

Melhoria do Fluxo Produtivo numa Unidade Industrial de Produção de Rolhas

Sílvia Alexandra Lima Vieira Caçador

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Gil da Costa



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2026-06-25

Resumo

A crescente necessidade de aumentar a competitividade industrial tem reforçado a importância da melhoria contínua dos fluxos produtivos, particularmente em contextos caracterizados por elevada diversidade de produtos e complexidade operacional. Neste âmbito, o presente projeto foi desenvolvido na Amorim Top Series, unidade industrial da Amorim Cork dedicada à produção de rolhas capsuladas, com o objetivo de analisar os fluxos produtivos associados à transformação de rolhas de cortiça e desenvolver soluções que contribuíssem para a melhoria do seu desempenho.

O trabalho teve como base a metodologia *Value Stream Mapping* (VSM), aplicada a três referências representativas selecionadas através de uma análise ABC baseada nas previsões de produção para o ano de 2026. A construção dos mapas do estado atual permitiu caracterizar os fluxos produtivos, quantificar o seu desempenho e identificar os principais desperdícios e estrangulamentos operacionais. Os resultados obtidos evidenciaram *lead times* elevados, compreendidos entre 16,16 e 20,89 dias, sendo a maior parte deste tempo composta por atividades sem valor acrescentado, associadas principalmente à acumulação de inventário intermédio e à falta de sincronização entre processos.

Com base no diagnóstico realizado, foi efetuada uma análise das causas dos problemas identificados, que serviu de suporte ao desenvolvimento de um conjunto de propostas de melhoria orientadas para a gestão dos materiais, para a sincronização dos fluxos produtivos e para a redução dos desperdícios existentes ao longo da cadeia de valor. A avaliação das soluções desenvolvidas demonstrou o seu potencial para reduzir significativamente os *lead times* dos fluxos analisados, ultrapassando a meta inicialmente estabelecida de redução de 20%. Paralelamente, as propostas apresentadas contribuem para uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis, para a redução do inventário sem necessidade operacional e para o aumento do aproveitamento da matéria-prima.

Para além dos benefícios operacionais identificados, o trabalho evidencia a aplicabilidade do *Value Stream Mapping* em ambientes produtivos caracterizados por elevada diversidade de produtos e diferentes percursos de fabrico, contribuindo para a compreensão da sua utilização em contextos de maior complexidade industrial. Os resultados obtidos reforçam o potencial das metodologias *Lean* como suporte à melhoria do desempenho operacional e à promoção de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: *Lean Thinking*; *Value Stream Mapping*; Melhoria Contínua; Gestão de Inventário; Sistemas *Pull*; Eficiência Operacional.

Abstract

Production Flow Improvement in an Industrial Cork Stopper Manufacturing Unit

The growing need to increase industrial competitiveness has reinforced the importance of continuous improvement and the optimization of production flows, particularly in contexts characterized by high product diversity and operational complexity. In this context, the present project was developed at Amorim Top Series, an industrial unit of Amorim Cork dedicated to the production of capsulated cork stoppers, with the aim of analyzing the production flows associated with the transformation of cork stoppers and developing solutions that could contribute to improving their performance.

The work was based on the *Value Stream Mapping* (VSM) methodology, applied to three representative references selected through an ABC analysis based on the production forecasts for 2026. The construction of the current state maps made it possible to characterize the production flows, quantify their performance and identify the main wastes and operational constraints. The results obtained showed high *lead times*, ranging from 16.16 to 20.89 days, with most of this time corresponding to non-value-added activities, mainly associated with the accumulation of intermediate inventory and the lack of synchronization between processes.

Based on the diagnosis carried out, an analysis of the causes underlying the identified problems was performed, supporting the development of a set of improvement proposals focused on material management, synchronization of production flows and reduction of waste along the value chain. The evaluation of the proposed solutions demonstrated their potential to significantly reduce the *lead times* of the analyzed flows, exceeding the initially established target of a 20% reduction. In parallel, the proposed actions contribute to a more efficient use of available resources, to the reduction of inventory without immediate operational need and to the increased recovery of raw material.

In addition to the operational benefits identified, this work highlights the applicability of *Value Stream Mapping* in production environments characterized by a high diversity of products and different manufacturing routes, contributing to a better understanding of its use in contexts of greater industrial complexity. The results obtained reinforce the potential of *Lean* methodologies as a support for improving operational performance and promoting more efficient and sustainable production systems.

Keywords: *Lean Thinking*; *Value Stream Mapping*; Continuous Improvement; Inventory Management; *Pull* Systems; Operational Efficiency.

Agradecimentos

Chegar ao fim desta etapa não teria sido possível sem o apoio, a presença e o carinho de várias pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para este percurso.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família, pelo apoio incondicional, pelo amor e por estarem sempre presentes nos momentos mais importantes. Obrigada por acreditarem em mim, mesmo nos momentos em que eu própria duvidei, e por me darem a segurança necessária para continuar.

À minha irmã, deixo o meu agradecimento mais especial. Por ser a pessoa mais importante da minha vida, por estar sempre do meu lado e por me acompanhar em todos os momentos, bons e menos bons. Obrigada pela força, pelo carinho, pela compreensão e por seres o meu maior apoio. Esta conquista também é tua.

Aos meus amigos, agradeço por tornarem este caminho mais leve. Obrigada pela amizade, pela motivação, pelos momentos de descontração e por me lembrarem, nos dias mais difíceis, que nenhum percurso se faz sozinho.

Ao Professor Eduardo Gil da Costa, orientador da faculdade, agradeço a disponibilidade, o acompanhamento e as sugestões transmitidas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, que contribuíram para a sua estruturação e melhoria.

Ao Ricardo Silva, orientador na empresa, agradeço a oportunidade, a orientação e o apoio prestado ao longo do projeto. A sua disponibilidade, paciência e conhecimento foram fundamentais para compreender o contexto industrial e desenvolver um trabalho alinhado com a realidade da empresa.

À Sofia Filipe, agradeço igualmente todo o apoio, acompanhamento e disponibilidade demonstrados ao longo do estágio. A sua ajuda foi muito importante para a integração na empresa e para o desenvolvimento do trabalho realizado.

A todos os operadores da fábrica, deixo também um sincero agradecimento pela forma como me receberam, pela disponibilidade em partilhar conhecimento, pela ajuda prestada durante a recolha de informação no terreno e pela simpatia. O contributo de cada um foi essencial para compreender melhor os processos e a realidade diária da produção.

À Beatriz, que tive a sorte de conhecer durante esta experiência na empresa, agradeço pela amizade, pela ajuda e por tornar este período mais leve e especial. Obrigada por me acompanhares, por me apoiares e por teres sido uma presença tão importante ao longo deste percurso.

A todos os que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta etapa, o meu sincero obrigada.

“The future depends on what you do today.”

Mahatma Gandhi

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Apresentação da empresa	2
1.2.1	Corticeira Amorim	2
1.2.2	Amorim Top Series	2
1.2.3	Processo produtivo geral da Amorim Top Series	3
1.3	Objetivos do projeto	4
1.4	Método seguido no projeto	5
1.5	Estrutura da dissertação	5
2	Revisão de literatura	6
2.1	<i>Lean Thinking</i> e fundamentos do sistema <i>Lean</i>	6
2.1.1	Origem e evolução do <i>Lean Thinking</i>	6
2.1.2	<i>Lean Thinking</i> como sistema de gestão	7
2.1.3	Princípios do <i>Lean Thinking</i>	8
2.1.4	Desperdícios no <i>Lean Thinking</i> : <i>muda</i> , <i>mura</i> e <i>muri</i>	9
2.1.5	Melhoria contínua e <i>kaizen</i>	10
2.1.6	Práticas operacionais do sistema <i>Lean</i>	10
2.2	Ferramentas <i>Lean</i> e indicadores de desempenho	11
2.2.1	Análise ABC/Pareto	11
2.2.2	A3	12
2.2.3	Diagrama de Ishikawa e técnica dos 5 <i>Whys</i>	13
2.2.4	Indicadores de desempenho produtivo	13
2.2.5	Overall Equipment Effectiveness (OEE)	14
2.3	<i>Value Stream Mapping</i>	15
2.3.1	Conceito e enquadramento do <i>Value Stream Mapping</i>	16
2.3.2	Estrutura e elementos fundamentais do <i>Value Stream Mapping</i>	17
2.3.3	Metodologia de construção do VSM	17
2.3.4	Limitações e desenvolvimentos recentes do <i>Value Stream Mapping</i>	18
2.3.5	<i>Current State Map</i> e <i>Future State Map</i> no processo de melhoria <i>Lean</i>	18
2.3.6	Seleção de famílias de produto e análise ABC como suporte ao VSM	18
2.4	Síntese da revisão da literatura e lacunas identificadas	19
3	Diagnóstico do estado atual do fluxo produtivo	20
3.1	Seleção das referências a analisar	20
3.2	Construção dos mapas do estado atual	22
3.3	Determinação dos indicadores dos mapas do estado atual	24
3.3.1	Procura diária e <i>takt time</i>	24
3.3.2	Tempo de ciclo teórico	24

3.3.3	Tempo de ciclo real	26
3.3.4	Recursos produtivos: operadores, máquinas e turnos	28
3.3.5	Tempos de <i>setup</i>	28
3.3.6	Capacidade dos processos	29
3.3.7	Níveis de stock intermédio	30
3.3.8	Tempo de permanência em stock	30
3.3.9	<i>Lead time</i> , VAT e NVAT	31
3.3.10	OEE e componentes associadas	32
3.3.11	Indicadores complementares de capacidade e cobertura da procura	32
3.4	Interpretação e análise crítica dos mapas do estado atual	33
3.4.1	Desempenho global dos fluxos produtivos	34
3.4.2	Acumulação de stock e tempos de espera ao longo do fluxo	34
3.4.3	Desequilíbrio entre processos e identificação de etapas críticas	36
3.4.4	Análise de capacidade e adequação dos recursos à procura	37
3.4.5	Síntese dos principais desperdícios e constrangimentos do estado atual	38
3.5	Aprofundamento dos constrangimentos operacionais por setor	39
3.5.1	Receção e Armazenagem de Rolhas	39
3.5.2	Acabamentos Mecânicos	40
3.5.3	Lavação	41
3.5.4	Escolha Eletrónica	42
3.5.5	Especialidades e Tratamento	42
3.5.6	Constrangimentos transversais ao sistema	43
3.5.7	Síntese do aprofundamento setorial	43
4	Propostas de melhoria	44
4.1	Enquadramento das propostas de melhoria	44
4.2	Construção dos estados futuros dos fluxos produtivos	45
4.3	Dimensionamento dos supermercados	47
4.3.1	Dimensionamento e validação dos supermercados da referência 22x19,2	48
4.3.2	Dimensionamento e validação dos supermercados da referência 26x18,5	49
4.3.3	Dimensionamento e validação dos supermercados da referência 26,5x19,7	50
4.4	Definição do stock mínimo antes dos Acabamentos Mecânicos	51
4.5	Reorganização e normalização do armazém de matéria-prima	53
4.6	Redefinição da rota de reaproveitamento após a Escolha Eletrónica 2	55
4.7	Análise dos Acabamentos Mecânicos	57
4.7.1	Análise da ocupação dos operadores e das deslocações	57
4.7.2	Análise dos tempos associados às paragens	58
4.8	Síntese das melhorias propostas e impacto esperado	59
5	Conclusão	61
	Referências	63
	Contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	67
	Anexo A – Simbologia do VSM	69
	Anexo B – Mapas VSM do estado atual	70
	Anexo C – Indicadores operacionais das referências analisadas	72

Anexo D – Análise A3 e identificação de causas raiz	78
Anexo E – Mapas VSM do estado futuro	80
Anexo F – Reorganização e normalização do armazém de matéria-prima	82
Anexo G – Referências de destino propostas para o reaproveitamento dos defeitos dimensionais	85
Anexo H – Diagramas de spaghetti dos Acabamentos Mecânicos	86

Acrónimos e Símbolos

AM	Acabamentos Mecânicos
ATS	Amorim Top Series
BL	Boleado
CF	Chanfrado
CT	<i>Cycle Time</i>
EE	Escolha Eletrónica
JIT	<i>Just-in-Time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LT	<i>Lead Time</i>
NVA	<i>Non-Value Added</i>
NVAT	<i>Non-Value Added Time</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
ROP	<i>Reorder Point</i>
SS	<i>Safety Stock</i>
TC	Tempo de Ciclo
TPS	<i>Toyota Production System</i>
VA	Valor Acrescentado
VAT	<i>Value Added Time</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i>

