo é o de fibras, correspondente a 45 dias. Isto deve-se ao facto de o armazém do fornecedor estar longe da Siemens Gamesa Vagos, utilizando-se o transporte marítimo como meio de entrega deste material. Em seguida, os materiais necessários para a produção dos diversos componentes são deslocados para *stock*, onde aguardam até serem colocados na linha. Os tempos de armazenamento do WIP foram calculados pela

divisão do número de peças em *stock* no momento em análise, pelo consumo médio diário. Já o tempo em armazém das matérias-primas, obtiveram-se com base em informação fornecida pela equipa do departamento de compras, com base na cadência de encomendas.

Posteriormente, os pré-fabricados são produzidos, seguem para a zona de corte e aguardam em *stock*, até serem colocados na *main shell*. No caso da *semi roots*, após o corte, as peças seguem para *stock* e o supervisor e um inspetor da qualidade averiguam visualmente se as peças em inventário cumprem as condições necessárias para avançar para a zona de *stock* seguinte, ou seja, se toda a área está curada e se não existem imperfeições superficiais.

Após a desmoldagem, a pá colada é transportada para os acabamentos, para ser finalizada. Os transportes entre postos de trabalho encontram-se representados nos dois VSM (moldes e acabamentos), sendo que as simbologias dos mesmos foram adaptadas à realidade da empresa. Por exemplo, os consumíveis são transportados por meio de um empilhador, os químicos e a fibra com um carro atrelado. Já as *caps* e *webs* são colocadas nas *main shell* com meios de desmoldagem específicos, anexados a pontes rolantes. Nos acabamentos, a pá é movida exclusivamente por pontes rolantes.

Apesar dos processos que compõem a pá serem desencadeados pelo planeamento, nas posições 0, 1, 2, 3 e 4 são necessários materiais, como massas e tintas. Os componentes encontram-se em dois supermercados – dos acabamentos e das tintas, sendo que este último apenas fornece material às duas últimas posições, aquando da pintura da pá. A retirada de materiais dos supermercados ocorre mediante um sistema *kanban*, isto é, um operador de cada supermercado realiza uma rota programada, ao longo das cinco posições e recolhe os *kanbans*, dos postos destinados para tal. Seguidamente, este retira os componentes necessários do supermercado respetivo e abastece os postos. Dito isto, importa referir que exceto estes materiais, todos os restantes componentes são empurrados para o processo seguinte.

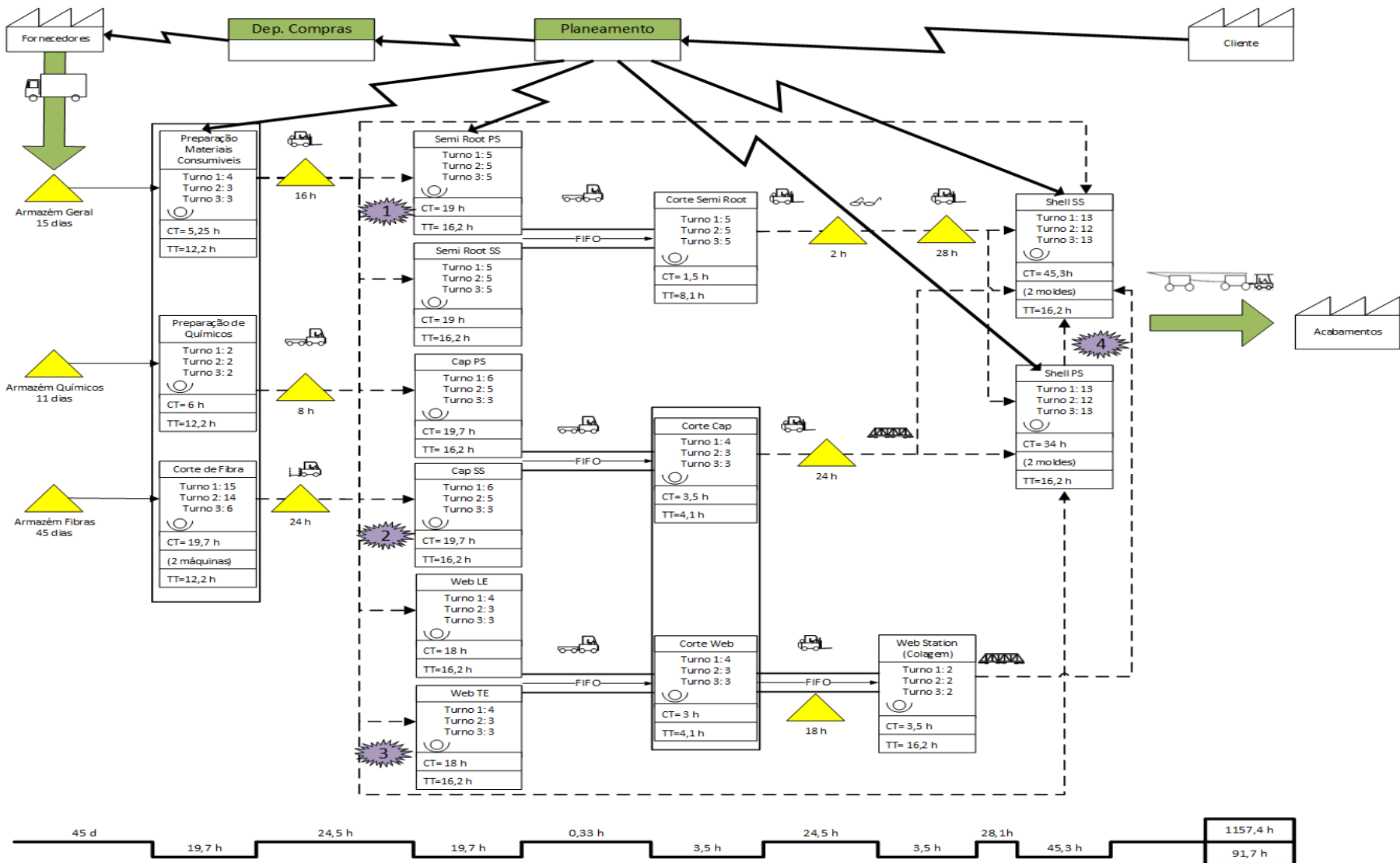


Figura 15: VSM Estado Atual - Moldes.

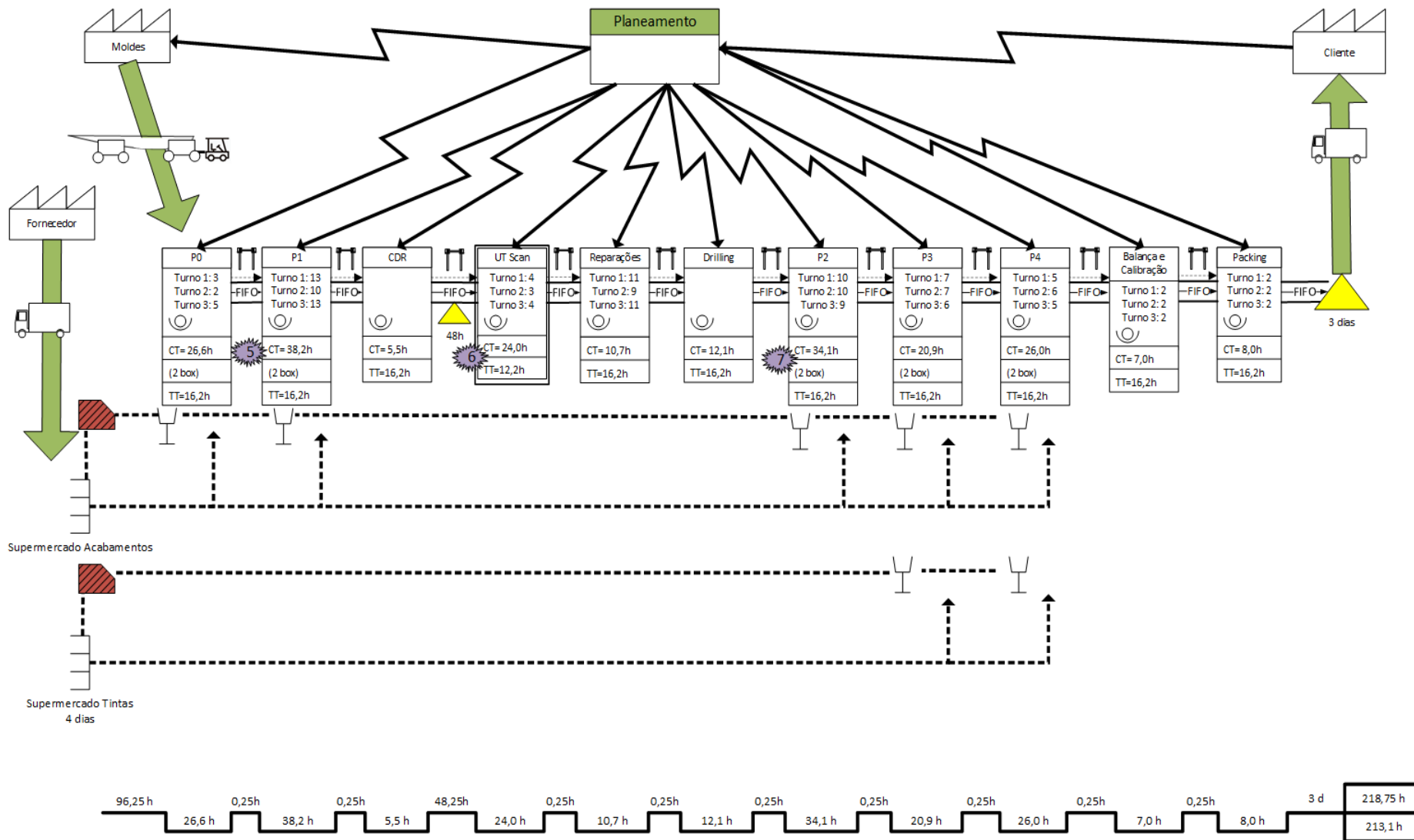


Figura 16: VSM Estado Atual – Acabamentos.

3.2.1.2. Elaboração do VSM do Estado Futuro

Através da análise dos mapeamentos atuais, depreende-se que existem alguns pontos críticos. Em primeiro lugar, há 7 áreas com tempos de ciclo demasiado longos, isto é, subprocessos incapazes de acompanhar a procura em maio, ao ritmo atual. Neste sentido, entre os diretores da fábrica, diretores industriais, departamento de melhoria contínua e de engenharia do processo foram definidos os objetivos para os estados futuros dos moldes e acabamentos, originando 7 eventos *Kaizen*. Os valores objetivo definidos são ligeiramente inferiores aos do *takt time* para garantir uma margem de segurança.

Tal como já mencionado, existe uma equipa, ao longo dos três turnos, responsável pela produção de cada pré-fabricado, sendo que os componentes PS/SS e LE/TE, em termos de processo são iguais e fabricados pela mesma equipa. Por este motivo, a análise é feita em conjunto. No caso das *main shell* PS e SS, apesar de existirem duas equipas destinadas a cada, foi efetuada uma análise simultânea e criado um plano de ações conjunto, devido às várias operações comuns a ambas, contendo apenas algumas diferenças. Na Tabela 4, observa-se que a *UT Scan* e *shell SS e PS* representam os processos que exigem maiores reduções de tempo de ciclo (58,3%, 33,8% e 26,5%, respetivamente).

Evento <i>Kaizen</i>	Tempo de ciclo Atual (h)	Tempo de ciclo Futuro (h)	Redução
1 - <i>Semi Roots</i>	19	15	21,1%
2 - <i>Caps</i>	19,7	15	23,9%
3 - <i>Webs</i>	18	15	16,7%
4 - <i>Shell SS</i>	45,3	30	33,8%
4 - <i>Shell PS</i>	34	25	26,5%
5 - P1	38,2	32	16,2%
6 - <i>UT Scan</i>	24	10	58,3%
7 - P2	34,1	32	6,2%

Tabela 4: Valores do tempo de ciclo dos Estados Atual e Futuro.

Em segundo lugar, o elevado tempo de ciclo da *UT Scan* provoca a necessidade de existir uma zona de *stock*, no qual duas pás se encontram em espera para seguir para o processo de controlo de qualidade, perfazendo 48 horas sem acrescentar valor às pás. Como tal, foi tomada a decisão estratégica, entre a direção da fábrica, o departamento de melhoria contínua e os supervisores da área, de dividir o processo da *UT Scan*, transitando a primeira fase do processo para o edifício dos moldes, logo após a desmoldagem da pá.

Portando, pretende-se que a primeira etapa, de detecção de desvios na linha de colagem das *webs* seja efetuada no edifício dos moldes e a segunda fase, de análise de espessuras, continue a ser desempenhada nos acabamentos. Com isto, tenciona-se que as operações possam ser efetuadas em paralelo e que o *stock* seja eliminado. Esta decisão exige a necessidade de aumentar o número de elementos ou de recursos da equipa. Tendo em conta o conhecimento dos diretores industriais acerca de novos equipamentos capazes de efetuar a operação autonomamente, foi tomada a decisão de que a aquisição de um *robot* seria o mais compensador. Desta forma, no cenário futuro, o *robot* irá efetuar a análise de uma pá em 10 horas, segundo a experiência do fornecedor, enquanto, no cenário atual a equipa demora 12 horas.

Tendo em conta os objetivos estipulados para os tempos de ciclo e as alterações na *UT Scan*, foram desenhados os VSM para o estado futuro (Figura 17 e Figura 18). Na Tabela 5 apresentam-se os valores de tempo de armazenamento de *stocks* (desperdício) e de processamento, para os moldes e acabamentos, em ambos os estados. O *lead time* total calculou-se através da soma do tempo de armazenamento de *stocks* com o tempo de processamento. Sucintamente, o objetivo consiste em atingir uma redução total de 3,5% do desperdício, 11,3% do tempo de processamento e 4,9% do *lead time* total (Tabela 6).

	VSM Atual Moldes	VSM Atual Acabamentos	VSM Futuro Moldes	VSM Futuro Acabamentos
Desperdício (h)	1157,4	218,75	1157,51	170,75
Tempo de Processamento (h)	91,7	213,1	79,7	190,8

Tabela 5: Tempos relativos a desperdício e a processamento, dos VSM Atual e Futuro, para os moldes e acabamentos.

	VSM Atual	VSM Futuro	Melhoria
Desperdício (h)	1376,15	1328,26	3,5%
Tempo de Processamento (h)	304,8	270,5	11,3%
Lead Time Total (h)	1680,95	1598,76	4,9%

Tabela 6: Objetivos de redução para o Estado Futuro.

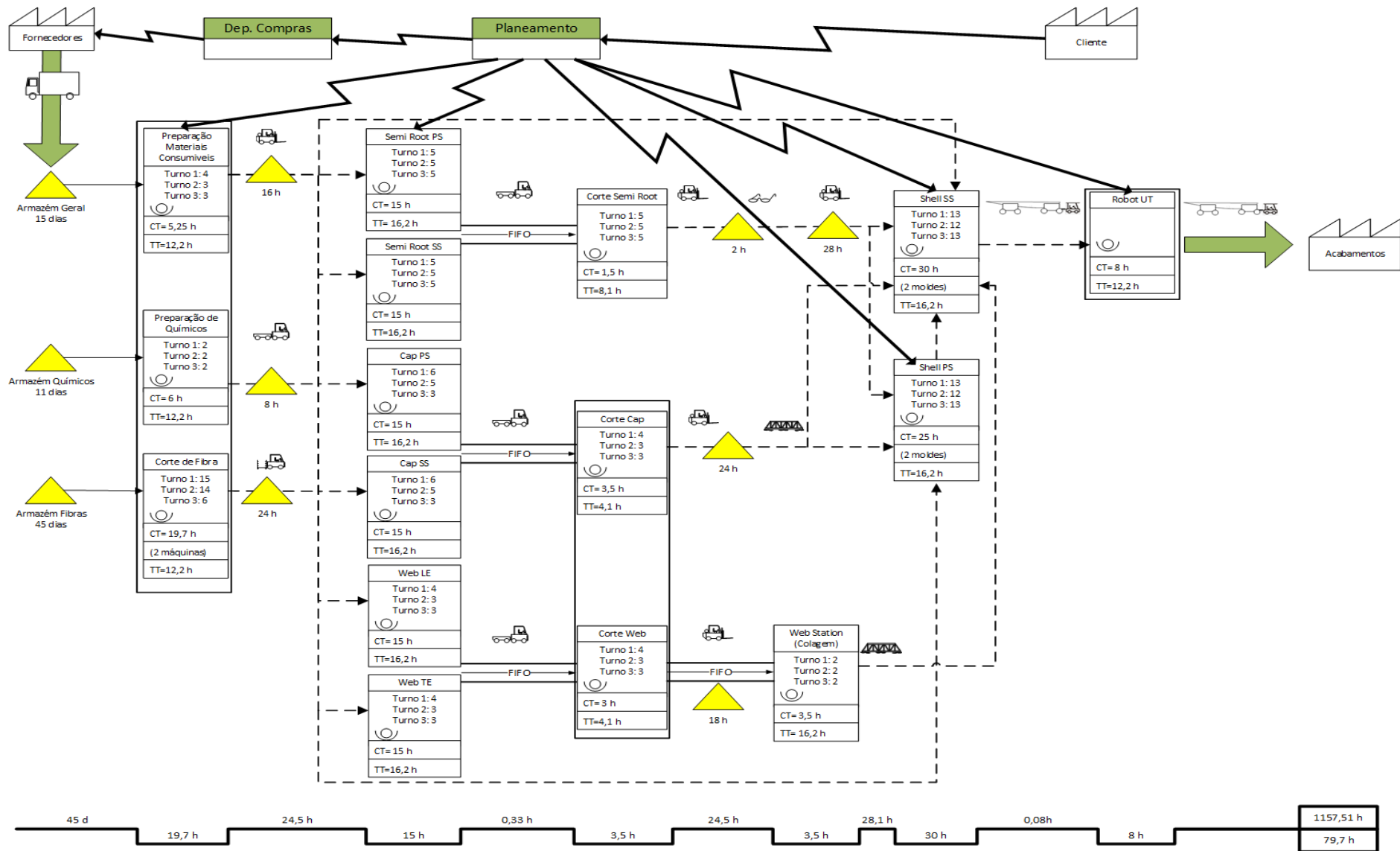


Figura 17: VSM Estado Futuro - Moldes.

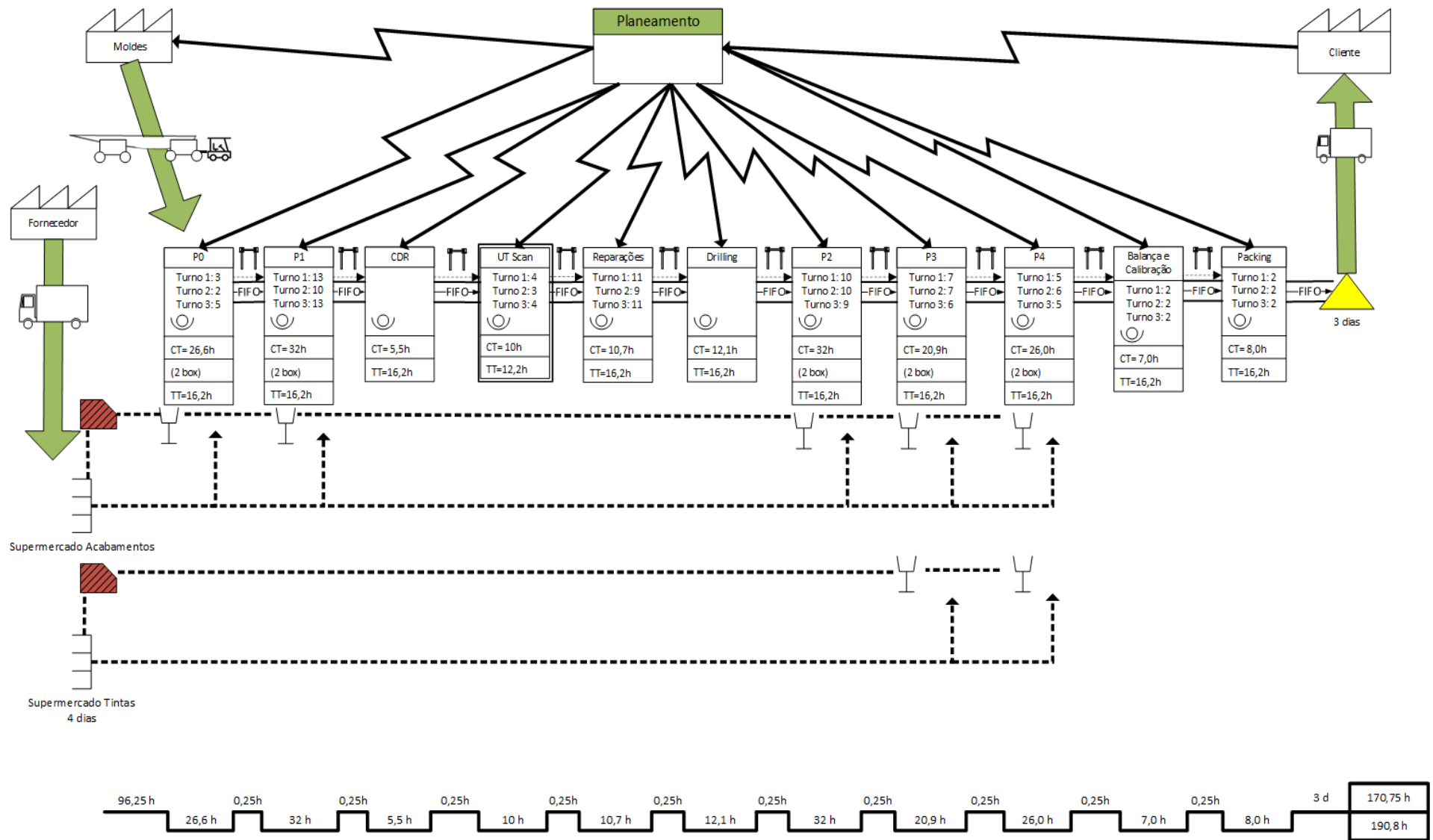


Figura 18: VSM Estado Futuro – Acabamentos.

3.2.2. Ações de Melhoria – Propostas e Resultados

Tendo em vista o alcance dos objetivos estipulados, foram identificados 7 eventos *Kaizen* e seguiu-se a metodologia PDCA para atuar em cada um deles. Em cada área de trabalho foram apresentados, pela equipa da melhoria contínua, os VSM às equipas, bem como aos respetivos supervisores por forma a discutir os desperdícios existentes e encontrar possíveis soluções conducentes à sua eliminação e/ou diminuição.

De realçar que se pretendeu que o projeto SG145 servisse como referência para os outros modelos, pelo que se pretendia criar uma linha modelo para a produção das pás SG145, organizada, eficiente, com *standards* e ferramentas de gestão visual. Apesar de existirem 7 pontos críticos (7 eventos *kaizen*), neste relatório são abordados apenas os 3 (*main shell, semi roots e webs*) em que o envolvimento e o nível de responsabilidade foram mais significativos, uma vez que eram os que estavam contemplados no estágio curricular. As ações analisadas no presente relatório correspondem apenas às da responsabilidade do departamento de melhoria contínua.

3.2.2.1. *Main Shell*

O objetivo para esta área era conseguir um tempo de ciclo da *shell* de 30 horas, inferior ao *takt time* calculado para a mesma. Para tal foi criado um plano de ações com o intuito de se conseguir atingir o valor definido para o tempo de ciclo (Tabela 7).

Ações 8, 9 e 10 – Abastecimento da Fibra de Vidro

As principais ações de melhoria estabelecidas para as *main shell* da responsabilidade do departamento de melhoria contínua resultam da existência de um tempo de *layup* elevado. Este problema conduz à necessidade de alteração do *layup* na zona da *root*, passando este a ser disposto em corda (Figura 19), em vez de em raio (Figura 20). O facto de ser em corda permite que várias camadas possam ser colocadas em simultâneo, o que contribui para a diminuição do tempo de realização do *layup*. Uma vez que foram também definidas novas fibras para a realização deste subprocesso, foi proposto um novo abastecimento das cestas e dos carros, que contêm os rolos de fibra.

Nº Ação	Área	Problema	Proposta de Melhoria	Responsável	Âmbito
1	Main Shell SS/PS	Tempos de inatividade entre os turnos.	Reduzir os ciclos das tarefas, para evitar o tempo de inatividade entre os turnos.	JL	Direção
2	Main Shell SS	Tempo de colagem elevado.	Aplicar pasta de colagem no lado SS.	MR	Eng. Processo
3	Main Shell SS	Tempo de colagem elevado.	Criar um sistema para reduzir a carga de trabalho e aumentar a segurança na remoção do RIM.	VM / RS	Eng. Processo
4	Main Shell SS	Tempo de colagem elevado.	Teste seco por amostragem.	MR	Eng. Processo
5	Main Shell SS	Elevado tempo de arrefecimento.	Limitar aplicação cola com o molde superior a 40°C. Validar a temperatura da peça até 45°C, no máximo, em duas etapas.	LC	Eng. Produto
6	Main Shell SS	Tempo de setup elevado.	Reduzir ou eliminar espaçadores de Webs + Otimização da espessura. Otimizar <i>gauntry</i> para aumentar a precisão e repetibilidade.	VP / BA	Eng. Processo
7	Main Shell SS/PS	Tempo de <i>layup</i> elevado.	Otimizar <i>layup</i> com mudança parcial na zona da <i>root</i> , passando a ser em corda.	AD / IK	Eng. Processo
8	Main Shell PS	Tempo de <i>layup</i> elevado.	Colocar cestas em corda no lado TE, visto que a aplicação é mais rápida.	DA	Melhoria Contínua
9	Main Shell SS/PS	Tempo de <i>layup</i> elevado.	Alterar abastecimento das fibras nas cestas e criar <i>standard</i> .	DA	Melhoria Contínua
10	Main Shell SS/PS	Identificações das cestas em falta / mal alocadas.	Criar identificações das cestas.	DA	Melhoria Contínua
11	Main Shell SS/PS	Tempo de <i>layup</i> elevado.	Remover cestas com fibras de reforço e no corte fazer a pré-preparação de um carro com as fibras.	DA	Melhoria Contínua
12	Main Shell SS	Tempo de <i>layup</i> elevado.	Remover fibras dos carros e passar para a equipa do corte.	DA	Melhoria Contínua
13	Main Shell SS/PS	Tempo de infusão elevado.	Melhorar a estratégia de infusão: Kit Incom RIM.	LA	Material
14	Main Shell SS/PS	Ciclos elevados de Infusão e Cura.	Reduzir tempo de infusão e o ciclo de cura, através de redução de balsa e introdução de PET.	LA / PP	Eng. Produto
15	Main Shell SS/PS	Tempo de infusão elevado.	Utilizar <i>core</i> com selante para reduzir a absorção de resina, diminuindo o tempo de infusão.	LA	Eng. Produto
16	Main Shell SS/PS	Tempo elevado para colocar termopares.	Rever e reduzir o número de termopares.	LC	Qualidade
17	Main Shell SS/PS	Tempo de cura elevado.	Otimizar o tempo de cura, com balsa mais fina (menor risco de <i>hotspots</i>).	LA / PP	Eng. Produto
18	Main Shell SS/PS	Posicionamento de <i>caps</i> na MS.	Otimizar JIGS de posicionamento.	IK	Eng. Processo
19	Main Shell SS/PS	Sistema de infusão de resina.	Sistema de infusão direta.	PP	Eng. Processo
20	Main Shell SS/PS	Reduzir tempo de preparação do RIM.	Sacos de vácuo pré-cortados.	LA	Material
21	Main Shell SS	Defeitos nos furos da pá, para a desmoldagem devido à inexistência de <i>Standard Work</i>	Criar <i>standard work</i> .	DA	Melhoria Contínua
22	Main Shell SS/PS	Desorganização da área.	Definir <i>layout</i> do molde da <i>main shell</i> .	DA	Melhoria Contínua

Tabela 7: Plano de ações main shell PS e SS. Nota: na coluna “Responsável” encontram-se as iniciais de cada pessoa (Exemplo: DA – Daniela Almeida).

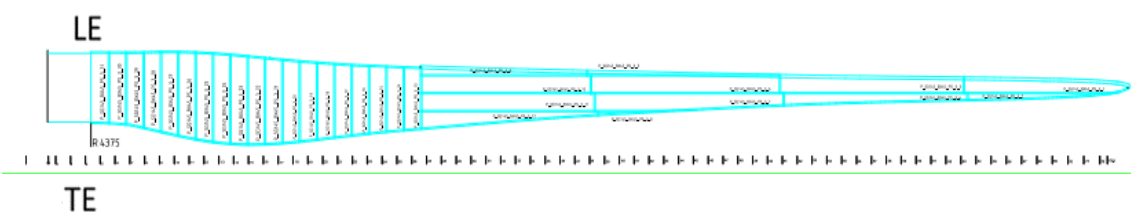


Figura 19: Layup em corda na zona da root.

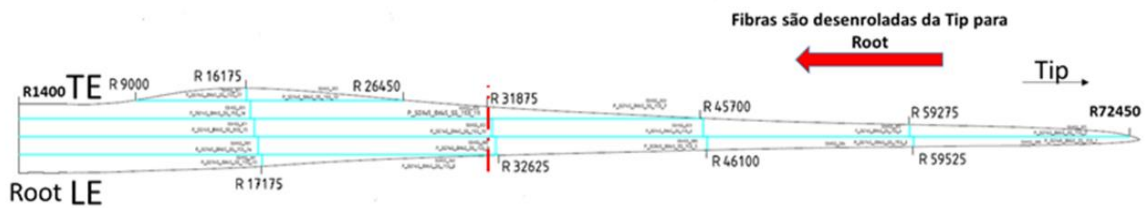


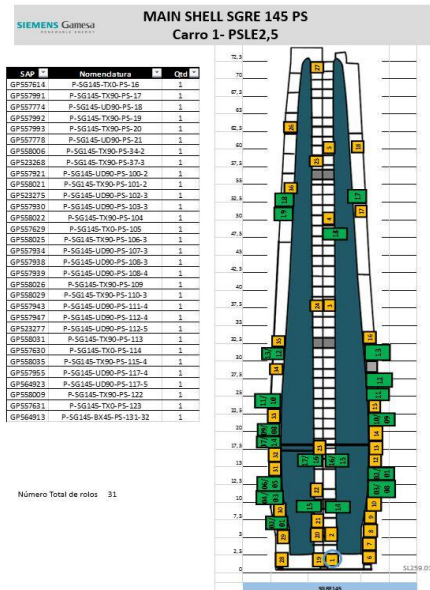
Figura 20: Fibras dispostas em raio, colocadas no sentido da *tip* para a *root* (da direita para a esquerda).