Lista de Figuras

2.1	Estrutura conceptual da <i>Toyota Production System</i> (TPS). Fonte: Liker and Convis (2012).	8
2.2	Representação dos conceitos de <i>muda</i> , <i>mura</i> e <i>muri</i> . Fonte: Kato and Smalley (2010).	9
2.3	Decomposição do <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE) nas suas principais componentes. Fonte: Vorne Industries (2023).	15
2.4	Exemplo de <i>Value Stream Mapping</i> (estado atual). Fonte: King and King (2015) .	16
3.1	Curva ABC das referências com base no volume previsto de produção.	21
3.2	Resultados da análise ABC e identificação das referências selecionadas.	21
3.3	VSM do estado atual da referência 26x18,5 BL.	23
3.4	Composição do <i>lead time</i> das referências analisadas em tempo com e sem valor acrescentado.	34
3.5	Stock acumulado nas diferentes posições do fluxo para as referências analisadas.	35
3.6	Tempo de permanência em stock nas diferentes posições do fluxo para as referências analisadas.	35
3.7	Comparação entre o tempo de ciclo real, o tempo de ciclo teórico e o <i>takt time</i> por processo.	36
3.8	Disponibilidade, performance, qualidade e OEE dos processos analisados.	37
3.9	Análise de capacidade, máquinas equivalentes necessárias e grau de cobertura da procura para AM e EE2.	38
4.1	VSM do estado futuro da referência 26x18,5 BL.	46
4.2	Distribuição do tempo observado por categoria de atividade nos Acabamentos Mecânicos.	57
4.3	Tempos médios associados à gestão das paragens nos Acabamentos Mecânicos. .	58
4.4	Solução proposta para a monitorização visual das moegas das máquinas intermédias.	59
A.1	Simbologia utilizada nos mapas VSM. Fonte: Rother and Shook (1999).	69
B.1	VSM da referência 26,5x19,7 BL.	70
B.2	VSM da referência 22x19,2 CF.	71
D.1	A3 do projeto.	78
D.2	Diagrama de Ishikawa.	79
D.3	Análise dos 5 <i>Whys</i>	79
E.1	VSM futuro da referência 26,5x19,7 BL.	80
E.2	VSM futuro da referência 22x19,2 CF.	81
F.1	Levantamento dos espaços de armazenamento disponíveis.	82
F.2	Distribuição final dos artigos no armazém de matéria-prima.	83
F.3	Evidências visuais da reorganização do armazém de matéria-prima.	84

H.1	Diagrama de spaghetti dos operadores das boleadeiras.	86
H.2	Diagrama de spaghetti dos operadores das chanfradeiras.	86

Lista de Tabelas

4.1	Parâmetros de dimensionamento dos supermercados da referência 22x19,2. . . .	49
4.2	Parâmetros finais de dimensionamento dos supermercados da referência 26x18,5. . . .	50
4.3	Parâmetros finais de dimensionamento dos supermercados da referência 26,5x19,7. . . .	51
4.4	Comparação dos níveis de stock de segurança das rolhas naturais.	52
4.5	Níveis de stock de segurança definidos para as rolhas neutras.	53
4.6	Necessidades de armazenamento dos artigos definidos para stock de segurança. . . .	54
4.7	Síntese das melhorias propostas e respetivos impactos esperados.	60
4.8	Impacto das melhorias propostas no <i>lead time</i> das referências analisadas.	60
1	Contributo do projeto para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.	68
C.1	Procura anual, procura diária e <i>takt time</i> das referências analisadas.	72
C.2	Tempo de ciclo teórico dos processos das referências analisadas.	72
C.3	Tempo de ciclo real dos processos das referências analisadas.	73
C.4	Número de operadores, número de máquinas e regime de turnos dos processos das referências analisadas.	73
C.5	Tempos de <i>setup</i> dos processos das referências analisadas.	74
C.6	Capacidade nominal e capacidade real dos processos das referências analisadas. . . .	74
C.7	Níveis de stock nas diferentes posições do fluxo das referências analisadas.	75
C.8	Tempo de permanência em stock nas diferentes posições do fluxo das referências analisadas.	75
C.9	<i>Lead time</i> , tempo com valor acrescentado e tempo sem valor acrescentado das referências analisadas.	76
C.10	Disponibilidade, performance, qualidade e OEE dos processos das referências analisadas.	76
C.11	Máquinas equivalentes necessárias e grau de cobertura da procura nos processos analisados.	77
G.1	Referências de destino propostas para o reaproveitamento dos defeitos dimensionais. . . .	85

Capítulo 1

Introdução

O presente capítulo introduz o trabalho desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, enquadrando o projeto no contexto industrial em que foi realizado e evidenciando a sua relevância para a melhoria do fluxo produtivo. Inicialmente, é apresentada a motivação do estudo, seguindo-se a caracterização da empresa e do processo produtivo analisado. Posteriormente, são definidos os objetivos do projeto, descrito o método seguido e apresentada a estrutura da dissertação, de forma a orientar a leitura dos capítulos seguintes.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

A crescente competitividade dos mercados industriais tem vindo a reforçar a necessidade de desenvolver sistemas produtivos cada vez mais eficientes, capazes de responder de forma rápida às necessidades dos clientes sem comprometer a qualidade do produto ou os custos de operação. Neste contexto, a melhoria contínua assume um papel fundamental, permitindo reduzir desperdícios, otimizar recursos e aumentar a eficiência operacional.

Contudo, a implementação destas práticas torna-se particularmente desafiante em ambientes produtivos caracterizados por uma elevada diversidade de artigos, diferentes percursos produtivos e múltiplas interdependências entre processos. Nestas situações, a existência de elevados níveis de stock intermédio e de tempos de espera pode dificultar a sincronização do fluxo produtivo e comprometer o desempenho global do sistema.

O presente projeto foi desenvolvido na Amorim Top Series, unidade industrial da Amorim Cork dedicada à produção de rolhas capsuladas. Neste contexto, surgiu a necessidade de analisar os fluxos produtivos associados à transformação das rolhas de cortiça, procurando identificar desperdícios, constrangimentos operacionais e oportunidades de melhoria que contribuíssem para a redução do *lead time* e para uma maior sincronização entre processos.

1.2 Apresentação da empresa

O presente subcapítulo tem como objetivo apresentar o contexto empresarial em que foi desenvolvido o projeto, começando por um breve enquadramento da Corticeira Amorim, seguindo-se a caracterização da unidade industrial Amorim Top Series. Por fim, é descrito o processo produtivo da unidade, com particular detalhe nos setores envolvidos no fabrico das rolhas capsuladas.

1.2.1 Corticeira Amorim

A Corticeira Amorim é uma das principais referências mundiais no setor da cortiça, destacando-se pela sua dimensão, integração vertical e presença internacional. A origem do grupo remonta a 1870, ano em que se iniciou uma atividade familiar ligada à cortiça, que viria a dar origem ao universo empresarial atualmente conhecido como Corticeira Amorim (Corticeira Amorim, 2026). Ao longo do tempo, a empresa consolidou a sua presença na indústria corticeira, expandindo a sua capacidade produtiva e diversificando as suas áreas de atuação.

Atualmente, a Corticeira Amorim apresenta-se como o maior grupo de transformação de cortiça do mundo, assumindo uma posição de destaque no desenvolvimento, produção e comercialização de soluções à base de cortiça para diferentes mercados (Corticeira Amorim, 2026). A atividade do grupo encontra-se organizada em diferentes unidades de negócio, entre as quais se inclui a Amorim Cork, associada à produção e comercialização de rolhas de cortiça para vinhos, espumantes e bebidas espirituosas. É neste contexto que se integra a Amorim Top Series, unidade dedicada ao desenvolvimento e produção de rolhas capsuladas para bebidas espirituosas.

A cortiça constitui o elemento central da atividade da Corticeira Amorim, sendo valorizada não apenas pelas suas propriedades técnicas, mas também pelo seu carácter natural, renovável e sustentável.

Para além da aplicação tradicional no setor dos vinhos e bebidas espirituosas, a cortiça tem vindo a ser utilizada em áreas como a construção, o design, a mobilidade, a energia, o setor aeroespacial e outras aplicações técnicas (Corticeira Amorim, 2026). Esta diversidade evidencia a capacidade da Corticeira Amorim de combinar tradição industrial, conhecimento técnico e inovação, promovendo a valorização de um recurso natural com forte ligação ao território português.

1.2.2 Amorim Top Series

A Amorim Top Series é uma unidade da Amorim Cork especializada no desenvolvimento, design, engenharia e produção de rolhas capsuladas. Estas rolhas distinguem-se por integrarem uma cápsula num dos seus topos, combinando a funcionalidade da cortiça com uma componente estética e de personalização associada à marca do cliente (Amorim Top Series, 2026).

A empresa atua predominantemente num modelo *business-to-business*, direcionado para marcas internacionais de bebidas espirituosas. Neste mercado, a embalagem e a experiência visual do

produto assumem um papel relevante na diferenciação da marca, fazendo com que a rolha capsulada desempenhe não apenas uma função técnica de vedação, mas também uma função estética e comercial.

A elevada diversidade de formatos, materiais, cores, acabamentos e possibilidades de gravação exige uma forte orientação para o cliente e uma elevada capacidade de adaptação às especificações de cada encomenda. Esta variabilidade torna o processo produtivo particularmente desafiante, reforçando a necessidade de flexibilidade, coordenação entre setores e eficiência na gestão dos fluxos produtivos.

1.2.3 Processo produtivo geral da Amorim Top Series

O processo produtivo da Amorim Top Series assenta na produção e preparação de dois componentes principais: a rolha de cortiça e a cápsula. Estes componentes podem seguir percursos produtivos distintos numa fase inicial, convergindo posteriormente na etapa de capsulagem, onde ocorre a união entre a rolha e a cápsula para obtenção do produto final.

No caso da rolha de cortiça, o processo inicia-se com a receção das rolhas em corpo cilíndrico. Após a receção e os controlos necessários, as rolhas ficam disponíveis para as operações produtivas seguintes, de acordo com as necessidades do planeamento e as especificações das ordens de fabrico.

A primeira etapa de transformação corresponde, em geral, aos Acabamentos Mecânicos. Neste setor, as rolhas são trabalhadas mecanicamente de forma a obter as dimensões e o acabamento pretendidos. As operações realizadas permitem ajustar características como o diâmetro, o comprimento e a geometria final da rolha, podendo originar acabamentos como o boleado ou o chanfrado. Estes acabamentos são importantes não só para cumprir as especificações técnicas da referência, mas também para garantir a funcionalidade da rolha no momento de abertura e fecho da garrafa.

Após os Acabamentos Mecânicos, as rolhas seguem normalmente para a Lavagem. Esta etapa tem como objetivo lavar, desinfetar e conferir um aspeto mais homogéneo à cortiça, recorrendo a programas de lavagem adequados ao tipo de produto e às exigências do cliente. Depois da lavagem, é realizada a secagem, de modo a garantir um teor de humidade apropriado à utilização posterior da rolha. Em muitos casos, as rolhas permanecem ainda em estabilização, permitindo regularizar as suas características antes de avançarem para a fase seguinte.

Segue-se a etapa de Escolha, que pode ser realizada de forma manual ou eletrónica. A Escolha Manual é normalmente aplicada a produtos de maior exigência, a referências com características não *standard* ou a artigos que, pela sua forma ou dimensão, não são adequados ao processamento automático. A Escolha Eletrónica permite classificar e separar as rolhas de acordo com critérios de qualidade, classe ou presença de defeitos. No caso das rolhas naturais, esta etapa pode estar associada à classificação por classes visuais; no caso das rolhas neutras ou técnicas, o foco recai sobretudo na deteção e segregação de defeitos dimensionais. Esta fase é particularmente importante para assegurar que apenas as rolhas conformes seguem no fluxo produtivo.

Posteriormente, as rolhas são encaminhadas para o Tratamento. Nesta etapa são aplicados produtos de superfície, nomeadamente impermeabilizantes e lubrificantes, que permitem garantir

a funcionalidade da rolha durante o engarrafamento e ao longo da utilização pelo consumidor final. O tratamento contribui para o desempenho da rolha, facilitando a sua inserção, extração e reutilização, aspetos especialmente relevantes no mercado das bebidas espirituosas, onde a garrafa pode ser aberta e fechada várias vezes.

Em paralelo ao fluxo da rolha de cortiça, decorre o fluxo das cápsulas. As cápsulas podem ser produzidas em diferentes materiais, como madeira, plástico, cerâmica, metal, vidro ou outros materiais, dependendo da solução pretendida pelo cliente. Uma parte das cápsulas é fornecida externamente, enquanto algumas cápsulas plásticas são produzidas internamente através de processos de injeção. A existência deste setor reforça a especificidade da Amorim Top Series dentro do universo Amorim Cork, uma vez que a unidade combina operações tradicionais ligadas à cortiça com processos produtivos associados a outros materiais.

Depois de preparados os dois componentes, rolha e cápsula convergem na Capsulagem. Nesta etapa ocorre a união da cápsula à rolha, normalmente através da aplicação de um aglutinante. A capsulagem pode ser realizada de forma automática ou manual, dependendo das características do artigo, da dimensão da encomenda e do nível de personalização exigido. A capsulagem automática é mais adequada a séries de maior volume e maior repetibilidade, enquanto a capsulagem manual tende a estar associada a artigos mais personalizados, lotes de menor dimensão ou produtos de maior valor acrescentado.

Por fim, o produto acabado segue para as etapas finais de controlo, embalagem e expedição, sendo posteriormente enviado para os mercados de destino.

1.3 Objetivos do projeto

O presente projeto teve como principal objetivo analisar os fluxos produtivos associados à transformação de rolhas de cortiça na Amorim Top Series, de forma a compreender os fatores que condicionavam o seu desempenho e desenvolver propostas que contribuíssem para a sua melhoria.

Neste contexto, foram definidos como objetivos específicos a caracterização do estado atual dos fluxos produtivos, a identificação dos principais desperdícios e constrangimentos operacionais e a análise dos fatores responsáveis pelos elevados *lead times* observados. Paralelamente, procurou-se avaliar o impacto dos níveis de stock intermédio no desempenho global do sistema, bem como analisar a gestão dos materiais ao longo da cadeia de valor, incluindo os stocks de matéria-prima, a organização do armazém e os fluxos de reaproveitamento de produto.

Com base no diagnóstico realizado, o projeto teve ainda como objetivo desenvolver propostas de melhoria que permitissem aumentar a sincronização entre processos, melhorar a gestão dos materiais e promover uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis. Em particular, foi estabelecida como meta a redução do *lead time* dos fluxos produtivos analisados em 20%.

Deste modo, pretendeu-se não só identificar oportunidades de melhoria ao nível operacional, mas também fornecer à empresa uma base de suporte à tomada de decisão relativamente a futuras iniciativas de melhoria contínua, capazes de reforçar a eficiência e a competitividade da unidade industrial.

1.4 Método seguido no projeto

O presente projeto foi desenvolvido segundo uma abordagem estruturada de resolução de problemas, suportada pela metodologia A3 e pelos princípios do *Lean Thinking*. Esta abordagem permitiu orientar o trabalho desde a definição do problema até à formulação e avaliação das propostas de melhoria.

Numa fase inicial, foi realizada uma revisão da literatura com foco no *Lean Thinking* e no *Value Stream Mapping*, complementada pela caracterização do contexto industrial e pela recolha de informação no terreno. Esta recolha incluiu observação direta, acompanhamento das operações produtivas, entrevistas informais aos colaboradores e análise de dados operacionais.

Face à elevada diversidade de referências de rolhas processadas, foi aplicada uma análise ABC com base nas previsões de produção para 2026, permitindo selecionar as referências mais representativas do sistema produtivo. Sobre estas referências foi aplicada a metodologia *Value Stream Mapping*, através da construção dos mapas do estado atual e da análise de indicadores como tempos de ciclo, tempos de *setup*, disponibilidade dos equipamentos, níveis de inventário, capacidade produtiva e *lead times*.

A análise dos fluxos permitiu caracterizar o desempenho do sistema, identificar os principais desperdícios e constrangimentos operacionais e compreender as causas que condicionavam o desempenho dos fluxos produtivos. Esta etapa serviu de suporte à definição das propostas de melhoria.

Por fim, as soluções propostas foram avaliadas através da construção dos mapas do estado futuro e da análise do impacto esperado nos principais indicadores de desempenho. A comparação entre o estado atual e o estado futuro permitiu quantificar os benefícios potenciais das melhorias desenvolvidas e avaliar o seu contributo para os objetivos definidos.

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos.

No primeiro capítulo foi apresentado o enquadramento do projeto, a empresa onde este foi desenvolvido, os objetivos definidos, o método seguido e a estrutura do documento.

O segundo capítulo corresponde à revisão de literatura, onde são abordados os conceitos de *Lean Thinking*, ferramentas *Lean*, indicadores de desempenho produtivo e *Value Stream Mapping*.

O terceiro capítulo apresenta o diagnóstico do estado atual do fluxo produtivo, incluindo a seleção das referências analisadas, a construção dos mapas VSM, o cálculo dos indicadores e a análise crítica dos principais desperdícios e constrangimentos identificados.

O quarto capítulo é dedicado às propostas de melhoria, incluindo os mapas do estado futuro, o dimensionamento de supermercados, a definição de níveis de stock, a reorganização do armazém, o reaproveitamento de defeitos dimensionais e a análise dos Acabamentos Mecânicos.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho, as limitações encontradas e possíveis desenvolvimentos futuros.

Capítulo 2

Revisão de literatura

O presente capítulo apresenta o enquadramento teórico que suporta o desenvolvimento da dissertação, reunindo os principais conceitos, metodologias e ferramentas relevantes para a análise e melhoria de fluxos produtivos. Inicialmente, são abordados os fundamentos do *Lean Thinking*, incluindo a sua origem, princípios, práticas operacionais e principais formas de desperdício. De seguida, são apresentadas ferramentas de diagnóstico e indicadores de desempenho utilizados na análise de sistemas produtivos. Por fim, é explorada a metodologia *Value Stream Mapping*, com destaque para o seu papel na representação dos fluxos de materiais e informação, na identificação de desperdícios e no desenvolvimento de propostas de melhoria.

2.1 *Lean Thinking* e fundamentos do sistema *Lean*

O *Lean Thinking* constitui uma das abordagens mais relevantes no âmbito da gestão de operações, sendo amplamente utilizado para melhorar o desempenho de sistemas produtivos através da eliminação de desperdícios, da melhoria do fluxo e da criação de valor para o cliente.

Neste sentido, a presente secção apresenta os principais fundamentos do *Lean Thinking*, incluindo a sua origem, evolução, princípios, desperdícios, práticas operacionais e lógica de melhoria contínua.

2.1.1 Origem e evolução do *Lean Thinking*

A origem do *Lean Thinking* está associada ao desenvolvimento do *Toyota Production System* (TPS), no contexto da indústria automóvel japonesa. Este sistema surgiu como resposta à necessidade de produzir de forma mais eficiente, reduzindo desperdícios, inventários e tempos de espera, ao mesmo tempo que procurava aumentar a qualidade e a flexibilidade produtiva.

Taiichi Ohno é frequentemente referido como uma das figuras centrais no desenvolvimento do TPS, tendo contribuído para a estruturação dos princípios associados à eliminação de desperdício e à melhoria do fluxo produtivo (Ohno, 1988). De forma complementar, Sugimori et al. (1977) descrevem o TPS como um sistema baseado em dois princípios fundamentais: a produção no momento necessário, associada ao *just-in-time*, e o respeito pelas pessoas. Estes princípios

refletem uma abordagem que procura simultaneamente aumentar a eficiência produtiva e valorizar o contributo dos trabalhadores.

Ao contrário dos sistemas de produção em massa, o TPS assenta na criação de fluxo contínuo e na produção orientada pela procura real, procurando minimizar interrupções, reduzir inventários e melhorar a qualidade dos processos. Esta lógica marcou uma mudança significativa na forma de organizar e gerir sistemas produtivos.

O conceito de *lean production* emergiu posteriormente a partir da análise deste sistema. Holweg (2007) demonstra que a formulação do paradigma *lean* resultou de um processo de investigação associado ao *International Motor Vehicle Program* (IMVP), contribuindo para a sua disseminação na literatura e na prática industrial. Esta evolução é também destacada por Hines et al. (2004), que evidenciam que a difusão do *lean* para diferentes setores foi acompanhada por um processo de adaptação a novos contextos organizacionais.

A consolidação e disseminação do *Lean Thinking* enquanto abordagem de gestão foram amplamente impulsionadas pelo trabalho de Womack and Jones (1996), que sistematizaram os seus princípios fundamentais e contribuíram para a sua aplicação em diversos contextos industriais.

Este processo de expansão contribuiu para a evolução do conceito, mas também para a existência de múltiplas interpretações. Pettersen (2009) evidencia que o *Lean Thinking* pode ser definido a partir de diferentes perspetivas, variando entre abordagens centradas em ferramentas, princípios ou filosofia de gestão. Esta diversidade reforça a necessidade de compreender o *Lean* não apenas pela sua origem histórica, mas também pela forma como é interpretado e adaptado a diferentes contextos produtivos.

2.1.2 *Lean Thinking* como sistema de gestão

Para além da sua origem no *Toyota Production System*, o *Lean Thinking* deve ser entendido como um sistema integrado de gestão das operações. Esta perspetiva ultrapassa uma visão limitada à aplicação isolada de ferramentas, considerando antes a articulação entre princípios, práticas operacionais, cultura organizacional e envolvimento das pessoas.

Shah and Ward (2007) definem a produção *lean* como um sistema sociotécnico integrado cujo principal objetivo é eliminar desperdícios através da redução da variabilidade associada a fornecedores, clientes e processos internos. Esta definição destaca a interdependência entre dimensões técnicas e organizacionais, sugerindo que o desempenho do sistema produtivo depende da forma como estas dimensões se encontram alinhadas.

A redução da variabilidade assume, neste contexto, um papel central, uma vez que a instabilidade dos processos constitui uma das principais fontes de ineficiência. A sua mitigação permite melhorar a previsibilidade, facilitar o fluxo produtivo e reduzir problemas operacionais, contribuindo para um sistema produtivo mais estável e eficiente.

Neste enquadramento, o *Lean Thinking* não deve ser entendido apenas como um conjunto de métodos ou técnicas, mas como uma abordagem de gestão orientada para a criação de valor, a eliminação sistemática de desperdícios e a melhoria contínua. Esta perspetiva é consistente com

a evolução identificada na literatura, que evidencia a passagem de uma abordagem predominantemente operacional para uma abordagem mais abrangente e estratégica (Hines et al., 2004).

A natureza integrada do sistema *lean* pode ser ilustrada através da representação clássica da *Toyota Production System* (TPS), frequentemente descrita sob a forma de uma “casa”, conforme apresentado na Figura 2.1.

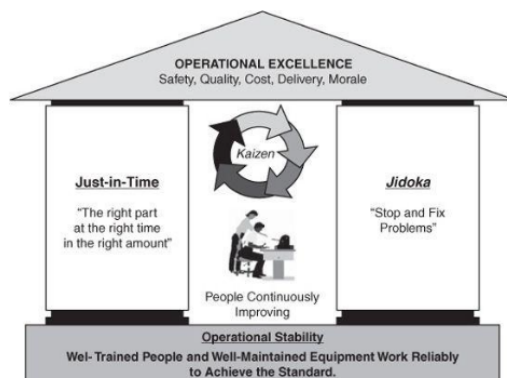


Figura 2.1: Estrutura conceitual da *Toyota Production System* (TPS). Fonte: Liker and Convis (2012).

Deste modo, o *Lean Thinking* configura-se como um sistema dinâmico e adaptativo, cuja aplicação exige ajustamento às características específicas do contexto produtivo. Esta necessidade de adaptação torna-se particularmente relevante em sistemas industriais complexos, nos quais a aplicação direta de modelos padronizados pode revelar limitações.

2.1.3 Princípios do *Lean Thinking*

Os princípios *lean* constituem um dos principais mecanismos de sistematização do conceito, permitindo traduzir a sua lógica subjacente em orientações para a análise e melhoria dos processos.

Womack and Jones (1996) sistematizaram os princípios *lean* em cinco elementos fundamentais: a definição de valor, a identificação da cadeia de valor, a criação de fluxo, a implementação de sistemas *pull* e a procura da perfeição. O ponto de partida é a definição de valor a partir da perspetiva do cliente, estabelecendo o que este está efetivamente disposto a pagar. A cadeia de valor corresponde ao conjunto de todas as atividades necessárias para entregar esse valor, incluindo as que acrescentam valor e as que não o fazem. O terceiro princípio orienta para a criação de fluxo contínuo entre as etapas que acrescentam valor, eliminando paragens e acumulações intermédias. O sistema *pull* implica que a produção seja desencadeada pela procura real, evitando a produção antecipada e o consequente acúmulo de inventário. Por fim, a procura da perfeição expressa a natureza iterativa do processo de melhoria, na medida em que a eliminação de desperdício e a criação de valor nunca atingem um estado definitivo. Hines et al. (2004) enquadram estes princípios no processo de evolução e disseminação do conceito *lean*, mostrando como foram progressivamente reinterpretados e aplicados em diferentes contextos organizacionais.

Contudo, a literatura evidencia que a aplicação destes princípios não é direta, estando fortemente dependente da forma como são traduzidos em práticas operacionais concretas. Shah and Ward (2003) demonstram que o *lean* pode ser analisado através de diferentes conjuntos de práticas interdependentes, enquanto Furlan et al. (2011) evidenciam que as práticas *lean* apresentam efeitos complementares, sendo a sua implementação conjunta mais eficaz do que a aplicação isolada.

Deste modo, os princípios *lean* não devem ser interpretados de forma isolada, mas como parte de um sistema integrado, cuja eficácia depende da coerência entre as diferentes dimensões da implementação.

2.1.4 Desperdícios no Lean Thinking: muda, mura e muri

A eliminação de desperdícios constitui um dos elementos centrais do *Lean Thinking*, estando diretamente associada à melhoria do desempenho dos sistemas produtivos.