Tendo em consideração que as fibras em raio são dispostas no sentido da *tip* para a *root* (Figura 20), a estratégia consistiu em alocar as fibras em cestas de acordo com o seu raio e colocá-las posteriormente o mais próximo possível do raio onde são desenroladas, evitando-se deslocações excessivas. Portanto, através de um ficheiro *Excel*, as fibras foram ordenadas por raio e distribuídas pelas cestas disponíveis no molde, considerando-se uma capacidade máxima de 34 rolos por carro. No caso das fibras em corda, priorizou-se a colocação no lado TE, por ser mais elevado, o que segundo as equipas facilita o desenrolamento, devido à ação da gravidade.

Em seguida, foi criado um ficheiro *standard* para o abastecimento das cestas, para ser usado pela equipa da logística, e um outro para auxiliar a produção na identificação das fibras, nos respetivos carros (Figura 22). No cenário inicial (Figura 21), a maioria das identificações estavam incorretas ou em falta, o que dificultava o trabalho entre a logística e a produção. Estas alterações resultaram numa diminuição de 3 horas na etapa do *layup*.



Figura 21: Cenário inicial - cestas por identificar ou mal identificadas.



MAIN MOLD SG 145 FIBRA

CARRO 12 - PS R15,5 TE

Serviço: Logística

Responsável: Supervisor

SIEMENS Gamesa

Figura 22: Identificações dos carros e das cestas, respetivamente.

Ações 11 e 12 – Transferência de Atividades para a Área do Corte

Adicionalmente, e sempre com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo relativo à produção das *main shells*, removeram-se atividades efetuadas na linha – o corte manual de fibras de sacrifício e o CFM, passando estas a ser preparadas na área do corte. A implementação desta ação permitiu uma diminuição do tempo de ciclo em cerca de 20 minutos.

Durante o *layup* é necessário dispor fibras por cima da *cap SS*, na zona onde esta se irá ligar à *web*, ao longo de 74 metros. Inicialmente, as 20 peças de fibras eram colocadas nos carros e os operadores tinham de desenrolá-las e uni-las nas extremidades. Uma proposta de melhoria consistiu em retirar as fibras dos carros, passando a cosedura a ser efetuada pela equipa de corte. Deste modo, os operadores colocam as fibras num carro próprio (Figura 23) e depois a logística abastece-o, junto ao molde. Com o auxílio de um operador da equipa de movimentações, é utilizada a ponte para colocar os rolos na *tip*, para serem desenrolados até à *root*. O tempo desta operação foi reduzido em 20 minutos, sendo que o número de operadores da *main shell SS* necessários para a realizar foi reduzido de 4 para 1.



Figura 23: Carro de fibras cosidas e transporte dos rolos para a *shell* por pontes.

Ação 21 – Criação de *Standard Work*

Para além das ações mencionadas, foi criado um *standard work* para as operações a serem desempenhadas nesta área, nomeadamente a desmoldagem e movimentação da pá, uma vez que a ausência de documentação associada à realização do trabalho estava a provocar um número significativo de defeitos durante a furação (Anexo B). Para tal, houve um acompanhamento no chão-de-fábrica de todas as atividades necessárias ao desenvolvimento destas operações, tendo sido identificadas as seguintes oportunidades de melhoria:

- Criação de *zonings* para os carros que suportam a pá, desde o edifício dos moldes até ao dos acabamentos.

O *Zoning* é uma ferramenta de gestão visual que delimita uma área no piso da fábrica. A análise do processo permitiu identificar que existem cotas específicas entre a distância dos carros e os pontos de referência da pá. No caso do carro posicionado no lado da *root*, a distância deve ser 1 metro e no segundo carro, do lado da *tip*, de aproximadamente 1,5 metros da balsa (Figura 23). Antes da criação do *zoning*, para se garantir que estas distâncias eram cumpridas, os movimentadores tinham que deslocar os carros (Figura 24). Com a implementação das marcas visuais, este último passo deixou de ser necessário, garantindo-se também que as cotas são cumpridas mais facilmente.



Figura 24: Pá a ser posicionada nos carros (no caso do carro do lado da *root*, deve respeitar-se a cota de 1m. No que diz respeito ao segundo, este deve estar a 1,5 m da balsa).

- Criação de um gancho auxiliar para atravessar a cinta de segurança.

Durante a desmoldagem, na zona da *tip*, para atravessar a cinta de segurança o movimentador colocava a mão debaixo da pá. Este procedimento era bastante perigoso, na medida em que a pá apenas estava sustentada por vácuo e, caso houvesse falhas, poderia cair sobre a mão do trabalhador. Desta forma, foi proposto à manutenção a criação de um gancho com o intuito de eliminar o procedimento mencionado (Figura 25).

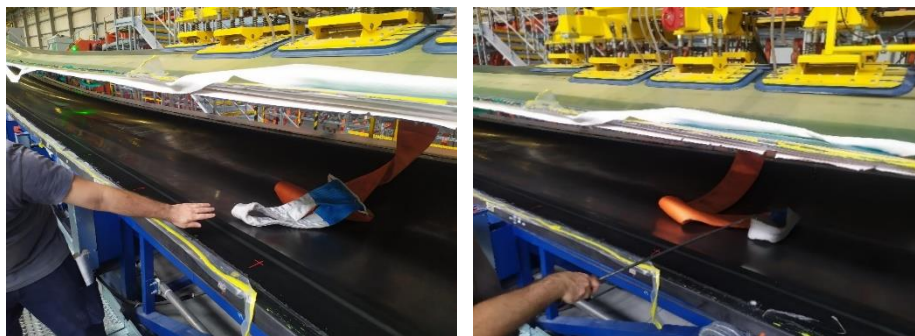


Figura 25: Situação antes e depois, respetivamente.

Ação 22 – Definição do *Layout*

A última ação realizada na *shell* consistiu na aplicação de 5S, cujo objetivo passou por criar uma linha organizada, limpa e mais eficiente. O maior desafio sentido foi a gestão de espaço, visto que se trata de um *layout* por posição fixa e são os recursos que se movem até ao produto. Portanto, verificou-se que não existia uma definição *standard* do posicionamento das máquinas/materiais, o que originava confusão, desorganização e uma

forma de trabalho distinta entre os três turnos. Neste caso, os recursos transformadores cingem-se essencialmente a carros de fibra, carros de *core*, máquina de resina, máquinas de cola, contentores (resíduos comuns, resíduos não trituráveis, plástico e cartão), equipamentos de desmoldagem, bidões de resina e carros com os consumíveis e com mangueiras de infusão.

Tal como se pode verificar na Figura 26, os materiais acumulavam-se de uma etapa para a outra, devido à indefinição do local onde teriam de ser guardados, impossibilitando o posicionamento dos recursos necessários às operações, nos locais mais adequados, e conduzindo a deslocações excessivas. Neste sentido, para cada etapa da produção da *main shell* (preparação do molde e *layup*, infusão, ripagem, colagem, cura e desmoldagem), foram identificados todos os recursos necessários e definidos os locais mais apropriados para os colocar.



Figura 26: Desorganização inicial da *shell* SG145: a) existem caixas de cartão no piso e tubos de fibra no papelão; b) o papel foi depositado nas cestas; c) zona da *root* com resíduos no chão e resíduos mal alocados; d) etapa da ripagem, porém existem dois bidões de resina da fase anterior e o plástico está colocado no sítio errado.

Primeiramente, foi efetuada uma triagem dos recursos necessários e dispensáveis para cada fase do processo. Em seguida, definiram-se os sítios mais apropriados para os colocar, com a colaboração dos líderes de equipa de ambas as *main shell*, considerando-

se o local mais perto da aplicação, as restrições do espaço existente e alguns outros critérios:

1. Preparação do molde e *layup* – tal como já explicado, as fibras de vidro são o principal composto de uma pá, logo a alocação destas no molde deve ser o foco principal, dado que o *layup* é a fase que consome maior tempo por parte da mão de obra. Relativamente ao *core*, uma vez que na sua maioria este é constituído por balsa e que esta é mais pesada, alocam-se primeiro as cestas com madeira e só depois com espuma. Já os contentores dependem do local onde são necessários, por exemplo, os azuis devem ser colocados próximo dos carros de *core*, para garantir que o cartão não é disposto no piso da fábrica. Já o carro das fibras cosidas, da *shell SS*, deve ser colocado perto da *tip*.
2. Infusão – os bidões de resina devem estar próximos dos canais de infusão e, por conseguinte, as máquinas de resina em pontos igualmente distantes dos bidões.
3. Ripagem – nesta etapa são retirados os canais por onde flui a resina e o tecido *peel ply*, portanto são necessários dois contentores de resíduos, um na *root* e outro na *tip*, nos moldes PS e SS. As mangueiras encontram-se perto das máquinas de infusão, portanto, os contentores também devem posicionar-se junto das mesmas.
4. Colagem – na colagem das *webs* é depositado um adesivo colante nas suas extremidades, pelo que os operadores para alcançarem a parte superior da zona da *root*, que é bastante alta, têm de utilizar um passadiço. Para além disso, as máquinas de cola são colocadas na parte em que os moldes são fechados.
5. Cura – contém apenas um termoventilador na *root*.
6. Desmoldagem – os equipamentos de desmoldagem devem ser colocados próximo dos raios onde são utilizados.

Com base nestes critérios, foi definido o *layout* e elaborado um documento (Anexo C) com todos os materiais necessários e respetiva distribuição/colocação ao longo do molde, consoante a etapa de produção. Em seguida, toda a área foi limpa, incluindo o pavimento, para se proceder à identificação de todos os recursos, através de *zonings*. A ferramenta de gestão visual permite que todas as equipas disponham os recursos de igual forma, ou seja, padronizar e cumprir os locais estipulados. Para além disso, o documento com o *layout* em cada etapa foi afixado no molde, para que possa ser consultado pelos operadores (Figura 27). Como tal, a área de trabalho encontra-se muito mais organizada e

limpa. Por fim, com o intuito de monitorizar o cumprimento dos *standards*, é da responsabilidade do departamento da melhoria contínua realizar uma auditoria 5S mensalmente (Anexo D).



Figura 27: Identificação do *layout* SG145 afixado no molde.

3.2.2.2. *Semi Roots*

Para uma melhor compreensão das causas subjacentes ao elevado tempo de ciclo da área de produção das *semi roots*, foi efetuado um Diagrama de *Ishikawa* (Figura 28), a partir da informação recolhida nas reuniões com as equipas e numa análise pormenorizada do processo produtivo no *Gemba*.

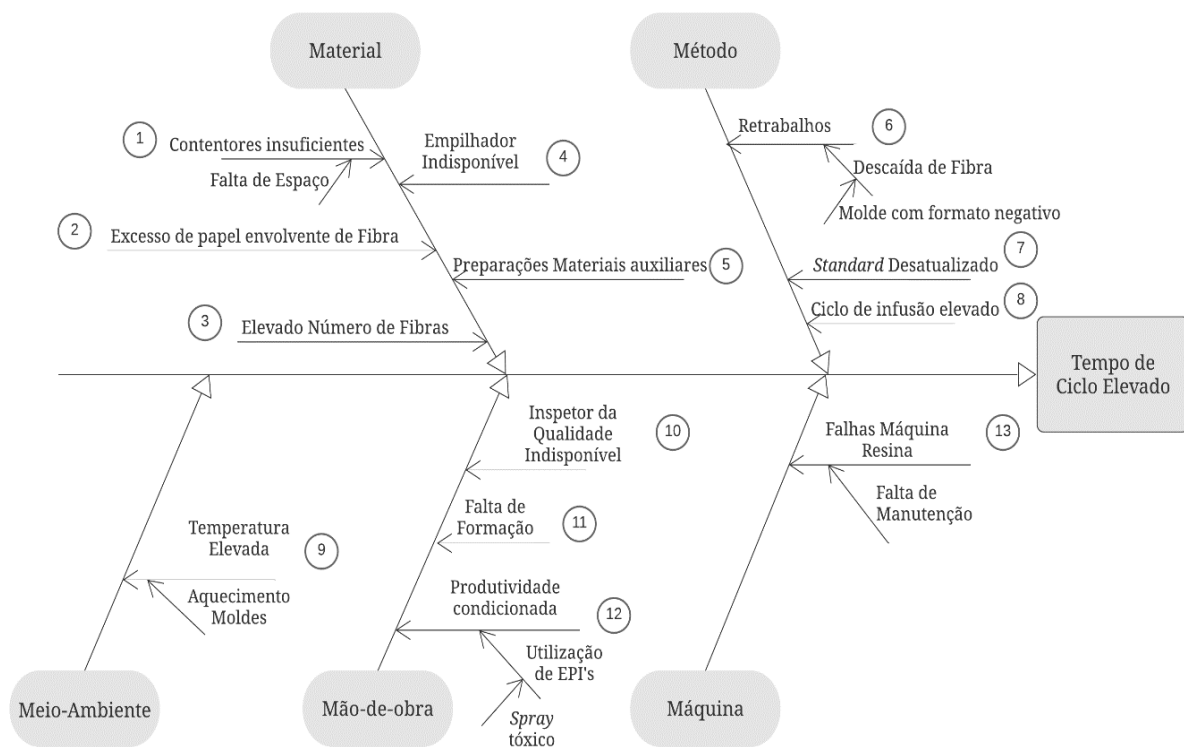


Figura 28: Diagrama de *Ishikawa* - causas do tempo de ciclo elevado na área de produção das *semi roots*.

No diagrama de espinha de peixe encontram-se os retrabalhos, que se devem ao facto da fibra descair por ação da gravidade. Como consequência, os operadores da área efetuam atividades desnecessárias, que apenas contribuem para prevenir que se criem rugas, sendo estas a colocação de um *spray* em todas as fibras, cosedura às abas laterais e colocação de molas (Figura 29). O *spray* utilizado é bastante tóxico, sendo inclusivamente proibido em vários países, o que exige a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) - máscaras com filtro químico e fatos de proteção. A utilização dos EPI's, a par com a temperatura elevada devido aos processos de cura da peça, dificultam a produtividade dos colaboradores.



Figura 29: Atividades redundantes durante o *layup* das *semi roots*: aplicação de *spray*, cosedura nas abas laterais e colocação de molas, respetivamente.

Face ao exposto, de todas as causas evidenciadas no diagrama de causa-efeito conclui-se que a que tem maior impacto é o formato negativo do molde, visto que é pouco ergonómico (Figura 30) e aumenta diretamente o tempo do *layup*, exigindo a realização de atividades sem valor acrescentado, que requerem inclusivamente a utilização de EPI's, condicionando a produtividade e o ritmo de trabalho.



Figura 30: Falta de ergonomia aquando do *layup*, neste caso, em corda.

Assim, depreende-se que esta é a causa raiz do problema e, por isso, deve-se atuar sobre a mesma por forma a diminuir o tempo de ciclo. Como tal, foram sugeridas várias ações de melhoria, as quais são apresentadas na Tabela 8.

Nº Ação	Área	Causas/Problemas	Proposta de Melhoria	Responsável	Âmbito
1	<i>Semi Roots</i>	6, 9, 12	Aquisição de um molde invertido, alterando o <i>layout</i> .	PL,AF,PR,DA	Eng. Processo, Eng. Produto e Melhoria Contínua
2	<i>Semi Roots</i>	1	Colocação de mais um contentor de resíduos.	DA	Melhoria Contínua
3	<i>Semi Roots</i>	3	Redução do número de fibras - 60% passa a ter largura 2540.	PL,RD	Eng. Produto, Eng. Processo
4	<i>Semi Roots</i>	2	Ajuste do papel envolvente dos rolos pequenos de fibra, tendo apenas 1 volta.	HC,DA	Corte
5	<i>Semi Roots</i>	5	Preparações de consumíveis previamente efetuadas.	PS	Materiais
6	<i>Semi Roots</i>	7, 11	Atualizar <i>standard work</i> do processo.	PL	Engenharia do Processo
7	<i>Semi Roots</i>	13	Manutenção semanal da máquina de resina.	DS	Manutenção
8	<i>Semi Roots</i>	4	Aumentar recursos de transporte.	LA	Compras
9	<i>Semi Roots</i>	10	Aumentar equipa da Qualidade.	JL	Direção
10	<i>Semi Roots</i>	8	Sistema de infusão direta.	PP	Eng. Processo

Tabela 8: Plano de Ações *semi roots*. Nota: na coluna “Responsável” encontram-se as iniciais de cada pessoa (Exemplo: DA – Daniela Almeida).