Shah and Ward (2007) relacionam a produção *lean* com a eliminação de desperdícios através da redução da variabilidade, sugerindo que a instabilidade dos processos é uma das principais causas de ineficiência. Esta perspectiva permite compreender que os desperdícios não resultam apenas de atividades sem valor acrescentado, mas também de desequilíbrios estruturais no sistema produtivo.

Neste contexto, os conceitos de *muda*, *mura* e *muri* permitem estruturar a análise das fontes de desperdício. O *muda* refere-se a atividades que não acrescentam valor, sendo a forma mais evidente de desperdício. O *mura* corresponde à variabilidade do processo, manifestando-se através de flutuações no ritmo de produção ou inconsistências na execução das operações. Por sua vez, o *muri* refere-se à sobrecarga de recursos, resultante de exigências excessivas impostas a pessoas ou equipamentos. A relação entre estas diferentes formas de desperdício pode ser melhor compreendida através da Figura 2.2.

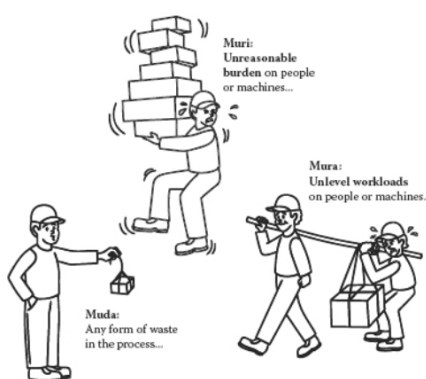


Figura 2.2: Representação dos conceitos de *muda*, *mura* e *muri*. Fonte: Kato and Smalley (2010).

A interação entre estes três conceitos evidencia que os desperdícios são frequentemente consequência de problemas sistêmicos, e não apenas de falhas operacionais isoladas. Assim, a sua eliminação requer uma abordagem que combine a identificação de atividades sem valor acrescentado com a estabilização do sistema produtivo.

Para além desta abordagem conceptual, a literatura identifica categorias específicas de desperdício, como a sobreprodução, os tempos de espera, o transporte desnecessário, o processamento excessivo, o inventário, os movimentos desnecessários e os defeitos. Estas categorias permitem operacionalizar a análise dos desperdícios e orientar intervenções de melhoria ao longo do sistema produtivo.

No contexto da presente dissertação, estes conceitos são particularmente relevantes para interpretar os desperdícios associados à acumulação de stock intermédio, aos tempos de espera entre processos, às movimentações internas e aos desequilíbrios entre etapas produtivas.

2.1.5 Melhoria contínua e *kaizen*

A melhoria contínua constitui um elemento central do *Lean Thinking*, sendo frequentemente associada ao conceito de *kaizen*.

Brunet and New (2003) evidenciam que o *kaizen* deve ser entendido como uma prática organizacional estruturada, baseada na implementação contínua de pequenas melhorias. Esta abordagem distingue-se de intervenções pontuais, na medida em que procura integrar a melhoria no funcionamento regular da organização.

Knol et al. (2022) demonstram que a implementação *lean* resulta da interação entre rotinas operacionais e rotinas de melhoria, evidenciando que estas dimensões são interdependentes. Esta perspetiva sugere que a melhoria contínua não pode ser dissociada do funcionamento diário do sistema produtivo.

Adicionalmente, o envolvimento das pessoas assume um papel determinante na implementação do *lean*. Marín-García and Bonavía (2015) mostram que o envolvimento dos colaboradores, operacionalizado através de fatores como autonomia, formação e comunicação, está associado à implementação de práticas *lean*, as quais, por sua vez, influenciam o desempenho organizacional.

Assim, a melhoria contínua deve ser entendida como um processo organizacional que depende tanto de práticas estruturadas como do envolvimento ativo das pessoas.

2.1.6 Práticas operacionais do sistema *Lean*

A implementação do *Lean Thinking* é suportada por um conjunto de práticas operacionais que contribuem para a estabilidade, previsibilidade e melhoria contínua dos sistemas produtivos. Entre estas práticas destacam-se o *standard work*, a gestão visual e o 5S, frequentemente utilizados como suporte à redução da variabilidade e à identificação de desperdícios.

O *standard work* consiste na definição da melhor forma conhecida de executar uma determinada atividade, estabelecendo uma sequência de trabalho, tempos de referência e condições operacionais normalizadas. Esta prática permite reduzir a variabilidade na execução das tarefas, facilitar a formação dos operadores e criar uma base para a melhoria contínua. Lu and Yang (2014) mostram a sua aplicação na resolução de um problema operacional num ambiente altamente automatizado, evidenciando melhorias no desempenho do processo.

A gestão visual corresponde à utilização de sinais, quadros, marcações, indicadores ou outros elementos visuais que tornam a informação relevante facilmente acessível no local de trabalho. Esta prática facilita a comunicação, aumenta a transparência do processo produtivo e permite identificar rapidamente desvios face ao funcionamento esperado. Neste sentido, a gestão visual apoia a monitorização das operações e contribui para uma resposta mais rápida a problemas operacionais (Tezel et al., 2016).

O 5S constitui uma metodologia orientada para a organização e normalização do posto de trabalho, sendo normalmente estruturada em cinco etapas: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*. Estas etapas estão associadas, respetivamente, à triagem dos elementos necessários, à organização dos materiais, à limpeza do espaço de trabalho, à normalização das práticas e à disciplina na sua manutenção. A aplicação do 5S permite melhorar a organização física dos postos de trabalho, reduzir tempos de procura, facilitar a identificação de anomalias e criar condições favoráveis à melhoria contínua (Jaca et al., 2014).

Apesar da relevância destas práticas, a literatura evidencia que a sua aplicação isolada tende a ter impacto limitado. A sua eficácia depende da integração num sistema *Lean* mais abrangente, no qual práticas, princípios e cultura organizacional se encontram alinhados.

No contexto da presente dissertação, estas práticas assumem particular importância por estarem associadas à estabilização dos processos, à organização dos espaços de trabalho e à melhoria da visibilidade sobre o estado do fluxo produtivo.

2.2 Ferramentas *Lean* e indicadores de desempenho

O diagnóstico de sistemas produtivos no contexto *Lean* requer a utilização de ferramentas que permitam estruturar a análise, apoiar a tomada de decisão e sustentar a implementação de melhorias. Estas ferramentas abrangem diferentes dimensões, desde a priorização dos elementos mais relevantes para análise até à medição do desempenho e à identificação das causas dos problemas.

Neste âmbito, a literatura destaca a complementaridade entre técnicas de análise e classificação, indicadores de desempenho e métodos estruturados de resolução de problemas. Enquanto ferramentas como a análise ABC/Pareto permitem focalizar a atenção nos elementos com maior impacto, os indicadores de desempenho possibilitam quantificar o comportamento do sistema produtivo. Por sua vez, abordagens estruturadas de resolução de problemas contribuem para a identificação de causas raiz e para a definição de ações de melhoria sustentadas.

Assim, esta secção apresenta um conjunto integrado de ferramentas *Lean* e indicadores de desempenho que suportam o diagnóstico de sistemas produtivos, nomeadamente a seleção das referências a analisar, a identificação das causas dos problemas e a avaliação do desempenho dos fluxos através do *Value Stream Mapping*.

2.2.1 Análise ABC/Pareto

A análise ABC constitui uma técnica de classificação amplamente utilizada na gestão das operações, sendo tradicionalmente aplicada à priorização de itens com base na sua importância

relativa. A sua lógica assenta no princípio de Pareto, segundo o qual uma pequena proporção de elementos tende a concentrar uma parte significativa do efeito total analisado. Na sua forma tradicional, a classificação ABC baseia-se no valor anual de consumo, calculado a partir da procura anual e do custo unitário médio, permitindo distinguir um conjunto reduzido de itens com elevado peso relativo de um conjunto numeroso de itens com impacto mais reduzido.

Esta lógica de classificação é particularmente útil quando se pretende concentrar o esforço analítico nos elementos que mais contribuem para o fenómeno em estudo. No contexto industrial, tal pode significar a seleção das referências com maior peso produtivo, maior valor movimentado ou maior criticidade operacional. Assim, a análise ABC/Pareto não se limita a uma técnica de gestão de inventário, podendo também funcionar como instrumento de focalização do diagnóstico.

A literatura evidencia, contudo, limitações da abordagem tradicional quando os itens diferem não apenas pelo valor anual de consumo, mas também por outras variáveis relevantes. Neste contexto, têm sido propostas extensões multicritério da análise ABC, com o objetivo de incorporar diferentes dimensões de avaliação na classificação dos itens. Ramanathan (2006) propõe um modelo de otimização linear ponderada para integrar múltiplos critérios na classificação dos itens, enquanto Ng (2007) apresenta um método simples que converte diferentes critérios num indicador único de ordenação. Estes contributos evidenciam uma evolução da análise ABC no sentido da incorporação de múltiplas dimensões de avaliação, permitindo uma classificação mais representativa da complexidade dos contextos organizacionais.

Deste modo, no âmbito do diagnóstico produtivo, a análise ABC/Pareto assume interesse sobretudo como ferramenta de priorização. A sua principal contribuição reside na capacidade de apoiar a seleção de produtos, referências, famílias ou recursos que justificam maior atenção analítica, permitindo concentrar o esforço de observação e melhoria nos elementos com maior impacto relativo.

2.2.2 A3

O A3 é apresentado na literatura como uma abordagem estruturada de resolução de problemas e melhoria contínua. Lenort et al. (2017) referem que o método A3 constitui uma abordagem sistemática utilizada para identificar problemas, analisar causas e implementar melhorias. Sobek and Smalley (2008) aprofundam esta perspetiva, mostrando que o A3 não é apenas um formulário de síntese, mas um processo de raciocínio estruturado que desenvolve capacidades analíticas nas equipas e favorece a aprendizagem organizacional. Esta dimensão formativa distingue o A3 de outros instrumentos de resolução de problemas, na medida em que o processo de construção do documento é tão relevante quanto o seu conteúdo final.

Para além da sua função analítica, o A3 desempenha também um papel importante na organização do raciocínio e na comunicação do processo de resolução. Chakravorty (2009) mostra que os relatórios A3 são utilizados para identificar e resolver problemas de forma estruturada, permitindo sintetizar a informação relevante e apoiar a implementação de melhorias de processo.

Deste modo, o A3 pode ser entendido como uma abordagem que estrutura o processo de resolução de problemas desde a caracterização da situação até à definição e acompanhamento

de contramedidas, contribuindo para uma análise mais consistente e para a implementação de soluções sustentáveis.

2.2.3 Diagrama de Ishikawa e técnica dos 5 Whys

A identificação de causas constitui uma etapa fundamental na resolução de problemas. Neste contexto, a literatura destaca ferramentas que permitem estruturar a análise causal e apoiar a identificação de causas raiz, entre as quais o diagrama de Ishikawa e a técnica dos 5 Whys.

O diagrama de Ishikawa é utilizado para organizar e representar visualmente as possíveis causas de um problema. Cox and Sandberg (2018) referem que esta ferramenta permite às equipas analisar por que razão um problema ocorreu e apoiar a identificação de causas subjacentes.

A técnica dos 5 Whys baseia-se num processo iterativo de questionamento que visa aprofundar a análise até à causa raiz. Benjamin et al. (2015) ilustram a aplicação da técnica dos 5 Whys em contexto industrial, evidenciando a sua utilidade na análise de causas associadas a perdas de desempenho.

Apesar da sua simplicidade, estas ferramentas são eficazes quando utilizadas de forma complementar: o diagrama de Ishikawa permite estruturar as causas potenciais, enquanto os 5 Whys permitem aprofundar a análise de cada uma delas. Assim, contribuem para uma compreensão mais consistente dos problemas e para a definição de soluções mais adequadas.

2.2.4 Indicadores de desempenho produtivo

A literatura sobre desempenho produtivo atribui especial importância a indicadores que permitam quantificar o comportamento temporal e operacional do sistema. Entre os mais utilizados destacam-se o *cycle time*, o *lead time*, o *takt time*, a disponibilidade e o *overall equipment effectiveness*. A utilidade destes indicadores reside no facto de traduzirem dimensões distintas do desempenho: o ritmo real de produção, a duração total do percurso produtivo, a cadência exigida pela procura, o tempo efetivo de operação do recurso e a eficiência global do equipamento.

No caso do *cycle time*, Turpin (2018) chama a atenção para a existência de várias definições na literatura e propõe focá-lo como o intervalo médio entre unidades sucessivas de *output*. Esta clarificação é importante porque o termo é frequentemente utilizado de forma ambígua, sendo por vezes confundido com tempo de processamento ou com outras medidas temporais do processo. Em contexto de diagnóstico, a utilização rigorosa do conceito permite caracterizar o ritmo de produção observado e apoiar a análise da capacidade do sistema face às exigências de produção.