Ação 1 – Aquisição de Molde Invertido

De todas as ações propostas, destaca-se a aquisição de um molde com formato positivo (invertido), que eliminará as atividades redundantes para prevenção da descaída da fibra e melhorará as condições de trabalho, na medida em que não será necessário utilizar o *spray* e, conseqüentemente, os EPI’s atrás mencionados. Em termos de processo, apenas será feito *layup* em corda, que é bastante mais rápido. O molde invertido será utilizado apenas até à etapa do *layup*, enquanto o resto do processo passará a ser realizado nos dois moldes já existentes. O molde invertido encontra-se, de momento, em processo de desenvolvimento e prevê-se que chegue no mês de agosto. Segundo a experiência do fornecedor, este equipamento irá reduzir o tempo de ciclo em, pelo menos, uma hora e meia.

Em termos de *layout*, este sofreu algumas alterações na medida em que é necessário alocar o molde invertido. Para tal, definiu-se que por motivos da temperatura elevada dos moldes, este irá ser inserido no compartimento junto aos mesmos, visto que

para os trabalhadores esta é uma localização mais agradável e propícia à realização do *layup*. Assim, na Figura 31, é mostrado o *layout* futuro com as movimentações que o operador da logística terá de executar. Após a realização do *layup* no molde invertido, o empilhador terá de transportá-lo para um dos moldes com formato negativo (A ou B), para que seja efetuada a infusão de resina e restantes operações até à desmoldagem. Posteriormente, a *semi root* é transportada para a zona de corte.

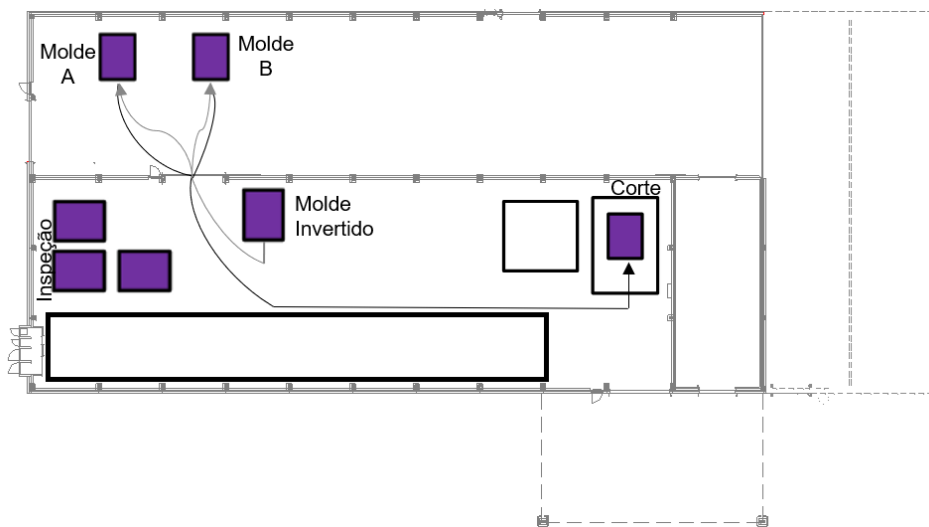


Figura 31: *Layout* futuro das *semi roots* e fluxo de movimentações. Nota: as setas a cinzento representam o percurso extra que o operador da logística terá de efetuar, sendo que, atualmente, apenas efetua as deslocações correspondentes às setas pretas.

Para finalizar a análise da implementação desta proposta de melhoria, foi calculada a redução anual de custos com a aquisição do novo molde, considerando-se que:

- Para cada *semi root* são consumidas 10 unidades de *spray*.
- A procura do ano de 2021 é de 315 pás e, portanto, tomou-se este valor como referência. Consequentemente, têm de ser produzidas 630 *semi roots*.
- A cada 2 *semi roots* produzidas é trocado o filtro químico das máscaras utilizadas pelos operadores.
- As equipas são compostas por 5 elementos, existindo 3 turnos.
- Os fatos de proteção são descartados no final de cada *layup*.

	Preço (€) / unidade	Poupança Anual de Custos (€)
<i>Spray</i>	10,25 €	64 575,00 €
Filtro Químico	3,25 €	15 356,25 €
Fato de Proteção	2,90 €	27 405,00 €
Total		107 336,25 €

Tabela 9: Redução de custos com a aquisição do molde invertido.

Tendo em conta os dados anteriores, constata-se que ao final de um ano, são poupados cerca de 107336 € em *spray* e EPI's (Tabela 9). Posto isto, conclui-se que a aquisição do molde traz benefícios em vários domínios: saúde dos colaboradores, ergonomia no trabalho, redução do tempo de ciclo, conforto e produtividade na realização do *layup* devido à eliminação de EPI's, ao mesmo tempo que permite uma redução bastante significativa de custos.

Ação 2 – Adição de um Contentor de Resíduos

Aquando do acompanhamento do processo de produção das *semi roots*, verificou-se que existiam movimentos excessivos, devido ao facto de existir apenas um contentor de resíduos, levando a que o operador que recebia o tubo da fibra tivesse de o devolver para o colaborador do lado do contentor. Desta forma, propôs-se a incorporação de um segundo contentor, com a introdução do novo *layout*. Esta ação não é possível de efetuar imediatamente devido à falta de espaço existente, pelo que será efetuado com a chegada do terceiro molde.

Ações 3 e 4 - Redução do número de Fibras e Ajuste do Papel

Uma outra ação proposta (ação 3) consistiu na diminuição do número de fibras, passando a haver maior proporção de fibras de largura maior dado que assim a colocação é mais rápida (40% fibras de largura 2540 mm e 60% fibras de 1270 mm). Foi igualmente sugerida a redução do comprimento do papel envolvente da fibra e do número de voltas, para facilitar a extração das 104 camadas (ação 4). Estas ações permitiram uma redução de 2 horas no *layup*.

3.2.2.3. Webs

Na última área analisada, a de produção de *webs*, a observação direta do processo de fabrico e a realização de vídeos, que foram posteriormente objeto de uma análise detalhada, permitiram identificar um conjunto de desperdícios (problemas) responsáveis pelo elevado tempo de ciclo, reunidos na Tabela 10. Com o intuito de alcançar 15 horas de tempo de ciclo, foram, então, propostas ações de melhoria para atuar sobre os desperdícios existentes.

Nº Ação	Área	Problema	Proposta de Melhoria	Responsável	Âmbito
1	Webs	Falta de distribuição do trabalho	Definir semanalmente as tarefas dos colaboradores, ou seja, as posições no molde e limpeza.	DA/JS	Melhoria Contínua
2	Webs	Ineficiência na distribuição de operações	Definição do fluxo de cada operação para cada operador: - Preparação do molde - Disposição e ajuste das fibras e reforços - Colocação de silicone - Colocação de materiais auxiliares (<i>peel ply</i> , <i>wedges</i> , folha desmoldante, agramos, molas, fitas, etc) - Colocação de <i>core</i> - Colocação do RIM	DA/JS	Melhoria Contínua
3	Webs	Colocação de reforços um a um, na <i>root</i>	Dispor as camadas inversamente por cima do molde e depois ir colocando juntas na aba.	DA/JS	Melhoria Contínua
4	Webs	Falta de ergonomia e elevadas deslocações ao colocar os <i>core wedges</i>	Utilizar carro com os <i>wedges</i> e ir colocando no molde.	DA	Melhoria Contínua
5	Webs	Elevadas deslocações até ao contentor durante a limpeza do molde	Utilizar carro para recolher restos e no fim, depositar no contentor.	JS	Melhoria Contínua
6	Webs	Excesso de tempo na colocação do cabo LPS com fita métrica	Utilizar gabarito e corda no molde para colocar o cabo LPS sem necessidade de medições e de trabalhos.	JS	Melhoria Contínua
7	Webs	Erros no posicionamento das fibras	Utilizar gabaritos para posicionar corretamente as fibras de reforço.	DA	Melhoria Contínua
8	Webs	Tempo elevado para colocar o cabo dentro da mangueira	Utilização de sistema de ar comprimido.	JS	Melhoria Contínua
9	Webs	Retrabalhos na colocação da fibra devido a etiquetas desatualizadas	Atualização das etiquetas do molde para auxiliar a colocação de fibra.	DA	Melhoria Contínua
10	Webs	Utilização de tesoura e posicionamento sobre o molde para desenrolar fibra	Criação de gancho para auxiliar o desenrolamento da fibra no meio do molde.	JS	Melhoria Contínua

Tabela 10: Plano de ações *webs*. Nota: na coluna “Responsável” encontram-se as iniciais de cada pessoa (Exemplo: DA – Daniela Almeida).

Ações 1 e 2 – Definição das Tarefas e do Fluxo de Movimentações

Em primeiro lugar, não existia uma definição das tarefas a desempenhar ao longo de todo o processo, o que resultava numa distribuição desorganizada das mesmas e na execução das tarefas de forma distinta nos três turnos. Foi, assim, efetuada uma lista de tarefas por etapa produtiva, na qual se distinguem as posições dos 5 operadores e as tarefas a desempenhar em cada uma. Para realizar a listagem, priorizou-se a realização paralela das atividades, e, conseqüentemente, redução do tempo de ciclo. Além disso, teve-se em consideração as melhores práticas desempenhadas pelas equipas, correspondentes a tempos menores, tomando-se estes como referência para generalizar às restantes. O documento foi colocado no Quadro Top 5, onde os colaboradores têm as reuniões diárias, pretendendo-se que haja rotatividade das tarefas a desempenhar por cada trabalhador ao longo das semanas (Anexo E). Para auxiliar a implementação desta ação foi ainda desenvolvido um ficheiro que contém a representação do fluxo de movimentações dos operadores (Anexo F).

Como exemplo da situação atrás descrita, tome-se em consideração as tarefas desempenhadas logo após a limpeza do molde, em que é feita a sua preparação. Nesta etapa constatou-se que o trabalho era desempenhado de forma independente, ou seja, os colaboradores dividiam-se pelo molde e efetuavam cada tarefa de acordo com a zona onde estavam distribuídos. O molde em questão tem 71 metros de comprimento. No caso do lado PS, o operador A encontrava-se na zona da *root* e o operador C na *tip*; já no lado SS, o operador B permanecia na *root* e o operador D na *tip* (Figura 32). O operador E desempenhava funções mais relacionadas com abastecimento de materiais ao molde.

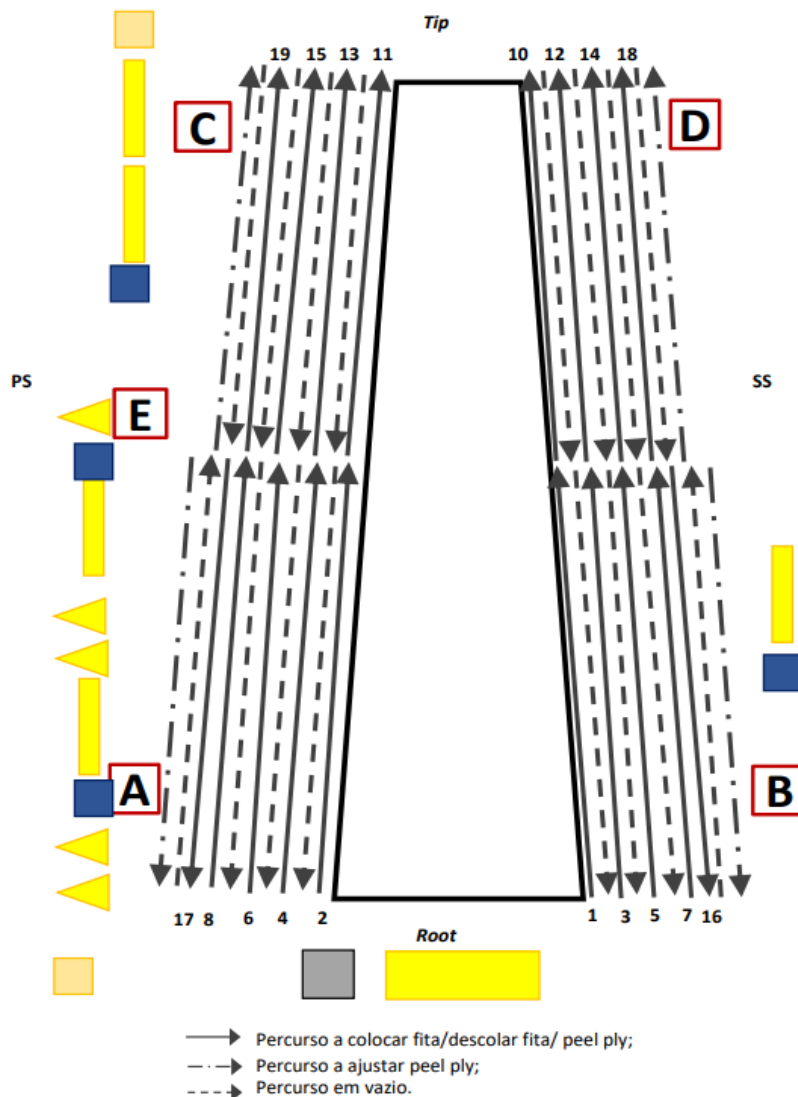


Figura 32: Fluxo de movimentações, no cenário inicial.

Esta etapa pode-se dividir nas seguintes tarefas: colocação de fita cola de dupla face, introdução de fita Tesa inferior, colocação de fita Tesa superior, descolagem da fita, aplicação de *peel ply* e distribuição de molas.

No cenário inicial, verificou-se que os operadores trabalhavam a ritmos diferentes e de forma independente, o que originava num desfasamento entre as duas zonas, devido à etapa anterior – limpeza – não ter sido terminada em todo o molde (Figura 33). Como tal, estipulou-se que apenas se passaria para a preparação do molde quando a limpeza do mesmo tivesse terminado. Após a limpeza, é necessário que um operador recolha resíduos, enquanto os restantes estão disponíveis para iniciar a preparação do molde.

			Tempo (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Tarefa	Preparação molde	Op.																					
1	Colocar fitas de dupla face Root SS	B		B	B	B																	
2	Colocar fitas de dupla face Root PS	A		A	A	A																	
3	Colocar fita Tesa inf Root SS	B				B	B	B															
4	Colocar fita Tesa inf Root PS	A				A	A	A															
5	Colocar fita Tesa sup SS	B							B	B	B												
6	Colocar fita Tesa sup PS	A							A	A	A												
7	Retirar fitas Root SS	B										B	B	B									
8	Retirar fitas Root PS	A										A	A	A									
9	Distribuir molas	E											E	E	E	E	E	E	E				
10	Colocar fitas de dupla face Tip SS	D				D	D	D															
11	Colocar fitas de dupla face Tip PS	C				C	C	C															
12	Colocar fita Tesa inf Tip SS	D							D	D	D												
13	Colocar fita Tesa inf Tip PS	C							C	C	C												
14	Retirar fitas Tip SS	D										D	D	D	D								
15	Retirar fitas Tip PS	C										C	C	C	C								
16	Aplicar PeelPly Root SS + ajuste	B													B	B	B	B	B	B			
17	Aplicar PeelPly Root PS + ajuste	A													A	A	A	A	A	A			
18	Aplicar PeelPly Tip SS + ajuste	D														D	D	D	D	D	D		
19	Aplicar PeelPly Tip PS + ajuste	C														C	C	C	C	C	C		

Figura 33: Matriz de operações relativas à etapa de preparação do molde, no cenário inicial (os números das tarefas desta figura correspondem aos da Figura 32).