O *lead time* corresponde a uma medida mais abrangente do tempo associado ao percurso da ordem ou do material ao longo do sistema. Yücesan and de Groote (2000) definem-no como o intervalo entre a autorização da produção e a conclusão do processamento, referindo que inclui tempo de fila, tempo de processamento, tempo de *batching* e tempo de transporte ou manuseamento. Esta decomposição mostra que o *lead time* não reflete apenas a transformação física do produto, incorporando também tempos de espera e de coordenação. Por essa razão, trata-se de

um indicador particularmente útil quando se pretende analisar a fluidez global do processo e não apenas a duração das operações individuais.

O *takt time* desempenha uma função distinta, na medida em que não descreve diretamente o desempenho observado do sistema, mas antes o ritmo-alvo que a produção deve seguir para responder à procura. Deif and ElMaraghy (2014) refere que os processos de fabrico devem operar ao *takt time* para atingir nivelamento produtivo, tratando-o como a frequência-alvo de produção baseada na taxa de procura. Neste sentido, enquanto o *cycle time* expressa o ritmo real de produção e o *lead time* expressa a duração total do percurso produtivo, o *takt time* traduz a cadência necessária para satisfazer a procura. A comparação entre estes indicadores permite perceber se o sistema está alinhado com as exigências do mercado.

A disponibilidade corresponde ao grau em que o equipamento está efetivamente apto para produzir durante o tempo planeado de produção. A sua relevância decorre do facto de a capacidade instalada não coincidir necessariamente com a capacidade efetiva, uma vez que falhas, paragens, *setups* ou outras interrupções reduzem o tempo útil de operação. Muchiri and Pintelon (2008) enquadram esta dimensão no contexto da medição de perdas produtivas, tratando a disponibilidade como uma das três componentes essenciais da avaliação do desempenho do equipamento. Neste sentido, a disponibilidade constitui um indicador intermédio particularmente importante, porque permite perceber até que ponto o recurso esteve realmente acessível para gerar *output*.

A utilização conjunta destes indicadores permite, assim, caracterizar diferentes dimensões do desempenho produtivo, combinando a análise do ritmo de produção, da duração total do fluxo, da adequação à procura e da disponibilidade efetiva dos recursos.

2.2.5 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Devido à sua capacidade de sintetizar diferentes perdas produtivas, o *overall equipment effectiveness* (OEE) é frequentemente utilizado como indicador de diagnóstico do desempenho dos equipamentos. Muchiri and Pintelon (2008) descrevem o OEE como uma ferramenta de medição do desempenho que permite medir diferentes tipos de perdas de produção e indicar áreas de melhoria do processo.

Em termos conceptuais, o OEE é geralmente estruturado em torno de três componentes: disponibilidade, desempenho e qualidade. A disponibilidade capta o tempo em que o recurso está efetivamente pronto para produzir, o desempenho expressa o afastamento entre a velocidade real e a velocidade ideal de operação e a qualidade traduz a proporção de *output* bom no total produzido. A utilidade do indicador decorre precisamente desta decomposição, uma vez que permite perceber se a perda dominante do sistema se encontra sobretudo nas paragens, na cadência de produção ou na geração de defeitos. A decomposição do indicador nas suas principais componentes pode ser visualizada na Figura 2.3, evidenciando a relação entre disponibilidade, desempenho e qualidade.

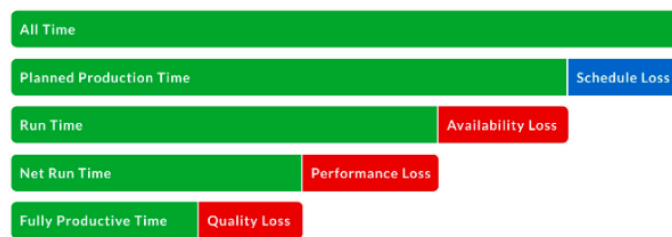


Figura 2.3: Decomposição do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) nas suas principais componentes. Fonte: Vorne Industries (2023).

A literatura posterior confirma a relevância do OEE e mostra a expansão do seu uso. Ng Corrales et al. (2020), numa revisão sistemática da literatura, referem que o OEE é um indicador-chave utilizado para medir a produtividade do equipamento e analisam a evolução do conceito e das suas diferentes abordagens. Este contributo evidencia que o indicador se tornou amplamente utilizado, mas também que a sua aplicação foi sendo adaptada a diferentes realidades produtivas.

Ainda assim, a literatura também evidencia limitações relevantes. Schiraldi and Varisco (2020) mostram que a consistência entre a normalização ISO 22400 e a literatura sobre OEE não é inteiramente clara, identificando imprecisões em definições e relações entre termos. Esta análise sugere que o OEE não deve ser aplicado de forma acrítica em contexto industrial, exigindo uma definição clara dos estados do equipamento, das perdas consideradas e dos critérios de medição.

Deste modo, o OEE constitui um indicador particularmente útil no diagnóstico produtivo, desde que a sua utilização seja metodologicamente rigorosa. A sua principal vantagem reside na capacidade de integrar diferentes tipos de perdas num quadro único de análise; a sua principal limitação decorre da possibilidade de interpretações divergentes quando não existe clareza conceptual e consistência na recolha dos dados. Assim, o OEE tende a ser mais útil quando funciona simultaneamente como medida de síntese e como ponto de partida para uma análise detalhada das perdas que afetam o desempenho do sistema produtivo.

2.3 Value Stream Mapping

No âmbito do *Lean Thinking*, o *Value Stream Mapping* (VSM) assume um papel central na análise e melhoria de sistemas produtivos, ao permitir representar de forma integrada os fluxos de materiais e de informação ao longo da cadeia de valor.

Ao contrário de abordagens focadas em processos isolados, o VSM permite analisar o desempenho global do sistema, identificando desperdícios e constrangimentos que afetam o fluxo produtivo. Neste sentido, constitui uma ferramenta de síntese que integra os conceitos e instrumentos apresentados nas secções anteriores, nomeadamente os princípios *Lean*, a análise de fluxo produtivo e as ferramentas de diagnóstico e medição de desempenho.

Assim, esta secção apresenta os fundamentos do *Value Stream Mapping*, incluindo os seus elementos estruturais, metodologia de construção, limitações e o seu papel no processo de melhoria contínua.

2.3.1 Conceito e enquadramento do Value Stream Mapping

O *Value Stream Mapping* (VSM) constitui uma ferramenta de diagnóstico e representação visual orientada para a compreensão do percurso completo de um produto ao longo da cadeia de valor. A sua utilização permite estruturar a análise do sistema produtivo, evidenciando a sequência de atividades, os tempos associados, os níveis de inventário intermédio e as ligações entre processos.

Rother and Shook (1999) definem o VSM como uma ferramenta que permite visualizar todas as ações necessárias para transformar um produto desde a matéria-prima até ao cliente final, distinguindo explicitamente entre atividades com valor acrescentado e atividades sem valor acrescentado. Esta abordagem representa uma mudança face aos métodos tradicionais de análise industrial, frequentemente centrados no desempenho individual de processos ou equipamentos. A representação integrada dos fluxos de materiais e de informação pode ser observada na Figura 2.4, que ilustra um exemplo típico de *Value Stream Mapping* no estado atual.

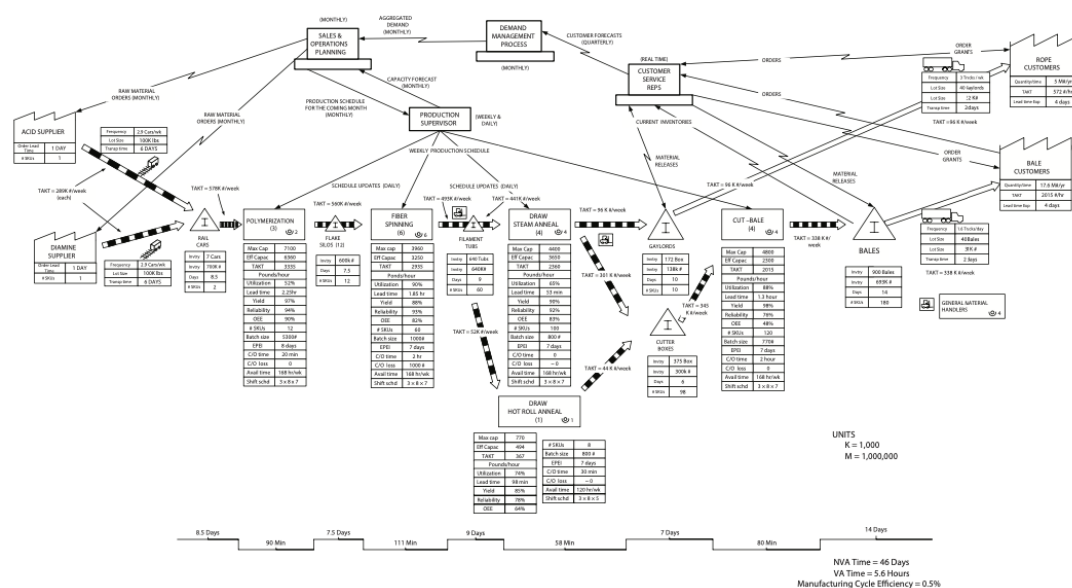


Figura 2.4: Exemplo de *Value Stream Mapping* (estado atual). Fonte: King and King (2015)

Ao privilegiar a análise do fluxo global, o VSM permite compreender as interdependências entre etapas produtivas e identificar ineficiências que não são visíveis numa perspetiva local. Abdulmalek and Rajgopal (2007) reforçam esta visão ao caracterizar o *value stream* como o conjunto de todas as atividades necessárias à transformação do produto, incluindo operações produtivas, tempos de espera, inventários intermédios e fluxos de informação.

Adicionalmente, a literatura destaca a combinação entre simplicidade visual e capacidade analítica como um dos principais contributos da ferramenta. Serrano et al. (2008) referem que o VSM constitui um instrumento eficaz para o redesenho de sistemas produtivos, ao permitir uma compreensão integrada das relações entre processos, tempos e fluxos.

2.3.2 Estrutura e elementos fundamentais do Value Stream Mapping

O VSM baseia-se numa representação gráfica padronizada que integra três componentes fundamentais: o fluxo de materiais, o fluxo de informação e a linha temporal. Esta estrutura permite analisar simultaneamente a transformação física do produto e os mecanismos de planeamento e controlo da produção (Abdulmalek and Rajgopal, 2007).

O fluxo de materiais descreve o percurso do produto ao longo das diferentes etapas produtivas, incluindo operações, armazenamentos intermédios e transferências internas. O fluxo de informação representa a forma como ordens de produção, previsões e instruções operacionais são geradas e transmitidas ao longo do sistema.

A linha temporal constitui um elemento central do VSM, permitindo quantificar o tempo total associado ao fluxo produtivo e distinguir entre tempo de processamento efetivo e tempo não produtivo, como esperas ou armazenamento.

Segundo Rother and Shook (1999), cada processo é representado por uma caixa de processo associada a uma caixa de dados, na qual são registados indicadores operacionais relevantes, como o tempo de ciclo, o tempo disponível, o número de operadores, os tempos de *setup* e os níveis de inventário. A integração destes elementos permite evidenciar a diferença entre o tempo com valor acrescentado e o *lead time* total.

2.3.3 Metodologia de construção do VSM

A aplicação do VSM segue uma metodologia estruturada que se inicia com a seleção da família de produtos. Rother and Shook (1999) defendem que o mapeamento deve incidir sobre produtos que partilham percursos produtivos semelhantes, garantindo a coerência e representatividade do mapa.

Abdulmalek and Rajgopal (2007) descrevem a aplicação do VSM como um processo composto por três etapas principais: seleção da família de produtos, construção do mapa do estado atual e desenvolvimento do mapa do estado futuro. O estado atual representa o funcionamento real do sistema produtivo, sendo construído com base na recolha de dados diretamente no chão de fábrica.

A observação direta do processo assume, neste contexto, um papel fundamental, permitindo garantir que o mapa reflete as condições reais de operação. Esta abordagem reduz discrepâncias entre os procedimentos formais e a prática operacional (Rother and Shook, 1999).

O estado futuro corresponde a uma proposta de reorganização do fluxo produtivo, orientada para a redução de desperdícios e melhoria do desempenho global. Serrano et al. (2008) alargam esta perspetiva ao incluir a definição de um plano de implementação e a execução das melhorias, evidenciando que o VSM deve ser entendido como parte integrante de um processo de melhoria contínua.

2.3.4 Limitações e desenvolvimentos recentes do *Value Stream Mapping*

Apesar da sua ampla aplicação, o VSM apresenta limitações quando aplicado a sistemas produtivos com elevada complexidade. Braglia et al. (2006) referem que a ferramenta foi originalmente concebida para fluxos relativamente lineares, sendo mais eficaz em ambientes produtivos repetitivos e com trajetórias bem definidas.

Em sistemas caracterizados por elevada variabilidade, múltiplas rotas de produção ou forte interdependência entre processos, a representação do fluxo pode tornar-se menos clara, dificultando a sua interpretação. Nestes casos, pode ser necessário decompor o sistema em subfluxos ou simplificar a análise, o que pode reduzir a capacidade de representação global.