A análise do trabalho realizado nesta etapa também permitiu perceber que cada tarefa era desempenhada pelos 4 operadores consoante a sua posição, exceto no caso da colocação das molas que era efetuada pelo operador E. Desta forma, existiam muitos desperdícios, devido ao facto de os materiais terem de ser colocados no sentido da *root* para a *tip*, provocando movimentações excessivas (Figura 32). Assim, propôs-se a alocação de uma tarefa a cada trabalhador, a qual passa a ser realizada ao longo de todo o molde, em vez de se dividir o molde nas zonas da *root*, *tip*, lado PS e SS (Figura 34). Com isto, houve uma redução de 7 minutos na duração desta etapa, diminuindo-se significativamente os desperdícios associados a movimentações (Figura 35) e, consecutivamente, a duração das tarefas. No total, as ações 1 e 2 efetuadas para todas as etapas produtivas, alcançaram uma redução de 1 hora.

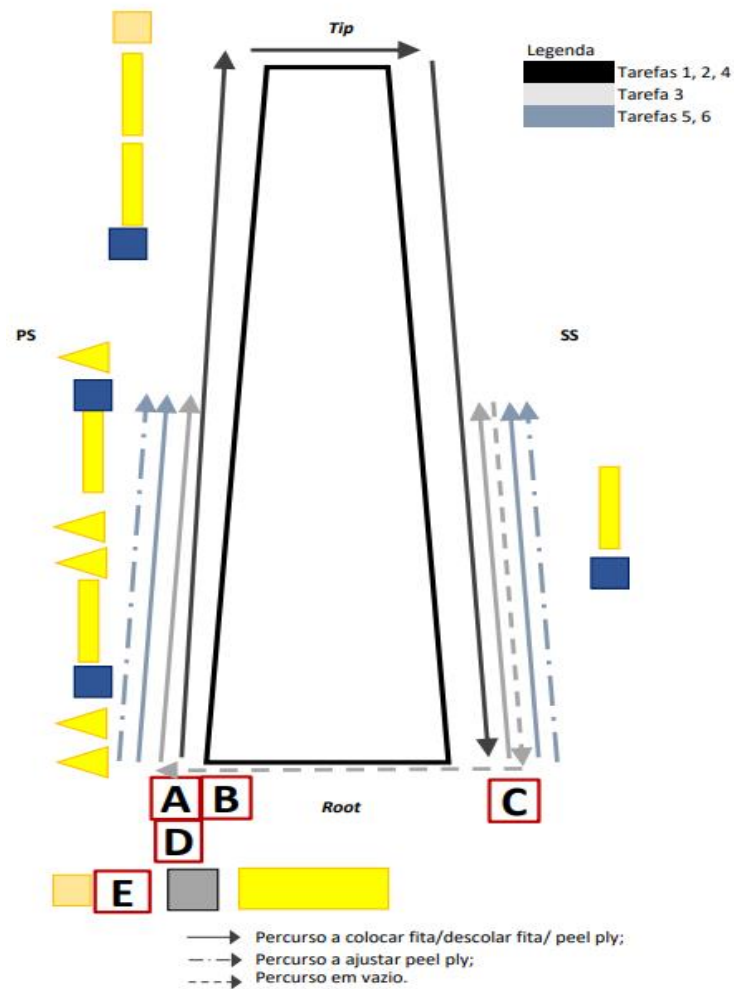


Figura 34: Fluxo de movimentações, no cenário proposto.

			Tempo (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tarefa	Preparação molde	Op.														
1	Colocar fitas de dupla face	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A				
2	Colocar fita Tesa inf	B		B	B	B	B	B	B	B	B	B				
3	Colocar fita Tesa sup	C		C	C	C	C	C	C							
4	Retirar fitas	D			D	D	D	D	D	D	D	D	D			
5	Aplicar PeelPly SS + ajuste	E+A													E+A	
6	Aplicar PeelPly PS + ajuste	B+D													B+D	
7	Distribuir molas	E									C	C	C	C	C	C

Figura 35: Matriz de operações relativas à etapa de preparação do molde, no cenário proposto.

Ação 3 – Alteração da Disposição das Fibras de Reforço da Root

À semelhança de todos os componentes que formam uma pá, as webs também são constituídas por fibra de vidro, na qual são colocadas fibras de reforço nas abas do molde,

após a disposição do *peel ply*, conforme abordado no ponto anterior. Inicialmente, cada fibra da *root* era desenrolada no molde, inserida na aba e fixada com molas. Depois da primeira camada, para colocar os reforços seguintes, era necessário passar por cima de todas as molas com o tubo que contém a fibra. Com o intuito de facilitar esta tarefa, estudou-se a possibilidade de todas as fibras serem estendidas no molde de forma inversa e, posteriormente, inseridas na aba aos pares e encaixadas as molas (Figura 36). Assim, os operadores sentiram uma maior facilidade dado que já não tinham de contornar as molas e a operação era mais rápida, totalizando uma redução de 15 minutos no seu tempo de execução.



Figura 36: Cenário proposto de disposição das fibras de reforço na *root*.

Ação 4 – Utilização de Carro para Dispor os *Core Wedges*

Relativamente ao método de trabalho, foram também propostas alterações com base na identificação de desperdícios. Num primeiro caso, verificou-se que existiam muitas deslocações em vazio aquando da distribuição dos *core wedges* ao longo do molde. Esta tarefa não acrescenta valor ao produto, visto que consiste em abastecer o material ao longo de todo o molde, para que, posteriormente, os operadores o coloquem por cima das fibras de reforço, nas abas. Este passo é efetuado para ganhar tempo de ciclo, na medida em que permite que o material se encontre muito próximo do local de aplicação, tendo o operador apenas de pegar no *core wedge* e quase instantaneamente, dispô-lo sobre as fibras. Neste sentido, procedeu-se ao desenho de um diagrama de *Spaghetti* para quantificar as deslocações realizadas pelos operadores envolvidos na distribuição dos *core wedges* ao longo do molde (Figura 37).

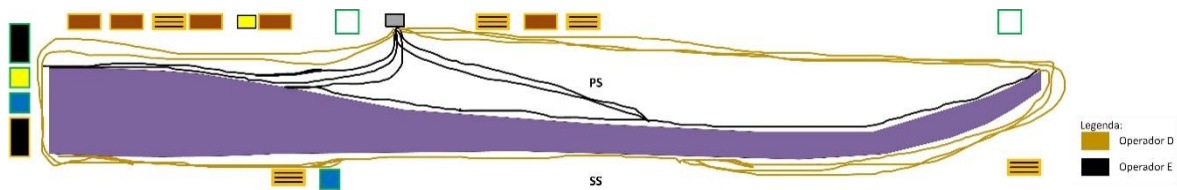


Figura 37: Diagrama de *Spaghetti* – cenário inicial.

Tal como se pode observar, o operador E deslocava-se até à caixa que continha o material (*core wedges*), retirava a maior quantidade possível e abastecia desde a *root*, no lado PS. Com isto, era recorrente a queda de material, tendo o operador que regressar atrás para o recolher; por outro lado, o processo não era ergonómico. Assim que os *core wedges* terminassem, o operador voltava à caixa e tornava a efetuar o mesmo procedimento. No caso do operário D, a caixa encontrava-se mais longe do lado SS, pelo que ainda se efetuavam mais deslocações. Após a elaboração do diagrama concluiu-se que, no total, os operadores percorriam cerca de 606 metros (Tabela 11), dos quais a maioria correspondia a transporte de material e movimentações em vazio (84% no operador D e 57% no operador E), tal como se pode constatar na Figura 38.

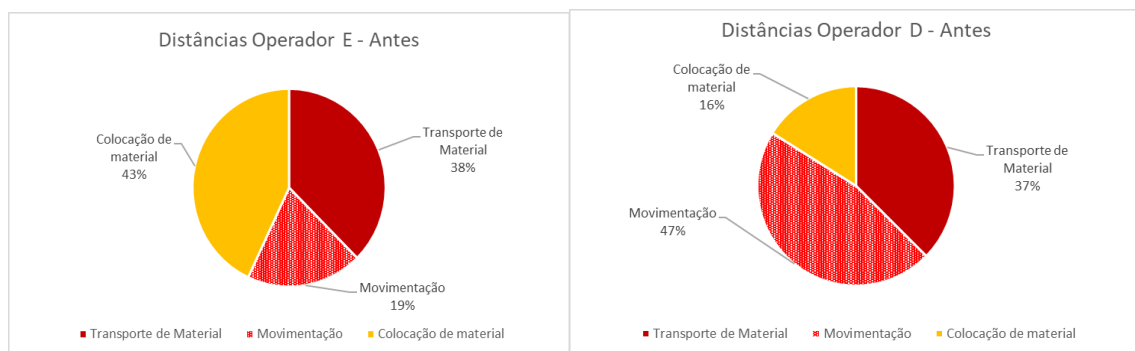


Figura 38: Distâncias percorridas pelos operadores D e E, respetivamente, no cenário anterior.

Para atenuar os desperdícios observados, sugeriu-se a colocação de todo o material no carro das molas, visto que nesta etapa não é necessário e encontra-se vazio. Desta forma, garante-se que não existe queda do material no pavimento, uma maior ergonomia no trabalho realizado pelo colaborador, menos deslocações e, por conseguinte, menor tempo a completar a tarefa. A implementação desta solução permite que apenas o operador E fique encarregue do abastecimento, com o auxílio do carro para percorrer todo o molde (Figura 39), libertando o operador D para a colocação de camadas externas, juntamente com a restante equipa.

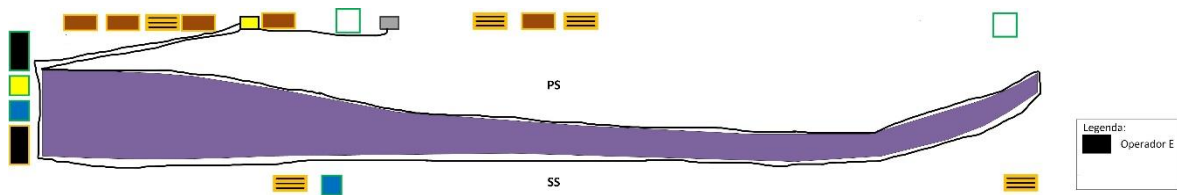


Figura 39: Diagrama de *Spaghetti* – cenário pós alterações.

Assim, com mais um colaborador a realizar atividades de valor acrescentado, consegue-se uma redução de 20 minutos na duração total do processo. No que concerne às viagens efetuadas, passam a ser percorridos 207 metros, o que significa que há uma redução de, aproximadamente, 66% face ao cenário inicial (Tabela 11). Com esta proposta, o percurso efetuado pelo operador E é constituído, maioritariamente, pela colocação dos *core wedges* e, por sua vez, o transporte e movimentação constituem apenas 31% dos metros percorridos (Figura 40).

Operador	Distância Antes (m)	Distância Depois (m)	Redução (%)
E	165	207	-
D	441	-	-
	606	207	65,84%

Tabela 11: Comparação do antes e depois, face às distâncias percorridas.

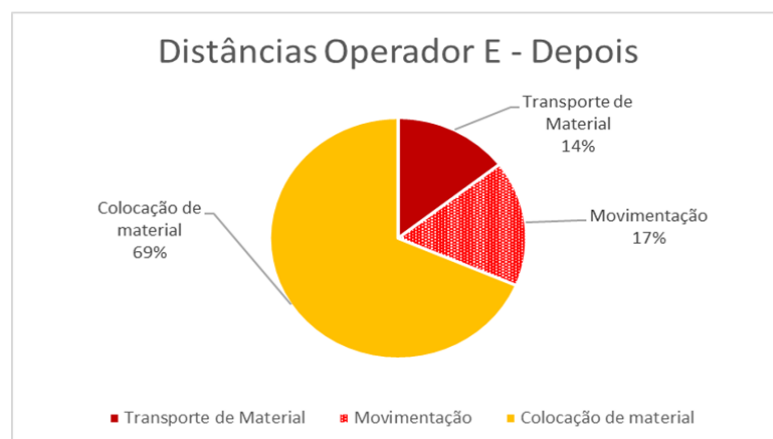


Figura 40: Distância percorrida pelo operador E, no cenário após alterações propostas.

Ação 7 – Criação de Ferramentas de Gestão Visual

Tal como abordado nos pontos anteriores, a produção de *webs* envolve uma preparação do molde, *layup* externo de fibras, colocação de *core wedges* e espuma. Em seguida, é efetuado o *layup* interno de fibras, no qual existem distâncias que têm de ser respeitadas para posicionar algumas fibras de reforço. Como tal, as equipas com a experiência adquirida, dispunham as fibras e depois utilizavam uma fita métrica para verificar a cota da aba em determinados pontos e reajustavam, se não fossem cumpridos os parâmetros. Como proposta de melhoria, foi sugerida a criação de ferramentas para auxiliar a marcação de pontos guia para posicionar as camadas na aba (Figura 41). Para além disso, na *root* é necessário cortar as últimas três fibras, de acordo com distâncias pré-definidas, até à extremidade da aba (Figura 41). Após discussão da funcionalidade e requisitos das ferramentas com os líderes de equipa e operadores, estas foram construídas por alguns colaboradores, com o contributo da manutenção.



Figura 41: Ferramentas de auxílio: posicionamento de fibras e corte na *root*, respetivamente.

Ação 9 - Atualização das Etiquetas dos Moldes

Por fim, constatou-se que as etiquetas dos moldes que auxiliam o desenrolamento inicial e final das fibras não estavam atualizadas, pelo que os colaboradores ou consultavam o *standard work* ou, com a experiência, memorizavam os raios de referência, o que podia originar erros ou retrabalhos. Como tal, atualizaram-se as etiquetas nos moldes, a fim de identificar o início e o fim do desenrolamento das fibras (Figura 42).



Figura 42: Etiquetas de identificação dos raios iniciais e finais das camadas de fibra.

3.2.3. Discussão de Resultados

Após a concretização das ações de melhoria propostas, interessa comparar os tempos de ciclo reais do mês de maio das áreas produtivas contempladas no estágio, com os objetivos estipulados. Neste sentido, analisando a Figura 43, constata-se que os tempos de ciclo médios são inferiores aos valores objetivos, pelo que se pode concluir que os eventos *Kaizen* foram implementados com sucesso. Todavia, percebe-se que no caso das *webs* e *shell* os tempos ainda apresentam alguma variabilidade (Tabela 12), dado que os processos ainda estão a sofrer alterações, pelo que ainda não se encontram estáveis e existem muitos formandos nas equipas. A recolha dos valores de tempos de ciclo foi efetuada após a implementação das melhorias, em maio, correspondendo a 10 pás.

Área	Tempo de Ciclo Médio (h)	Desvio-padrão do Tempo de Ciclo (h)	Tempo de Ciclo Objetivo (h)	Takt Time (h)
Semi Root SS	14,9	0,52	15,0	16,2
Semi Root PS	14,9	0,52	15,0	16,2
Web LE	14,6	1,40	15,0	16,2
Web TE	14,6	1,40	15,0	16,2
Main Shell SS	29,3	2,16	30,0	16,2
Main Shell PS	24,2	1,32	25,0	16,2

Tabela 12: Tempos de ciclo médio das áreas examinadas, do mês de maio.