Para além das limitações estruturais, a literatura identifica desafios associados à implementação do VSM em contexto organizacional. Andreadis et al. (2017) destacam que o sucesso da aplicação da ferramenta não depende exclusivamente da qualidade técnica do mapa, estando fortemente condicionado por fatores como o envolvimento das equipas, a cultura de melhoria contínua e a integração do VSM em programas *Lean* mais abrangentes.

Mais recentemente, têm surgido extensões da ferramenta que procuram integrar tecnologias digitais. Meudt et al. (2017) propõem o conceito de *Value Stream Mapping 4.0*, que incorpora dados em tempo real e fluxos de informação digital. Ainda assim, os autores sublinham que os princípios fundamentais do VSM permanecem válidos, nomeadamente a necessidade de compreender o fluxo produtivo real antes da implementação de soluções tecnológicas.

2.3.5 *Current State Map* e *Future State Map* no processo de melhoria *Lean*

A distinção entre estado atual e estado futuro constitui um dos elementos centrais do VSM. O mapa do estado atual representa o funcionamento real do sistema produtivo, permitindo evidenciar ineficiências ao longo do fluxo, como tempos de espera, acumulação de inventário e interrupções no processo (Rother and Shook, 1999).

A análise da linha temporal permite quantificar o *lead time* total e compará-lo com o tempo efetivamente produtivo, evidenciando frequentemente uma elevada proporção de tempo sem valor acrescentado (Abdulmalek and Rajgopal, 2007).

O mapa do estado futuro corresponde a uma proposta de reorganização do sistema, orientada por princípios *Lean* como o fluxo contínuo, sistemas *pull* e nivelamento da produção. A sua construção baseia-se na análise das causas dos desperdícios identificados no estado atual e na definição de ações concretas de melhoria (Tyagi et al., 2015).

O VSM assume, assim, um carácter iterativo, em que o estado futuro se transforma progressivamente no novo estado atual, refletindo uma lógica de melhoria contínua (Rother and Shook, 1999).

2.3.6 Seleção de famílias de produto e análise ABC como suporte ao VSM

A seleção da família de produtos constitui uma etapa crítica na aplicação do VSM. Rother and Shook (1999) definem uma família como um conjunto de produtos que partilham etapas de

processo semelhantes, permitindo a construção de um mapa representativo do fluxo produtivo.

Em contextos caracterizados por elevada diversidade de referências, a definição da família deve considerar simultaneamente a relevância operacional e a homogeneidade dos percursos produtivos (Abdulmalek and Rajgopal, 2007).

Neste âmbito, a análise ABC pode ser utilizada como ferramenta de apoio à priorização, permitindo identificar os produtos com maior impacto no sistema. Braglia et al. (2006) alertam que uma seleção inadequada pode comprometer a utilidade do VSM, sendo essencial garantir a coerência do fluxo representado.

Em síntese, o VSM constitui uma ferramenta central na abordagem *lean* ao diagnóstico produtivo, na medida em que permite representar o fluxo de materiais e informação de forma integrada, identificar desperdícios ao longo da cadeia de valor e estruturar propostas de melhoria. A sua aplicação eficaz pressupõe rigor na recolha de dados, uma seleção adequada da família de produtos e integração num processo mais amplo de melhoria contínua.

2.4 Síntese da revisão da literatura e lacunas identificadas

A revisão da literatura permitiu concluir que o *Value Stream Mapping* é uma das ferramentas mais utilizadas para a análise e melhoria de sistemas produtivos, sendo amplamente reconhecida pela sua capacidade de identificar desperdícios e apoiar o desenvolvimento de estados futuros mais eficientes.

Contudo, verificou-se que muitos dos casos de estudo apresentados na literatura são desenvolvidos em contextos relativamente simplificados, frequentemente associados a uma única família de produtos ou a fluxos produtivos com reduzida variabilidade. Em contraste, são menos frequentes os trabalhos que abordam sistemas produtivos caracterizados por uma elevada diversidade de referências, múltiplos percursos produtivos, recursos partilhados entre diferentes fluxos e diferentes regimes de funcionamento.

Adicionalmente, embora a literatura apresente frequentemente os mapas de estado atual e futuro, nem sempre é detalhado o processo seguido para a sua construção. Aspetos como a seleção das referências a analisar, a definição dos percursos representativos, o cálculo dos indicadores utilizados ou o tratamento de situações específicas do sistema produtivo são muitas vezes pouco explorados, dificultando a replicação da metodologia noutros contextos industriais.

Neste sentido, a presente dissertação procura não apenas aplicar o *Value Stream Mapping* a um contexto produtivo com elevado grau de complexidade, mas também explicitar a metodologia seguida para a construção dos mapas e para a obtenção dos diferentes indicadores analisados, contribuindo para uma compreensão mais detalhada da aplicação desta ferramenta em ambientes industriais reais.

Capítulo 3

Diagnóstico do estado atual do fluxo produtivo

O presente capítulo tem como objetivo diagnosticar o estado atual do fluxo produtivo das referências de rolhas selecionadas, recorrendo ao *Value Stream Mapping* como ferramenta principal de análise. Para esse efeito, procedeu-se à seleção das referências a estudar, à construção dos respetivos mapas do estado atual e à determinação dos principais indicadores operacionais associados ao fluxo.

Com base nessa informação, desenvolveu-se uma análise crítica dos mapas elaborados, incidindo sobre o *lead time*, os níveis de stock intermédio, os tempos de permanência, os tempos de ciclo, o OEE e a adequação da capacidade disponível à procura. Numa fase complementar, o diagnóstico foi aprofundado ao nível dos diferentes setores envolvidos, com base em observação direta e em contributos recolhidos junto dos operadores e responsáveis de setor. Esta etapa permitiu detalhar os problemas operacionais subjacentes aos resultados observados nos VSM e consolidar a base de suporte para a definição das propostas de melhoria apresentadas no Capítulo 4.

3.1 Seleção das referências a analisar

Atendendo à elevada diversidade produtiva existente na unidade industrial, onde se registam mais de 400 referências de produto distintas, tornou-se necessário definir um critério de seleção que permitisse identificar as referências mais relevantes para estudo.

Para esse efeito, foi realizada uma análise ABC, suportada no princípio de Pareto, frequentemente expresso pela regra 80/20, segundo a qual uma fração relativamente reduzida dos itens tende a concentrar uma parte significativa do volume total analisado. Esta metodologia permitiu identificar as referências com maior peso relativo no volume produtivo previsto e, consequentemente, maior relevância no contexto industrial em estudo.

A Figura 3.1 apresenta a curva ABC obtida com base no volume previsto de produção para as diferentes referências.

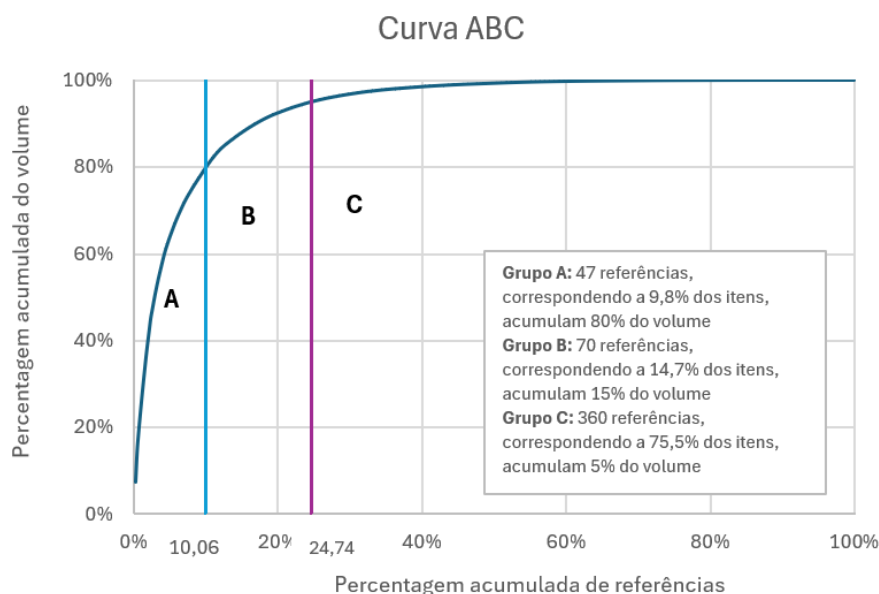


Figura 3.1: Curva ABC das referências com base no volume previsto de produção.

Contudo, a seleção das referências não assentou exclusivamente no volume previsto de produção. Procurou-se também que os artigos escolhidos fossem representativos dos fluxos produtivos da Amorim Top Series, que apresentassem relevância no volume global previsto e que estivessem em produção durante o período de acompanhamento, de forma a permitir o seu rastreamento direto ao longo dos vários setores produtivos. A partir dos resultados obtidos, foram selecionadas três referências de produto: NTTOP 26x18,5 BL, NTTOP 26,5x19,7 BL e NTTOP 22x19,2 CF.

A Figura 3.2 apresenta os resultados da análise ABC efetuada, bem como a identificação das referências selecionadas para estudo.

Rolha	Descrição	QTD	% do Total	% acumulada	Classificação ABC
NTTOP 26x18,5 BL	RS CP_NEUT 26X18,5 BL N101 S4 E 0799P	27740	7,319%	7%	A
NTTOP 26,5x19,7 BL	RT NTTOP 26,5X19,7 BL N101 S0 E	26572	7,010%	14%	A
NTTOP 22x19,2 CF	RS CP_NEUT 22X19,2 CF N101 S4 E 0471P	16852	4,446%	19%	A

Figura 3.2: Resultados da análise ABC e identificação das referências selecionadas.

Embora as referências selecionadas apresentem elevada relevância produtiva, estas não pertencem integralmente à mesma família de produto do ponto de vista do percurso produtivo, uma vez que diferem em determinadas operações ao longo do processo. Por esse motivo, optou-se pela elaboração de três mapas de estado atual distintos, correspondentes a cada uma das referências selecionadas.

No caso das referências NTTOP 26x18,5 BL e NTTOP 22x19,2 CF, o fluxo produtivo considerado no VSM abrange as operações de Acabamentos Mecânicos, Lavação, Escolha Eletrónica 2 e Tratamento, tendo sido considerada a Capsulagem como cliente final. Apesar de partilharem o mesmo percurso geral, estas duas referências diferenciam-se ao nível dos Acabamentos Mecânicos, uma vez que a referência NTTOP 26x18,5 BL é processada nas boleadeiras, enquanto a

referência NTTOP 22x19,2 CF é processada nas chanfradeiras.

Relativamente à referência NTTOP 26,5x19,7 BL, o fluxo produtivo considerado inclui as operações de Acabamentos Mecânicos, Lavagem, Tratamento no Setor das Especialidades e Escolha Eletrônica 2, sendo que, neste caso, o cliente final considerado corresponde ao cliente externo, uma vez que, após o tratamento realizado no Setor das Especialidades, o produto segue para embalagem na Escolha Eletrônica 2, não sendo capsulado.

A seleção destas três referências permitiu, assim, abranger fluxos produtivos distintos e assegurar que o diagnóstico desenvolvido ao longo do capítulo incide sobre percursos com relevância produtiva e representatividade operacional.

3.2 Construção dos mapas do estado atual

A construção dos mapas do estado atual foi realizada com base na observação direta do processo produtivo, através do acompanhamento do percurso das referências selecionadas ao longo das diferentes etapas, segundo a lógica de *gemba*. Esta abordagem permitiu identificar o fluxo real de materiais, os processos percorridos, os equipamentos utilizados e os pontos de acumulação entre operações.

Sempre que necessário, a informação recolhida no terreno foi complementada com esclarecimentos junto dos operadores e responsáveis de setor, de forma a validar os percursos produtivos, garantir a coerência dos dados e caracterizar simultaneamente o fluxo de informação associado ao processo.

Com base nesta recolha, foram elaborados três mapas de estado atual, correspondentes às três referências selecionadas, refletindo as diferenças existentes entre os respetivos fluxos produtivos. A simbologia utilizada na construção dos VSM encontra-se apresentada na Figura A.1 do Anexo A.

A Figura 3.3 apresenta o mapa VSM do estado atual da referência 26x18,5 BL. Este mapa evidencia a sequência de processos percorridos pela referência, os fluxos de materiais e informação, os níveis de stock intermédio e os principais indicadores utilizados na caracterização do desempenho do fluxo produtivo.

23

Os mapas completos do estado atual correspondentes às restantes referências analisadas, 26,5x19,7 BL e 22x19,2 CF, encontram-se apresentados nas Figuras B.1 e B.2 do Anexo B, respetivamente.

3.3 Determinação dos indicadores dos mapas do estado atual

Após a construção dos mapas do estado atual, procedeu-se à determinação dos principais indicadores e parâmetros operacionais necessários à caracterização dos fluxos produtivos analisados. Estes elementos permitiram complementar a representação gráfica dos VSM e fornecer suporte quantitativo à leitura do desempenho das diferentes etapas do processo.