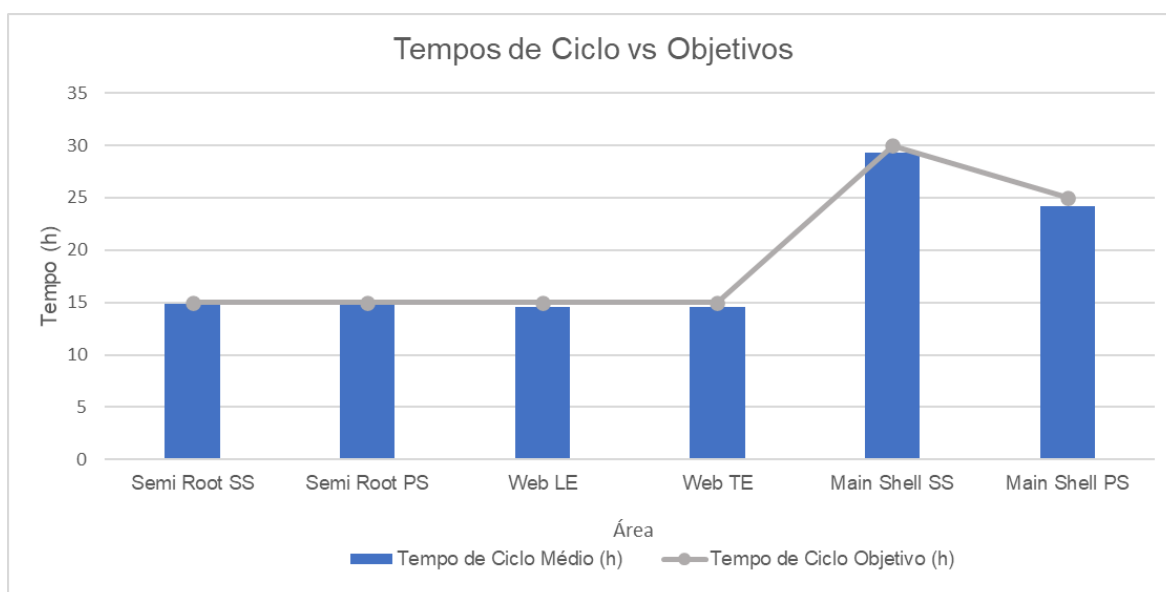


Figura 43: Comparação dos tempos de ciclo com os valores objetivo.

Os restantes processos apontados como gargalos produtivos – *Caps*, P1, P2 e *UT Scan* – apesar de não terem sido alvo de análise e de propostas de melhoria no presente trabalho, também obtiveram as reduções necessárias para cumprir os objetivos definidos. Assim, atingiram-se as metas desejadas, isto é, pelo menos uma redução do tempo de processamento em 11,3%, do tempo de armazenamento de *stocks* em 3,5% e do *lead time* em 4,9%.

Para além dos indicadores de desempenho, também se pretendia criar uma linha modelo, através da implementação de melhorias relativas à organização do local de trabalho, redução dos desperdícios existentes, padronização do trabalho e criação de ferramentas de gestão visual, com vista ao aumento da produtividade e da consistência no trabalho. Apesar destes pontos terem sido bem-sucedidos existe sempre espaço para melhorar, pelo que o desenvolvimento da linha modelo não se pode tomar como concluída, sendo antes preciso continuar a melhorar os processos e instituir uma cultura de melhoria contínua nas diversas áreas da fábrica. Existem várias ações que já foram generalizadas aos restantes modelos de pás, ambicionando-se dar continuidade ao ciclo de melhoria contínua, para que a linha de produção das pás SG145 seja uma linha de referência para as restantes.

4. Conclusões

Nas últimas décadas, o fomento do *Lean Thinking* nas organizações tem-se acentuado, devido à necessidade de sobrevivência no mercado, distinção face aos concorrentes e retenção dos clientes. Neste sentido, reforça-se a importância da redução dos custos, dado que interferem diretamente no preço e, por sua vez, na competitividade.

Perante este cenário, para que as empresas entreguem mais valor ao cliente e fortaleçam a relação com os mesmos, é imprescindível que sejam ágeis nas suas respostas, eficientes nas entregas e apresentem produtos com qualidade. Consequentemente, a análise e redução do *lead time* é de extrema importância para garantir uma relação positiva com os clientes.

Para tal, torna-se preponderante que as empresas eliminem e/ou reduzam os desperdícios, pois para além de não adicionarem valor ao cliente e de aumentarem o tempo de produção, acarretam a necessidade de comprar mais do que o necessário e exigem espaço para armazenamento, que muitas vezes não é possível, gerando desorganização.

Face ao exposto, o âmbito do projeto descrito no presente relatório assentou na necessidade de identificar no processo de produção das pás eólicas SG145 os subprocessos críticos relativamente à sua capacidade de resposta a uma procura que tem vindo a crescer nos últimos meses. Para o efeito recorreu-se à aplicação do *Value Stream Mapping*, uma ferramenta *Lean* que permite analisar o estado atual de um processo, identificar os seus desperdícios e desenhar o estado futuro, planeado como forma de dar resposta a um conjunto de objetivos de melhoria definidos.

A aplicação desta ferramenta revelou-se muito vantajosa numa primeira fase para perceber todo o processo de produção de uma pá eólica e auxiliar a tomada de decisões. Porém, dada a complexidade do processo e a extensa *Bill of Materials* tornou-se difícil representar alguns detalhes do mesmo, optando-se pela sua simplificação, que levou à elaboração do mapa do estado atual apresentado no capítulo 3 – VSM do estado atual.

Com base na análise deste VSM foi, então, definido o estado futuro para o processo de produção das pás SG145, atendendo aos objetivos a alcançar - redução de 4,9% do *lead time*, 3,5% do desperdício e 11,3% do tempo de processamento. Mais concretamente, ambicionava-se diminuir cerca de 21% do tempo de ciclo da produção de *semi roots*, 17% das *webs*, 34% da *shell SS* e 27% da *shell PS*. O estado futuro foi, então, desenhado num novo VSM – VSM do estado futuro.

Para alcançar estes objetivos foram depois realizados eventos *Kaizen* para três dos subprocessos considerados mais críticos tendo em consideração a análise do VSM do

estado atual. Nestes eventos foram apresentados aos colaboradores, líderes de equipa e supervisores os estados iniciais dos subprocessos e os objetivos de melhoria pretendidos para os mesmos. Durante este processo, estimulou-se a participação ativa dos trabalhadores aquando da identificação de desperdícios e da sugestão de ações de melhoria. Desta forma, pretendeu-se incentivar a mudança com o intuito de melhorar os processos produtivos.

Não foi possível quantificar em termos de ganhos de tempo todas as ações de melhoria propostas. Por exemplo, para ações como a implementação de *standard work*, de *zonings*, dos 5S e/ou a definição de novos *layouts* esta quantificação não foi praticável. Contudo, os trabalhadores sentiram um impacto positivo com as mesmas, uma vez que denotaram melhorias no suporte ao trabalho, por exemplo com a atualização das etiquetas, *standards* e *zonings*, maior coordenação entre as equipas, arrumação e fluidez. Conclui-se, assim, que para as áreas abordadas, houve melhorias em termos de tempo de ciclo, mas também relativamente à organização e padronização do trabalho. Os objetivos ao nível dos indicadores de desempenho foram alcançados, com o auxílio da aplicação de um conjunto de ferramentas *Lean*, que permitiram identificar redundâncias, oportunidades de melhoria e atuar sobre os desperdícios existentes.

Como limitações aponta-se a dificuldade na recolha de tempos, uma vez que os dados recolhidos através do sistema de picagem das operações que a fábrica possui não é fidedigno. Isto deve-se ao facto de não estar a ser utilizado pelos colaboradores corretamente, muitas vezes por esquecimento por parte dos mesmos.

Para além disso, a resistência à mudança também foi, muitas vezes, um desafio. Ainda que a empresa estimule, recompense e apele à introdução de mudanças para melhorar o trabalho, permanecer na zona de conforto ainda é algo inerente ao ser humano.

4.1. Perspetivas de Trabalho Futuro

No que diz respeito a perspetivas de trabalho futuro, propõe-se a generalização das melhorias aos vários processos da fábrica, nomeadamente a aplicação de 5S e ferramentas de gestão visual nos restantes projetos – produção de outros tipos de pás eólicas. Relativamente ao *stock* das matérias-primas, mais especificamente da fibra de vidro, a seleção de fornecedores alternativos mais próximos das instalações da fábrica também deveria ser alvo de investigação, na medida em que representa um impacto muito substancial no *lead time*.

Com a implementação das ações de melhoria resultantes deste projeto é expectável que outros subprocessos passem a ser críticos e se identifiquem gargalos distintos dos agora identificados. Assim, com a realização de um mapeamento da cadeia de valor para o estado do mês de junho, seria possível inferir acerca das ineficiências existentes e da quantidade de *stock* entre os processos. Esta análise deve ser efetuada com alguma frequência, pois permite que a *Siemens Gamesa* se mantenha ágil e flexível para responder a mudanças internas e externas.

Por último, sugere-se que seja dada formação aos colaboradores acerca do funcionamento e da importância da realização correta das picagens das operações, para que os tempos relativos às mesmas sejam corretamente recolhidos. Posteriormente, seria útil definir uma estratégia para garantir a assiduidade e precisão das picagens, pois estamos perante um recurso muito valioso, que está a ser desperdiçado.

Referências Bibliográficas

- Aalst, W. M. P. van der, La Rosa, M., & Santoro, F. M. (2016). Business process management: Don't forget to improve the process! *Business and Information Systems Engineering*, 58(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0409-x>
- Allen, T. T. (2006). Introduction to Engineering Statistics and Lean Six Sigma: Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems. In *Springer Nature*. Springer Nature. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7420-2>
- Bamford, D. R., & Greatbanks, R. W. (2005). The use of quality management tools and techniques: a study of application in everyday situations. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(4), 376–392. <https://doi.org/10.1108/02656710510591219>
- Berger, A. (1997). Continuous improvement and kaizen: Standardization and organizational designs. *Integrated Manufacturing Systems*, 8(2), 110–117. <https://doi.org/10.1108/09576069710165792>
- Bilsel, R. U., & Lin, D. K. J. (2016). *Ishikawa Cause and Effect Diagrams Using Capture Recapture Techniques*. 9, 137–152. <https://doi.org/10.1080/16843703.2012.11673282>
- Bragança, S., & Costa, E. (2015). An Application of the Lean Production Tool Standard Work. *Jurnal Teknologi*, 76(1), 47–53. <https://doi.org/10.11113>
- Brandon-Jones, A. (2014). Fixed position layout. *Wiley Encyclopedia of Management*, 2011, 2014.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2001). *Wind Energy Handbook*. New York: Wiley.
- Cannas, V. G., Pero, M., Pozzi, R., & Rossi, T. (2018). Complexity reduction and kaizen events to balance manual assembly lines: an application in the field. *International Journal of Production Research*, 56(11), 3914–3931. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1427898>
- Capela, M. F. (2019). *Redução do tempo de ciclo de produção de pás eólicas na Ria Blades*. Universidade de Aveiro.

- Carandente, R., Gallo, M., Murino, T., & Naviglio, G. (2013). A strategic - Operative lean integrated model for small companies. *SoMeT 2013 - 12th IEEE International Conference on Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques, Proceedings*, 15–19. <https://doi.org/10.1109/SoMeT.2013.6645658>
- Cavaco, R. F. S. (2018). *Cálculo da pegada ambiental de uma unidade industrial: o caso da Ria Blades SA*. Universidade de Aveiro.
- Chambers, S., Nigel, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management* (6th ed.). Pearson Education.
- Chen, J. C., Li, Y., & Shady, B. D. (2010). From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: An industrial case study. *International Journal of Production Research*, 48(4), 1069–1086. <https://doi.org/10.1080/00207540802484911>
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Hurley, B., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Anosike, A., & Batista, L. (2019). Green and lean: a Gemba–Kaizen model for sustainability enhancement. *Production Planning and Control*, 30(5–6), 385–399. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501808>
- Dhingra, A. K., Kumar, S., & Singh, B. (2019). Cost reduction and quality improvement through Lean-Kaizen concept using value stream map in Indian manufacturing firms. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 10(4), 792–800. <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00810-z>
- Eriksson, Y., & Fundin, A. (2018). Visual management for a dynamic strategic change. *Journal of Organizational Change Management*, 31(3), 712–727. <https://doi.org/10.1108/JOCM-05-2016-0103>
- Farris, J. A., Van Aken, E. M., Doolen, T. L., & Worley, J. (2009). Critical success factors for human resource outcomes in Kaizen events: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 117(1), 42–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.051>
- Fukuzawa, M. (2020). Function of value stream mapping in operations management journals. *Annals of Business Administrative Science*, 19(5), 207–225. <https://doi.org/10.7880/abas.0200909a>
- Galsworth, G. D. (2017). *Visual Workplace: Visual Thinking - Creating enterprise excellence*

through the technologies of the visual workplace. Taylor & Francis.

- Garza-Reyes, J. A., Christopoulos, C., Kumar, A., Luthra, S., González-Aleu, F., Kumar, V., & Villarreal, B. (2020). Deploying Kaizen events in the manufacturing industry: an investigation into managerial factors. *Production Planning and Control*.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1824282>
- Gåsvaer, D., & Axelson, J. von. (2012). Kaikaku : Radical improvement in production. *World Academy of Science, Engineering and Technology: An International Journal of Science, Engineering and Technology*, 6(9), 1914–1921.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1332646>
- Gonçalves, M. T., & Salonitis, K. (2017). Lean Assessment Tool for Workstation Design of Assembly Lines. *Procedia CIRP*, 60, 386–391.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.002>
- Hamel, M. R. (n.d.). *Kaizen Event Fieldbook for Effective Events*. Society of Manufacturing Engineers 9876543.
- Harari, N. S., Osterman, C., Bruch, J., & Jackson, M. (2013). Flexibility in Lean Mixed Model Assembly Lines. In B. Grabot, B. Vallespir, S. Gomes, A. Bouras, & D. Kiritsis (Eds.), *Advances in Production Management Systems* (Issue 3, pp. 224–231). IFIP International Federation for Information Processing 2014. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44733-8>
- Hines, P., Hines, P., Rich, N., Rich, N., Esain, A., Esain, A., Benchmarking, K., & Benchmarking, K. (1999). A distribution industry application. *International Journal*, 6(1), 60–77.
- Imai, M. (1986). *Kaizen (Ky'zen), the Sey to Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill: New York.
- Jadhav, J. R., Mantha, S. S., & Rane, S. B. (2015). Roadmap for lean implementation in Indian automotive component manufacturing industry: Comparative study of UNIDO model and ISM model. *Journal of Industrial Engineering International*, 11(2), 179–198.
<https://doi.org/10.1007/s40092-014-0074-6>
- Karwasra, K., Kumar, D., Soni, G., & Prakash, S. (2021). Webometric Study of Lean Manufacturing. In P. M. Pandey, P. Kumar, & V. Sharma (Eds.), *Advances in*

Production and Industrial Engineering (pp. 309–322). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/9789811555183>

Khaswala, Z. N. (2001). Value Network Mapping (VNM): Visualization and Analysis of Multiple Flows in Value Stream Maps. *Proceedings of the Lean Management Solutions Conference*, 614.

Koenigsaecker, G. (2013). Leading the Lean Enterprise Transformation. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Taylor & Francis.

Krafcik, J. F. (1988). Triumph of Lean Production System. *Sloan Management Review*, 30(1), 41–52.

Kulweic, R. A. (1985). *Materials Handling Handbook* (John Wiley & Sons (ed.); 2nd ed.).

Kumar, S., Dhingra, A. K., & Singh, B. (2017). Implementation of the lean-kaizen approach in fastener industries using the data envelopment analysis. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 15(1), 145–161. <https://doi.org/10.22190/FUME161228007K>

Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to Eliminate Waste: a Case Study of an Original Equipment Manufacturer for the Automotive Industry. *International Journal of Production Research*, 23(1), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>

Lasa, I. S., Laburu, C. O., & De Castro Vila, R. (2008). An Evaluation of the Value Stream Mapping tool. *Business Process Management Journal*, 14(1), 39–52. <https://doi.org/10.1108/14637150810849391>

Letcher, T. M. (2017). *Wind Energy Engineering*. Academic Press.

Li, S.-S., & Lee, L.-C. (2011). Using fishbone analysis to improve the quality of proposals for science and technology programs. *Research Evaluation*, 20(October), 275–282. <https://doi.org/10.3152/095820211X13176484436050>

Lu, J., & Yang, T. (2015). Implementing Lean Standard Work to Solve a Low Work-in-Process Buffer Problem in a Highly Automated Manufacturing Environment. *International Journal of Production Research*, 7543, 1–21. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937009>

- Mares, A., Senderská, K., & Václav, S. (2017). *Spaghetti Diagram Application For Workers' Movement Analysis* (Vol. 79, Issue 1). UPB Scientific Bulletin, Series D 79(1).
- Mayur, D. S., & Johnson, R. A. (2013). Using a fishbone diagram to develop change management strategies to achieve first-year student persistence. *SAM Advanced Management Journal*.
<https://search.proquest.com/openview/ffd84b5d361d7342f7cbe9ac4b61f970/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40946>
- Meier, H., Lagemann, H., Morlock, F., & Rathmann, C. (2013). Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services. *Procedia CIRP*, 11, 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.056>
- Mishnaevsky, L., Branner, K., Petersen, H. N., Beauson, J., Mcgugan, M., & Sørensen, B. F. (2017). Materials for Wind Turbine Blades: An Overview. *Materials*, 1–24. <https://doi.org/10.3390/ma10111285>
- Mourtzis, D., Papathanasiou, P., & Fotia, S. (2016). Lean Rules Identification and Classification for Manufacturing Industry. *Procedia CIRP*, 50, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.097>
- Moyano-Fuentes, J., & Sacristán-Díaz, M. (2012). Learning on lean: A review of thinking and research. *International Journal of Operations and Production Management*, 32(5), 551–582. <https://doi.org/10.1108/01443571211226498>
- Nelson, J. (2016). Pull versus Push: Lessons from Lean Manufacturing. In *Becoming a Lean Library* (pp. 29–49). Chandos Publishing. <https://doi.org/10.1016/b978-1-84334-779-8.00003-3>
- Nino, V., Claudio, D., Valladares, L., & Harris, S. (2020). An Enhanced Kaizen Event in a Sterile Processing Department of a Rural Hospital: a Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238748>
- Noto, G., & Cosenz, F. (2020). Introducing a strategic perspective in lean thinking applications through system dynamics modelling: the dynamic Value Stream Map. *Business Process Management Journal*. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2020-0104>
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity

Press.

- Peiris, P. A. N., Hui, F. K. P., Ngo, T., Duffiel, C., & Garcia, M. G. (2021). A Case Study on Early Stage Adoption of Lean Practices in Prefabricated Construction Industry. In R. Dissanayake, P. Mendis, K. Weerasekera, S. De Silva, & S. F. Editors (Eds.), *ICSEM 2019* (pp. 589–600). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-7222-7> ©
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean: A Filosofia das Organizações Vencedoras*. Lidel.
- Romero, D., Gaiardelli, P., Wuest, T., Powell, D., & Thürer, M. (2020). New Forms of Gemba Walks and Their Digital Tools in the Digital Lean Manufacturing World. In K. Rannenbergh (Ed.), *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (pp. 432–440). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5>
- Rother, M., & Shook, J. (2009). *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda* (1.4). Lean Enterprise Institute.
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021a). *History: What about Pioneers*. <https://www.siemensgamesa.com/en-int/about-us/company-history>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021b). *Siemens Gamesa: About us*. <https://www.siemensgamesa.com/about-us>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2021c). *Wind Turbines and Services: Highly Profitable*.
- Singh, A., & Ahuja, I. S. (2014). Evaluating the impact of 5S methodology on manufacturing performance. *International Journal of Business Continuity and Risk Management*. <https://doi.org/10.1504/IJBCRM.2014.068010>
- Solding, P., & Gullander, P. (2009). *Concepts for Simulation based Value Stream Mapping*. 2231–2237.
- Suárez-Barraza, M. F., & Rodríguez-González, F. G. (2018). Cornerstone root causes through the analysis of the Ishikawa diagram , is it possible to find them? A first research approach. *International Journal of Quality and Service Sciences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/IJQSS-12-2017-0113>

- Sule, D. R. (2008). *Manufacturing facilities: Location, Planning and Design*. (3rd ed.). CRC Press.
- Tanco, M., Santos, J., Rodriguez, J. L., & Reich, J. (2013). Applying lean techniques to nougat fabrication: a seasonal case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(5-8), 1639–1654. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4960-7>
- Tilkemeier, P. L. (2016). The quality cycle. In P. L. Tilkemeier, R. C. Hendel, G. V. Heller, & J. A. Case (Eds.), *Quality Evaluation in Non-Invasive Cardiovascular Imaging* (pp. 9–20). Springer International Publishing Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28011-0>
- Torghabehi, E., Arab, A., Kurczewski, K., & Abdekhodae, A. (2016). Visual Management, Performance Management and Continuous Improvement: a Lean Manufacturing Approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(2), 187–210. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2014-0028>
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2014). Value stream Mapping to Reduce the Lead-time of Product Development Process. *Intern. Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>
- Venkatesan, T. M. I., & Kundu, G. K. (2020). An Empirical Study on Kaizen Events in Indian Small and Medium Enterprises. *International Journal of Services and Operations Management*, 37(2), 220–240. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2020.110338>
- Vinodh, S., Selvaraj, T., Chintha, S. K., & K.E.K., V. (2015). Development of value stream map for an Indian automotive components manufacturing organization. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 13(3), 380–399. <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2010-0054>
- Vo, B., Kongar, E., & Suárez Barraza, M. F. (2019). Kaizen Event Approach: a Case Study in the Packaging Industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(7), 1343–1372. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2018-0282>
- Vugec, D. S., Ivancic, L., & Glavan, L. M. (2019). Business Process Management and Corporate Performance Management: Does Their Alignment Impact Organizational Performance. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 17(2), 368–384.

<https://doi.org/10.7906/indecs.17.2.12>

Wang, Y., & Qi, E. (2008). Enterprise planning of total life cycle lean thinking. *Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, IEEE/SOLI 2008, 2, 1712–1717.*
<https://doi.org/10.1109/SOLI.2008.4682805>

Williams, B. A. (2018). *Standard Work – Lean Tools and Techniques. 724.*

Wilson, L. (2009). *How to Implement Lean Manufacturing.* McGraw Hill Professional.

Womack, J. P. (2018). *Rethinking the Model Line.* Lean Enterprise Institute.
<https://www.lean.org/LeanPost/Posting.cfm?LeanPostId=878>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.* New York: Free Press.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World.* Simon and Schuster.

Wong, K. C. (2011). Using an Ishikawa diagram as a tool to assist memory and retrieval of relevant medical cases from the medical literature. *Journal of Medical Case Reports, 5:120.* <https://doi.org/10.1186/1752-1947-5-120>



















Wu, X., Yuan, H., Wang, G., Li, S., & Wu, G. (2019). Impacts of Lean Construction on Safety Systems: A System Dynamics Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(2).* <https://doi.org/10.3390/ijerph16020221>

Xue-gang, S., & Er-shi, Q. (2010). *The Application of Lean Thinking in Transition of Manufacturing-Services.* 48–51. <https://doi.org/10.1109/MMIT.2010.52>

Anexo A: Organograma Siemens Gamesa Renewable Energy Blades.







Anexo B: *Standard Work* Desmoldagem da pá e Movimentação – até às primeiras 8 tarefas.

Standard Work														
Projeto: SGE145 Processo: Desmoldagem e Movimentação de Pá						Plant: Vagos								
Área: Logística Doc. nº: SW-L-003.00						Data de Revisão: 09/12/2020								
Data de Criação: 09/12/2020						Data de Aplicação:								
HST	Luvas Mecânicas		Boné de proteção		Óculos de proteção									
					Coletes									
#	Operação	Valor/ Caract./ Meio Controlo	Descrição Sumária das Acções	Operador	Anexo	Auxiliar Visual								
10	Início do Processo		Confirmar a utilização de todos os EPI's necessários para a realização da tarefa	1										
20	Abertura de Molde		Para a abertura de molde, dependendo a resina de colagem que tenha sido utilizada, deverão ser cumpridos os requisitos na tabela.	3		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Referência de resina de colagem</th> <th>TG</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HEXION BPR135G/BPH137GF</td> <td>65 °C</td> </tr> <tr> <td>ADITYA BIRLA (ABC) YD1535G/TH7257G</td> <td>77 °C</td> </tr> <tr> <td>Temperatura para abertura de molde</td> <td>≤ 95 °C</td> </tr> </tbody> </table> 	Referência de resina de colagem	TG	HEXION BPR135G/BPH137GF	65 °C	ADITYA BIRLA (ABC) YD1535G/TH7257G	77 °C	Temperatura para abertura de molde	≤ 95 °C
Referência de resina de colagem	TG													
HEXION BPR135G/BPH137GF	65 °C													
ADITYA BIRLA (ABC) YD1535G/TH7257G	77 °C													
Temperatura para abertura de molde	≤ 95 °C													
30	Verificação do TG e temperaturas da peça e molde		Verificar se a peça cumpre os requisitos para desmoldagem. Caso verifique algum ponto fora dos requisitos alertar LGAT para agir em conformidade.	1 Log + 1 LGAT		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">REQUISITOS DE DESMOLDAGEM APOS CURA</th> </tr> <tr> <th>ZONA</th> <th>CONDIÇÕES OBRIGATORIAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ROOT: De R0 a R6000</td> <td>Tg > 65 °C Temperatura ≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td>RESTO DA PÁ: De R6000 à TIP</td> <td>Tg > 65 °C Temperatura < Tg Temperatura ≤ 75 °C</td> </tr> </tbody> </table>	REQUISITOS DE DESMOLDAGEM APOS CURA		ZONA	CONDIÇÕES OBRIGATORIAS	ROOT: De R0 a R6000	Tg > 65 °C Temperatura ≤ 65 °C	RESTO DA PÁ: De R6000 à TIP	Tg > 65 °C Temperatura < Tg Temperatura ≤ 75 °C
REQUISITOS DE DESMOLDAGEM APOS CURA														
ZONA	CONDIÇÕES OBRIGATORIAS													
ROOT: De R0 a R6000	Tg > 65 °C Temperatura ≤ 65 °C													
RESTO DA PÁ: De R6000 à TIP	Tg > 65 °C Temperatura < Tg Temperatura ≤ 75 °C													
40	Verificar se o vácuo nos canais SS está desligado		Verificar na consola se o vácuo do molde SS está devidamente desligado.	1 Log + 1 LGAT										
50	Posicionar os carros de transporte		Posicionar os carros de transporte Tip e Root no corredor de movimentação, alinhados entre si no sentido longitudinal e alinhados com com os pontos de elevação da pá no sentido transversal.	2										
60	Requisitar auxílio da Produção		- Informar o LGAT da Produção do início da movimentação. - Requisitar o auxílio de um colaborador da Produção validado para auxiliar em Movimentações. Este colaborador deve vestir o colete laranja.	1		   								
70	Preparar equipamento necessário Root		Prepare o equipamento necessário para a operação: - Pontes e seu comando de controlo; - Equipamento de elevação Root SS - Canga (cód. 314584); - Verificar visualmente o estado do carro: equipamento, correias, estrutura metálica, barra, esterovites, bucha e furos guia. - Garantir realização e registo das tarefas de Manutenção Nível 1. - Transportar Carro para linha.	1		  								
80	Preparar equipamento necessário Tip		Prepare o equipamento necessário para a operação: - Pontes e seu comando de controlo; - Meio de Desmoldagem/Aranhão (14 toneladas); - Verifique visualmente o estado do equipamento: cintas, etc. necessários à movimentação de pontes e do litter. - Garantir realização e registo das tarefas de Manutenção Nível 1.	1		 								

Anexo C: *Layout* dos moldes da *main shell* SG145.

<p>Preparação do Molde e Layup</p> <p>1</p>	<p>Infusão</p> <p>2</p>	<p>Preparação do Molde/ Layup / Infusão (1 e 2)</p>
<p>Ripagem</p> <p>3</p>	<p>Colagem</p> <p>4</p>	<p>Ripagem / Colagem (3 e 4)</p>
<p>Cura</p> <p>5</p>		<p>Desmoldagem</p> <p>6</p>

Anexo D: Documentação das auditorias 5S.

		<h2 style="text-align: center;">Auditoria 5S</h2>			<h3 style="text-align: center;">Resultado Geral</h3>
Realizado por:		Data:			  
Acompanhada por:		Zona:			
CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO					
1	Todas as, matérias primas, carros logísticos, ferramentas, contentores encontram-se no seu local respetivo (zoning /suportes/ encaixes)?				
2	Todas as ligações, mangueiras, tubagens, fios, proteções, tampas, vala técnica estão no seu local e devidamente colocadas e em bom estado de conservação (ex. cabos descarnados, tomadas partidas, ausência de mangueiras)?				
3	As ferramentas/máquinas estão em condições de utilização e não estão adulteradas (Ex: falta de silenciador, falta de aspiração, falta punhos)? Estão identificadas com códigos SAP?				
4	O corredor de emergência, as portas de emergência, extintores, carretéis quadros elétricos, Kit de emergência estão desobstruídos, e em bom estado?				
5	Todas as pessoas na zona auditada usam o fardamento e EPI definido - óculos, sapatos trabalho, mascaras, etc.? E o armário de EPI's está arrumado? As máscaras panorâmicas e/ou semi-faciais devidamente protegidas nos sacos e/ou caixas?				
6	Os resíduos estão separados adequadamente e de acordo com as regras definidas (o plástico só está no contentor amarelo, o papel só no azul, ...)?				
7	Existem substancias químicas na área, exceto as que estejam a ser utilizadas no momento? As embalagens de transvaze tem o rótulo?				
8	Existem carros, estruturas, passadiços, suportes, guarda corpos, varandins, danificados/avariados?				
9	Os quadros Top 5, registos de manutenção N1, quadros seguimento, pinokos e outros quadros estão devidamente preenchidos e atualizados? As observações da ultima auditoria constam no plano de ações e as ações estão fechadas? Existe manual de HSA e SW?				
10	A área encontra-se limpa?				
Regras:					
		1		Resultado Final	
		2		Resultado Final	
		3		Resultado Final	
Plano de ações					
<p><u>O plano de ações resultante desta auditoria deverá constar no documento "SQ156 Plano de Ação" colocado no quadro TOP 5 da GAT.</u></p>					

Observações:

Anexo E: Documento com a distribuição das tarefas na área das Webs.