Entre os indicadores considerados incluem-se a procura associada a cada referência, o *takt time*, os tempos de ciclo teórico e real, os recursos produtivos, os tempos de *setup*, a capacidade dos processos, os níveis de stock intermédio, o tempo de permanência em stock, o *lead time*, o tempo com e sem valor acrescentado, o OEE e os indicadores complementares de cobertura da procura.

3.3.1 Procura diária e *takt time*

A procura diária das referências em estudo foi determinada com base no volume previsto no orçamento anual de 2026, considerando 226 dias úteis de produção. Assim, a procura diária foi calculada de acordo com a Equação 3.1.

$$\text{Procura diária (rolhas/dia)} = \frac{\text{Procura anual prevista (rolhas/ano)}}{226 \text{ dias úteis/ano}} \quad (3.1)$$

Com base na procura diária, calculou-se o *takt time*, considerando um tempo disponível para produção de 21 horas por dia, assumindo 1 hora de pausa planeada em cada turno. O cálculo foi efetuado de acordo com a Equação 3.2.

$$\text{Takt time (s/rolha)} = \frac{\text{Tempo disponível para produção (s/dia)}}{\text{Procura diária (rolhas/dia)}} = \frac{21 \times 60 \times 60 \text{ (s/dia)}}{\text{Procura diária (rolhas/dia)}} \quad (3.2)$$

A determinação destes indicadores permitiu estabelecer a cadência necessária para responder à procura, servindo de base para a comparação posterior com os tempos de ciclo dos diferentes processos. Os valores de procura anual, procura diária e *takt time* das referências analisadas encontram-se apresentados na Tabela C.1 do Anexo C.

3.3.2 Tempo de ciclo teórico

O tempo de ciclo teórico foi determinado com o objetivo de caracterizar a cadência ideal de processamento de cada etapa, assumindo o funcionamento contínuo dos equipamentos e desconsiderando paragens ou interrupções operacionais.

Nos processos em que o processamento ocorre de forma unitária, rolha a rolha, o tempo de ciclo teórico foi obtido a partir da capacidade nominal dos equipamentos, de acordo com a Equação 3.3.

$$\text{Tempo de ciclo teórico (s/rolha)} = \frac{3600 \text{ s/h}}{\text{Capacidade nominal (rolhas/h)}} \quad (3.3)$$

Visto que a capacidade foi inicialmente observada em rolhas/min, procedeu-se previamente à sua conversão para rolhas/h, através da Equação 3.4.

$$\text{Capacidade nominal (rolhas/h)} = \text{Capacidade nominal (rolhas/min)} \times 60 \quad (3.4)$$

As medições da capacidade nominal foram realizadas nos setores dos Acabamentos Mecânicos e da Escolha Eletrónica 2, uma vez que ambos correspondem a operações em que o processamento ocorre de forma unitária, rolha a rolha. Em cada equipamento foram efetuadas cinco medições, realizadas em momentos em que a máquina se encontrava em funcionamento normal, condição confirmada junto dos operadores. A suficiência do número de observações foi verificada com base na formulação apresentada por Montgomery and Runger (2014) para a estimação da média com variância desconhecida, assumindo-se um intervalo de confiança de 95% e um erro admissível de 5%, conforme apresentado na Equação 3.5.

$$n = \left(\frac{t \times s}{A \times \bar{x}} \right)^2 \quad (3.5)$$

No setor dos Acabamentos Mecânicos, cada linha é constituída por três equipamentos principais que atuam de forma sequencial: a retificadora, responsável pelo ajuste do diâmetro da rolha; a topejadeira, que assegura o comprimento final pretendido; e a boleadeira ou chanfradeira, consoante o tipo de linha, responsável pelo acabamento final dos topos. Para a determinação da capacidade teórica deste setor, foram consideradas apenas as cadências do último equipamento de cada linha, isto é, das boleadeiras e chanfradeiras, uma vez que os equipamentos a montante apresentam velocidades superiores e funcionam essencialmente como alimentação intermédia através dos *buffers* existentes ao longo da linha. Desta forma, o equipamento final foi assumido como elemento limitante da capacidade produtiva, sendo a sua cadência representativa do ritmo efetivo de processamento da linha.

Ao contrário do que se verifica nos Acabamentos Mecânicos e na Escolha Eletrónica, a Lavação corresponde a uma operação por lote, na qual as rolhas são processadas em simultâneo durante um ciclo com duração previamente definida. O setor é constituído por três máquinas, sendo que cada uma possui capacidade para dois carros, o que, para as referências analisadas, corresponde a uma capacidade máxima de 150 000 rolhas por lavação.

Para a referência 26,5x19,7 BL, verificou-se que o programa utilizado corresponde ao N101, com duração de 2 h 30 min. Para as referências 26x18,5 BL e 22x19,2 CF, verificou-se que, apesar de na descrição do artigo surgir a designação N101, o programa efetivamente utilizado é o CL2, com duração de 3 h 50 min.

Nestes casos, o tempo de ciclo teórico por rolha foi obtido através da relação entre a duração do ciclo e a quantidade máxima de rolhas processadas por operação, de acordo com a Equação 3.6.

$$\text{Tempo de ciclo teórico (s/rolha)} = \frac{\text{Duração do ciclo (s)}}{\text{Quantidade processada por ciclo (rolhas)}} \quad (3.6)$$

Tal como a Lavação, o Tratamento também corresponde a uma operação por ciclo. As referências 26x18,5 BL e 22x19,2 CF realizam o tratamento SILK 4, com duração de 1 h, enquanto a referência 26,5x19,7 BL realiza o tratamento SILK0+, com duração de 40 min. O tempo de ciclo teórico desta etapa foi igualmente obtido através da relação entre a duração do ciclo e a quantidade processada por operação.

A determinação do tempo de ciclo teórico permitiu estabelecer uma referência de desempenho ideal para cada etapa do processo, servindo de base para a comparação posterior com os tempos de ciclo reais observados. Os valores de capacidade nominal e tempo de ciclo teórico considerados para os diferentes processos encontram-se apresentados na Tabela C.2 do Anexo C.

3.3.3 Tempo de ciclo real

A determinação do tempo de ciclo real dos equipamentos foi efetuada com base em dados históricos de produção horária, com o objetivo de obter uma estimativa representativa do comportamento efetivo do processo em operação. Esta abordagem permitiu ultrapassar a limitação associada ao uso exclusivo do tempo de ciclo teórico, que traduz apenas a capacidade nominal do equipamento em condições ideais e não incorpora as perdas observadas no contexto real de produção.

No entanto, a utilização direta dos registos horários de produção exigiu um tratamento prévio dos dados, uma vez que alguns valores muito reduzidos podem corresponder a horas fortemente condicionadas por paragens prolongadas e não ao funcionamento efetivo da máquina. A inclusão dessas observações no cálculo do tempo de ciclo real conduziria a uma sobrestimação do indicador, ao incorporar perdas que devem ser tratadas no âmbito da disponibilidade e não da performance. Assim, antes da estimação do tempo de ciclo real, foi definido para cada equipamento um *threshold* inferior de produção horária, abaixo do qual as observações foram excluídas da amostra de cálculo.

A definição deste *threshold* não foi feita através de um valor absoluto comum a todos os equipamentos, mas sim individualmente para cada máquina, de forma a respeitar as suas características específicas de capacidade teórica. Para esse efeito, partiu-se do tempo de ciclo teórico de cada equipamento, a partir do qual se calculou a respetiva produção teórica horária, através da Equação 3.7.

$$\text{Produção teórica horária (rolhas/h)} = \frac{3600 \text{ s/h}}{\text{Tempo de ciclo teórico (s/rolha)}} \quad (3.7)$$

Com base nesta referência, cada valor observado de produção horária foi interpretado em termos de tempo produtivo equivalente dentro da hora, através da Equação 3.8.

$$\text{Tempo produtivo equivalente}_i \text{ (min)} = 60 \times \frac{\text{Produção observada}_i \text{ (rolhas/h)}}{\text{Produção teórica horária (rolhas/h)}} \quad (3.8)$$

Desta forma, foi possível associar a cada registo um significado físico em termos de tempo efetivo de funcionamento do equipamento, distinguindo observações representativas de produção efetiva de observações fortemente condicionadas por períodos prolongados de paragem.

A seleção do *threshold* inferior resultou da combinação de dois critérios complementares. O primeiro critério consistiu numa análise física, baseada na equivalência entre produção horária e tempo produtivo dentro da hora, permitindo identificar valores associados a horas claramente dominadas por indisponibilidade. O segundo critério consistiu numa análise de sensibilidade da estimativa do tempo de ciclo real para diferentes *thresholds* candidatos. Para cada valor testado, recalculou-se o tempo de ciclo com base apenas nas observações acima desse limite, analisando-se a evolução da mediana do tempo de ciclo e o número de observações remanescentes.

Sempre que a análise de sensibilidade evidenciou uma zona de estabilização da mediana, o *threshold* selecionado correspondeu ao início dessa zona, por se considerar que, a partir desse ponto, a exclusão adicional de observações de baixa produção deixava de alterar de forma relevante a estimativa do indicador. Nos casos em que essa estabilização não se revelou nítida, adotou-se uma abordagem conservadora, definindo-se o *threshold* com base na interpretação física dos dados e privilegiando a exclusão apenas de observações claramente dominadas por paragens longas.

Após a definição do *threshold* para cada equipamento, o tempo de ciclo real foi calculado a partir das observações remanescentes, convertendo cada registo de produção horária no respetivo tempo de ciclo observado, segundo a Equação 3.9.

$$\text{Tempo de ciclo observado}_i \text{ (s/rolha)} = \frac{3600 \text{ s/h}}{\text{Produção observada}_i \text{ (rolhas/h)}} \quad (3.9)$$

A estimativa final do tempo de ciclo real foi obtida através da mediana dos tempos de ciclo observados válidos. A opção pela mediana justifica-se pelo facto de esta medida ser menos sensível a valores extremos do que a média, permitindo obter uma estimativa mais robusta face à variabilidade natural dos dados e a eventuais registos atípicos.

Desta forma, o tempo de ciclo real passou a refletir o comportamento do equipamento em condições efetivas de produção, incorporando as perdas associadas à performance, mas excluindo observações em que a produção horária era tão reduzida que indicava predominantemente paragens longas. Assim, garantiu-se coerência entre a estimação do tempo de ciclo real e a posterior decomposição das perdas segundo disponibilidade e performance. Os valores de tempo de ciclo real considerados para os diferentes processos encontram-se apresentados na Tabela C.3 do Anexo C.

3.3.4 Recursos produtivos: operadores, máquinas e turnos

Para complementar a caracterização dos processos representados nos mapas do estado atual, procedeu-se ao levantamento do número de operadores, do número de máquinas e do regime de turnos associado a cada etapa produtiva. Estes elementos permitiram enquadrar a análise dos tempos de ciclo e da capacidade dos processos.

A informação relativa ao número de operadores e ao regime de turnos foi recolhida por observação direta em contexto industrial e validada junto dos responsáveis de setor. No que respeita ao número de máquinas, não foi considerado o total de equipamentos existente em cada setor, mas apenas o conjunto de máquinas com características adequadas ao processamento da referência em análise. Deste modo, o valor considerado procurou refletir a capacidade efetivamente disponível para cada fluxo estudado.

Nos Acabamentos Mecânicos, este aspeto assume particular relevância, uma vez que diferentes referências podem ser processadas em linhas distintas e nem todos os equipamentos do setor são adequados a todos os artigos.

Verificou-se ainda a existência de regimes de funcionamento distintos entre processos, com etapas a operar em 2 ou 3 turnos, aspeto com impacto direto no tempo disponível de produção e na capacidade de resposta à procura. Os valores considerados para os diferentes processos e referências encontram-se apresentados na Tabela C.4 do Anexo C.

3.3.5 Tempos de *setup*

Os tempos de *setup* considerados nos mapas do estado atual correspondem ao tempo necessário para preparar cada processo para o fabrico da referência em análise, incluindo operações de ajuste, afinação e preparação do equipamento sempre que aplicável.

Nos Acabamentos Mecânicos, os tempos de *setup* variam significativamente consoante a referência anteriormente processada na máquina. Quando a referência anterior apresenta características muito diferentes da referência seguinte, o tempo necessário para afinação tende a ser superior. Por outro lado, quando as referências são semelhantes, o *setup* tende a ser mais reduzido. Neste setor, os *setups* realizados são registados manualmente em folhas de controlo, através da indicação da hora de início e da hora de fim. No entanto, esses registos não incluem a identificação das referências associadas ao *setup*. Assim, para determinar os tempos de *setup* das referências em análise, foi necessário efetuar um cruzamento de informação entre os registos existentes em sistema, que permitiram identificar os momentos em que ocorreram *setups* associados às referências estudadas, e as folhas de registo em papel, a partir das quais foram extraídos os respetivos tempos. Com base nesses valores, foi determinada a mediana dos *setups* de cada referência.

Na Escolha Eletrónica 2, os tempos de *setup* também variam em função da diferença entre o calibre anteriormente processado e o calibre da referência seguinte. No entanto, tratando-se de *setups* mais rápidos, a sua determinação foi efetuada diretamente no local, através da medição dos tempos observados em contexto industrial, tendo posteriormente sido calculado o respetivo valor médio.