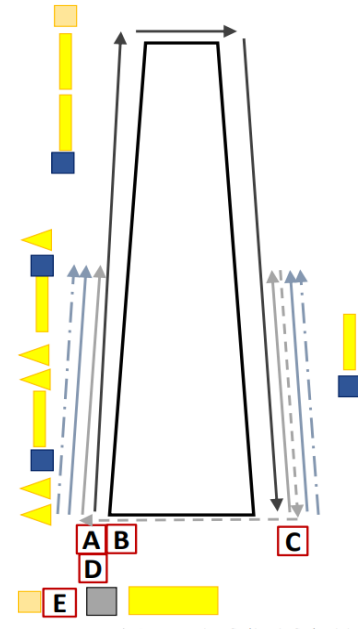
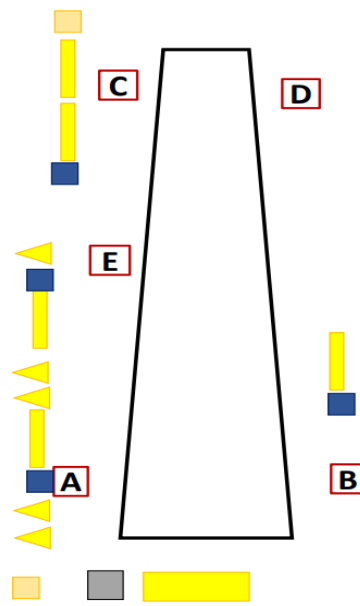
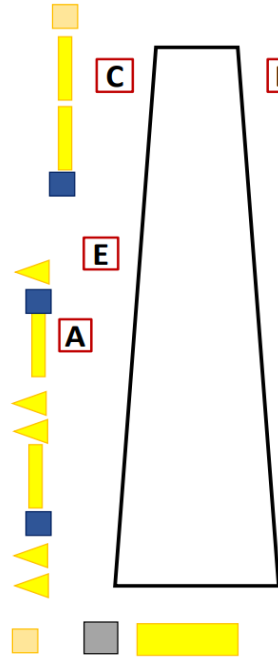
SIEMENS Games		ROADBOOK TAREFAS	
Projeto:	SC145/155/170	Distribuição Tarefas: A -	D -
Área:	Webs	B -	E -
Piloto:	Daniela Almeida - Joana Silva	C -	
#	Tarefa / Atividade	Operador	Comentários
1	Limpeza do molde	A+B+C+D+E	
2	Limpar molde	E	
3	Recolher resíduos do molde e abas	C+D	
4	Aplicar desmoldante		
5	Preparação molde	A	
6	Colocar fitas de dupla face	B	
7	Colocar fita Tesa Infr	C	
8	Colocar fita Tesa sup	D	
9	Rafilar fitas	E+A	E - esticar; A - decalcar
10	Aplicar PeelPly SS	B+D	B - esticar; D - decalcar
11	Aplicar PeelPly PS	C	
12	Distribuir molas		
13	Layup Externo	A	Distribuir todos de uma vez
14	Colocar reforços Root aba PS	B	Distribuir todos de uma vez
15	Colocar reforços Root aba SS	C	"E" auxilia alternadamente
16	Colocar reforços Tip aba PS	D	"E" auxilia alternadamente
17	Colocar reforços Tip aba SS	A	
18	Aplicar PeelPly SS	C	
19	Colocar Película não Perfurada SS	B	
20	Aplicar PeelPly PS	D	
21	Colocar Película não Perfurada PS	A+C	
22	Colocar Cintas de Silicone SS	B+D	
23	Colocar Cintas de Silicone PS	E	
24	Cortar excesso de película não perfurada	E	
25	Selar película com fita de alta temperatura	A	
26	Virar PeelPly e reforços Root PS	B	
27	Virar PeelPly e reforços Root SS	C	
28	Virar PeelPly e reforços Tip PS	D	
29	Virar PeelPly e reforços Tip SS	E	
30	Distribuir core wedges ao longo do molde	E	
31	Posicionar mangueira de ar comprimido e agrafador	A	
32	Aplicar fibras e virar reforços Root PS	B	
33	Aplicar fibras e virar reforços Root SS	C	
34	Aplicar fibras e virar reforços Tip PS	D	
35	Aplicar fibras e virar reforços Tip SS	E+C	
36	Aplicar core wedges e agrafar PS	E+D	
37	Aplicar core wedges e agrafar SS	C	
38	Desenrolar reforços PS	A	
39	Ajustar reforços PS	D	
40	Desenrolar reforços SS	B	
41	Ajustar reforços SS		
42	Colocação do core	E	
43	Distribuir placas Root	A+B	
44	Ajustar core Root	A+B+E	
45	Cortar e preencher do core Root	C	
46	Distribuir placas Tip	C+D	
47	Ajustar core Tip	C+D	
48	Cortar e preencher do core Tip	C+D	
49	Layup interno	A	
50	Aplicar 1ª tira de gutter tape PS		
51	Virar reforços PS	C	
52	Aplicar 1ª tira de gutter tape SS	B	
53	Virar reforços SS	D	
54	Aplicar 2ª tira de gutter tape PS	A	
55	Virar reforços PS	C	
56	Aplicar 2ª tira de gutter tape SS	B	
57	Virar reforços SS	E+C	
58	Aplicar core wedges e agrafar 1	E+D	
59	Aplicar core wedges e agrafar 2	C+D+E	
60	Aplicar camadas internas Tip + do molde	A+B	
61	Aplicar camadas internas Root		
62	Cabo LPS	A+C	
63	Desenrolar cabo LPS e ajustar	B+D	
64	Cravar chicotes e isolar cabo	E	
65	Mancar furos e colocar amostras 1-4 e FWF	E	
66	Aplicar furos	B	
67	Desenrolar fibra cabo 1 e 2	C	
68	Ajustar fibras aos cabos	B	
69	Agrafar as fibras ao cabo		
70	Roll	A+C	
71	Desenrolar folha desmoldante PS	B+D+E	
72	Ajustar folha desmoldante PS	A+C	
73	Desenrolar folha desmoldante SS	B+D+E	
74	Ajustar folha desmoldante SS	A+C	
75	Desenrolar green mesh PS	B+D+E	
76	Ajustar green mesh PS	A+C	
77	Desenrolar green mesh SS	B+D+E	
78	Ajustar green mesh SS	E	
79	Cortar perfil omega	B	
80	Kit ponte de infusão + membrana vácuo	A	
81	Aplicar perfil omega Root até 2º suporte de vazamento	C	
82	Aplicar perfil omega Tip até 2º suporte de vazamento	E	
83	Recolher molas e distribuir tacky tape pelo molde	E	
84	Limpar exterior do molde	D	
85	Aplicar linha de tacky tape	B	
86	Preparar mangueiras	C	
87	Gutter tape para pontes de infusão	A	
88	Colocar pontes de infusão	E + B	
89	Colocar linha de felpo	D	
90	Preparar e colocar membrana de vácuo		
91	Saco de Vácuo	D	
92	Preparar saco de vácuo	A+B	
93	Fechar saco	C+D	
94	Pregas	E	
95	Cortar saco e recolher excesso	E+A	
96	Abertura e ajuste do saco	B	
97	Colocar mangueiras	C	
98	Limpar área		
99	Infusão	A	
100	Máquina de resina e controle da peça	B+C	
101	Bidão	D	
102	Colocar temporares	E	
103	Limpeza geral da área		

Anexo F: Fluxo de Movimentações na área das Webs até à colocação do core.

Distribuição Geral da Área

Limpeza do Molde

Preparação do Molde



A + B + C + D + E - Limpeza do Molde;
E - Recolha de resíduos do molde e das abas;
C + D - Aplicação de desmoldante;

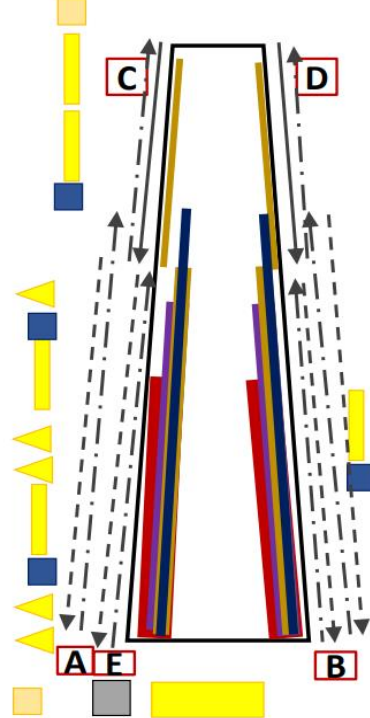
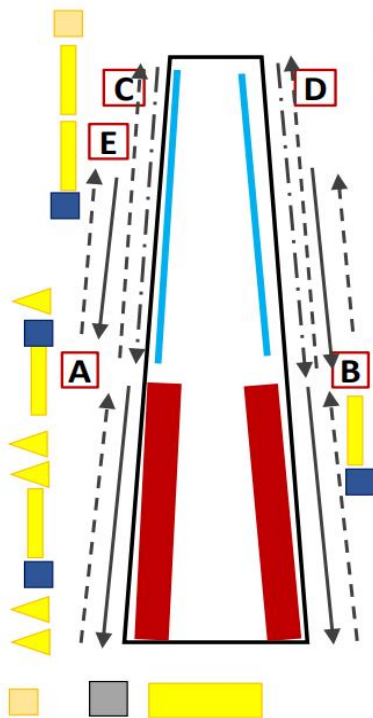
→ Percurso a colocar fita/descolar fita/ peel ply;
- - - Percurso a ajustar peel ply;
· · · Percurso em vazio.

Lay Up Externo

Lay Up Externo

- Reforços 1.1 (Tip) e 1.2 (Root)
- Reforços 2.1 (Tip) e 2.2 (Root)
- Reforços 3.1 (Tip) e 3.2 (Root)
- Reforços 4.1 (Tip) e 4.2 (Root)
- Reforços 5.1 (Tip) e 5.2 (Root)
- Reforços 6.1 (Tip) e 6.2 (Root)

- Reforços 1.1 (Tip) e 1.2 (Root)
- Reforços 2.1 (Tip) e 2.2 (Root)
- Reforços 3.1 (Tip) e 3.2 (Root)
- Reforços 4.1 (Tip) e 4.2 (Root)
- Reforços 5.1 (Tip) e 5.2 (Root)
- Reforços 6.1 (Tip) e 6.2 (Root)

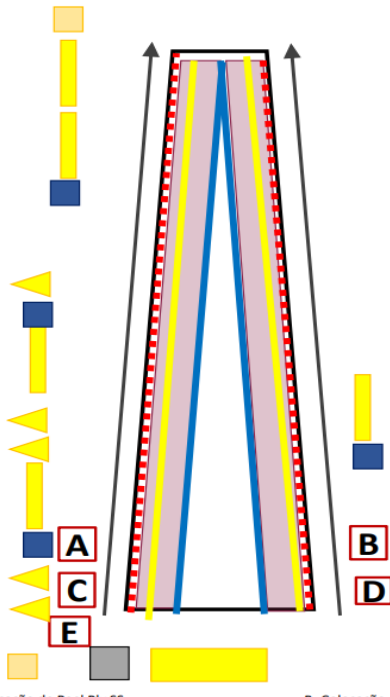


→ Percurso a desenrolar fibra;
- - - Percurso a ajustar fibra;
· · · Percurso em "vazio".

→ Percurso a desenrolar fibra;
- - - Percurso a ajustar fibra;
· · · Percurso em "vazio".

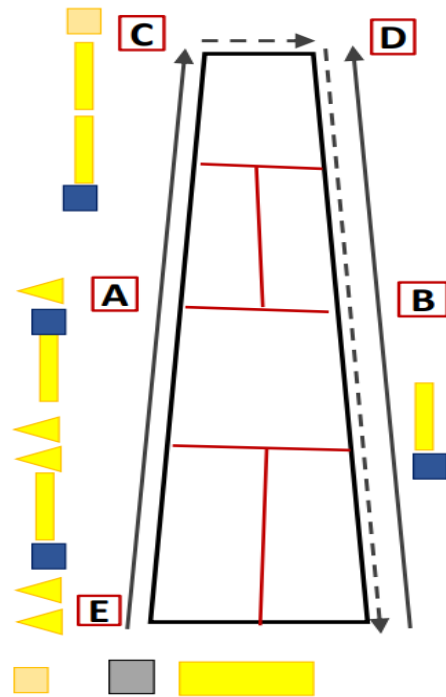
Lay Up Externo

- Peel Ply
- Película não perfurada
- Cinta de silicone
- Fita de alta temperatura (Teflon)



- A - Colocação de Peel Ply SS;
- C - Colocação da película não perfurada SS;
- A + C - Colocação das cintas de silicone SS;
- E - Corte do excesso da película não perfurada;
- B - Colocação de Peel Ply PS;
- D - Colocação da película não perfurada PS;
- B + D - Colocação das cintas de silicone PS;

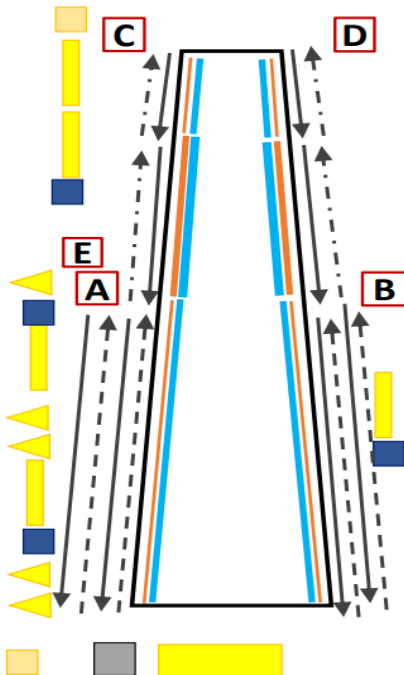
Lay Up Externo



- A + B - Aplicar fibras 1.1, 1.2 e 1.3;
- C + D - Virar os reforços 6.1 e 5.1;
- E - Distribuição dos core wedge ao longo do molde (cont.);
- E - Aplicação dos core wedge;

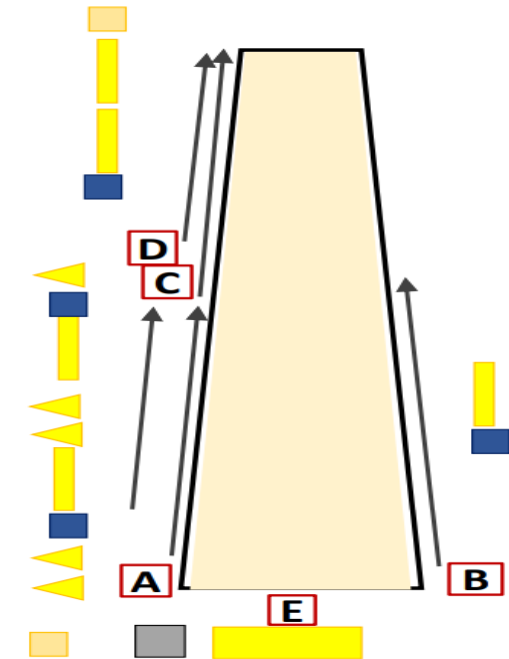
Lay Up Externo

- Reforços 7.1, 7.3
- Reforços 8.1, 8.3



- C - Desenrolar Reforços PS 7.3 e 8.3;
- A - Ajustar os Reforços PS 7.3 e 8.3;
- D - Desenrolar Reforços SS 7.3 e 8.3;
- B - Ajustar os Reforços SS 7.3 e 8.3;

Core



- E - Distribuição placas da Root;
- A + B - Ajuste do core da Root (marcações);
- A + B + E - Corte e preenchimento do core da Root;
- C - Distribuição placas da Tip;
- C + D - Ajuste do core da Tip;