No caso da Lavação e do Tratamento, os *setups* apresentam igualmente curta duração, pelo que os respetivos tempos foram também medidos diretamente no local e posteriormente tratados através do cálculo da média.

Nos casos em que os equipamentos se encontravam 100% alocados a uma única referência, o tempo de *setup* foi considerado nulo, por não se verificar necessidade de mudança ou afinação entre produções.

Os tempos de *setup* considerados para os diferentes processos das referências analisadas encontram-se apresentados na Tabela C.5 do Anexo C. A sua leitura mostra que os tempos de *setup* assumem maior relevância nos Acabamentos Mecânicos, refletindo o impacto que a mudança entre referências pode ter na afinação e preparação dos equipamentos. Nas restantes etapas, os *setups* apresentam menor expressão temporal, embora continuem a representar uma parcela de tempo não produtivo que importa considerar na caracterização global do sistema.

3.3.6 Capacidade dos processos

A determinação da capacidade dos processos teve como objetivo quantificar o volume de produção que cada etapa consegue assegurar num determinado intervalo de tempo, permitindo complementar a análise dos tempos de ciclo e apoiar a interpretação posterior do comportamento global do fluxo.

Nos processos em que o processamento ocorre de forma unitária, rolha a rolha, a capacidade foi determinada com base no respetivo tempo de ciclo e no número de máquinas disponíveis no setor para a referência em análise. Nestes casos, a capacidade foi calculada de acordo com a Equação 3.10.

$$\text{Capacidade do processo (rolhas/h)} = \frac{3600 \text{ s/h}}{\text{Tempo de ciclo (s/rolha)}} \times \text{Número de máquinas} \quad (3.10)$$

Assim, a partir do tempo de ciclo teórico obteve-se a capacidade nominal do processo, enquanto a partir do tempo de ciclo real se obteve a capacidade real do processo.

Nos processos por lote ou por ciclo, como a Lavação e o Tratamento, a capacidade foi determinada através da relação entre a quantidade processada por operação e a respetiva duração, considerando igualmente o número de equipamentos disponíveis no setor. Nestes casos, o cálculo foi efetuado de acordo com a Equação 3.11.

$$\text{Capacidade do processo (rolhas/h)} = \frac{\text{Quantidade processada por ciclo (rolhas)}}{\text{Duração do ciclo (h)}} \times \text{Número de máquinas} \quad (3.11)$$

Desta forma, a capacidade passou a refletir a aptidão produtiva de cada processo nas condições associadas à referência analisada, permitindo comparar o comportamento ideal e o desempenho efetivamente observado das diferentes etapas.

Os valores de capacidade nominal e capacidade real considerados para os diferentes processos encontram-se apresentados na Tabela C.6 do Anexo C. A sua leitura evidencia diferenças relevantes entre etapas, observando-se capacidades mais reduzidas nos Acabamentos Mecânicos, em particular nos percursos Fresas, Miniaturas e CF, e capacidades substancialmente superiores na Lavação e no Tratamento. Na Escolha Eletrónica 2, os valores obtidos mostram um comportamento intermédio, com menor capacidade na referência NTTOP 26,5x19,7 BL relativamente às restantes.

A determinação da capacidade dos processos permitiu, assim, complementar a análise dos tempos de ciclo e apoiar a avaliação posterior da adequação dos recursos à procura.

3.3.7 Níveis de stock intermédio

A caracterização dos níveis de stock intermédio teve como objetivo quantificar a acumulação de material existente entre as diferentes etapas do fluxo produtivo, permitindo identificar pontos de espera, desacoplamento entre processos e potenciais fontes de aumento do *lead time*.

Os valores de stock representados nos mapas do estado atual correspondem à quantidade de rolhas existente entre operações no momento do levantamento realizado em contexto industrial. Para além do stock intermédio entre processos, foi também considerado o stock existente antes do primeiro processo produtivo, por representar o volume de material disponível a montante do fluxo analisado e influenciar diretamente o tempo total de permanência do produto no sistema.

A inclusão destes níveis de stock no VSM permitiu tornar visível a acumulação de material ao longo do fluxo e apoiar a leitura da sua continuidade. De um modo geral, valores elevados entre etapas indicam que o material não está a avançar de forma sincronizada com o processo seguinte, evidenciando perda de fluidez e maior probabilidade de geração de espera.

Os valores de stock considerados para as diferentes posições do fluxo das referências analisadas encontram-se apresentados na Tabela C.7 do Anexo C. A sua leitura evidencia acumulações relevantes antes do primeiro processo produtivo e entre etapas internas do fluxo.

3.3.8 Tempo de permanência em stock

Para complementar a análise dos níveis de stock intermédio, procedeu-se à determinação do tempo de permanência em stock nas diferentes posições do fluxo. Este indicador permitiu traduzir as quantidades acumuladas em tempo de espera, tornando mais clara a sua influência no *lead time* total das referências analisadas.

O tempo de permanência em stock foi determinado a partir da relação entre a quantidade de material acumulada em cada ponto do fluxo e a procura diária da respetiva referência, de acordo com a Equação 3.12.

$$\text{Tempo de permanência em stock (dias)} = \frac{\text{Stock (rolhas)}}{\text{Procura diária (rolhas/dia)}} \quad (3.12)$$

Desta forma, foi possível estimar durante quantos dias o material permanece, em média, em cada ponto de acumulação, assumindo uma cadência de consumo compatível com a procura diária.

Os valores obtidos para as diferentes posições do fluxo encontram-se apresentados na Tabela C.8 do Anexo C. A sua leitura mostra que os tempos de permanência mais elevados ocorrem antes do primeiro processo produtivo, mantendo-se ainda valores relevantes em diferentes pontos do fluxo, o que evidencia o peso da espera no comportamento global do sistema.

3.3.9 *Lead time*, VAT e NVAT

A determinação do *lead time* e da sua decomposição em tempo com valor acrescentado (VAT) e tempo sem valor acrescentado (NVAT) teve como objetivo quantificar o tempo total de atravessamento do fluxo e distinguir a parcela efetivamente associada à transformação do produto da parcela correspondente a espera e permanência em stock.

O *lead time* foi obtido através da soma dos tempos de permanência em stock ao longo das diferentes posições do fluxo e dos tempos de processamento das etapas produtivas, de acordo com a Equação 3.13.

$$\text{Lead time} = \sum \text{Tempo de permanência em stock} + \sum \text{Tempo de processamento} \quad (3.13)$$

O tempo com valor acrescentado (VAT) correspondeu à soma dos tempos de processamento das operações incluídas no percurso produtivo da referência analisada. Assim, para cada fluxo, o VAT foi obtido de acordo com a Equação 3.14.

$$\text{VAT} = \sum \text{Tempo de processamento das operações} \quad (3.14)$$

Por sua vez, o tempo sem valor acrescentado (NVAT) correspondeu à soma dos tempos de permanência em stock entre etapas, incluindo também o stock existente antes do primeiro processo produtivo e o stock final do fluxo analisado. O seu cálculo foi efetuado de acordo com a Equação 3.15.

$$\text{NVAT} = \sum \text{Tempo de permanência em stock} \quad (3.15)$$

Desta forma, o *lead time* total resulta da soma do tempo com valor acrescentado e do tempo sem valor acrescentado, conforme apresentado na Equação 3.16.

$$\text{Lead time} = \text{VAT} + \text{NVAT} \quad (3.16)$$

Os valores de *lead time*, VAT e NVAT das referências analisadas encontram-se apresentados na Tabela C.9 do Anexo C. A sua leitura mostra que o *lead time* total é fortemente dominado pelo tempo sem valor acrescentado, evidenciando o peso da espera e da acumulação de material no comportamento global do fluxo.

3.3.10 OEE e componentes associadas

Com o objetivo de aprofundar a análise do desempenho dos processos representados nos mapas do estado atual, procedeu-se à determinação do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Este indicador permitiu avaliar a eficiência global dos equipamentos, através da decomposição das perdas em três componentes: disponibilidade, performance e qualidade.

O OEE foi calculado de acordo com a Equação 3.17.

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade} \quad (3.17)$$

A disponibilidade traduz a proporção do tempo planeado em que o equipamento esteve efetivamente em funcionamento, sendo obtida pela relação entre o tempo operacional e o tempo planeado de produção, de acordo com a Equação 3.18.

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{Tempo operacional}}{\text{Tempo planeado de produção}} \times 100 \quad (3.18)$$

A performance mede o desvio entre o ritmo efetivo de processamento e o ritmo ideal do equipamento, sendo determinada através da relação entre o tempo de ciclo teórico e o tempo de ciclo real, de acordo com a Equação 3.19.

$$\text{Performance (\%)} = \frac{\text{Tempo de ciclo teórico}}{\text{Tempo de ciclo real}} \times 100 \quad (3.19)$$

A qualidade corresponde à proporção de unidades conformes no total produzido, sendo calculada de acordo com a Equação 3.20.

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{Quantidade de produto conforme}}{\text{Quantidade total produzida}} \times 100 \quad (3.20)$$

Na decomposição das perdas, as paragens longas foram consideradas no indicador de disponibilidade, por corresponderem a períodos claramente identificáveis de não funcionamento do equipamento. Já as paragens curtas, por não serem passíveis de identificação individual nos dados disponíveis, foram absorvidas no indicador de performance, em conjunto com as restantes perdas de ritmo de produção. Desta forma, garantiu-se coerência entre a leitura do OEE e a metodologia anteriormente utilizada na determinação do tempo de ciclo real, em que se procurou excluir apenas observações claramente dominadas por longos períodos de indisponibilidade.

Os valores de disponibilidade, performance, qualidade e OEE considerados para os diferentes processos encontram-se apresentados na Tabela C.10 do Anexo C. A sua leitura evidencia diferenças relevantes entre etapas, observando-se valores de OEE mais reduzidos nos Acabamentos Mecânicos e um comportamento globalmente mais favorável na Lavação e no Tratamento.

3.3.11 Indicadores complementares de capacidade e cobertura da procura

Para complementar a análise do estado atual, procedeu-se à determinação de indicadores adicionais relacionados com a adequação da capacidade disponível à procura das referências analisa-

das. Em particular, foram calculadas as máquinas equivalentes necessárias e o grau de cobertura da procura, com o objetivo de avaliar em que medida os recursos disponíveis em cada processo são suficientes para satisfazer a procura diária.

A análise incidiu sobre os processos mais relevantes do ponto de vista do fluxo e da capacidade, nomeadamente os Acabamentos Mecânicos e a Escolha Eletrónica 2.

A capacidade efetiva por máquina foi determinada com base na capacidade nominal por máquina ajustada pelo respetivo OEE, de acordo com a Equação 3.21.

$$\text{Capacidade efetiva por máquina (rolhas/h)} = \text{Capacidade nominal por máquina (rolhas/h)} \times OEE \quad (3.21)$$

Com base neste valor, as máquinas equivalentes necessárias para satisfazer a procura diária da referência foram determinadas através da Equação 3.22.

$$\text{Máquinas equivalentes necessárias} = \frac{\text{Procura diária da referência (rolhas/dia)}}{\text{Capacidade efetiva por máquina (rolhas/h)} \times \text{Horas disponíveis/dia}} \quad (3.22)$$

Por sua vez, o grau de cobertura da procura foi calculado através da relação entre a capacidade efetiva total disponível no processo e a procura diária da referência, de acordo com a Equação 3.23.

$$GC = \frac{C_{ef} \times N_{maq} \times H_{disp}}{P_d} \times 100 \quad (3.23)$$

em que GC representa o grau de cobertura da procura, C_{ef} a capacidade efetiva por máquina, N_{maq} o número de máquinas, H_{disp} as horas disponíveis por dia e P_d a procura diária da referência.

Para o cálculo das horas disponíveis por dia, foi considerado o regime de turnos associado a cada processo. Assim, nos processos a 3 turnos foram consideradas 21 horas disponíveis por dia, assumindo 1 hora de pausa planeada por turno, e nos processos a 2 turnos foram consideradas 14 horas disponíveis por dia.

A utilização destes indicadores permitiu passar de uma leitura centrada apenas nos tempos de ciclo para uma avaliação mais concreta da suficiência dos recursos disponíveis em cada processo, tendo em conta simultaneamente o desempenho efetivo dos equipamentos e o tempo útil de produção. Os valores obtidos para os processos analisados encontram-se apresentados na Tabela C.11 do Anexo C. A sua leitura evidencia diferenças relevantes entre processos, destacando-se os Acabamentos Mecânicos como a etapa mais exigente do ponto de vista da cobertura da procura.

3.4 Interpretação e análise crítica dos mapas do estado atual

Após a construção dos mapas do estado atual e da determinação dos respetivos indicadores, procedeu-se à sua análise crítica, com o objetivo de identificar os principais desperdícios, desequilíbrios e constrangimentos do sistema. Para esse efeito, a interpretação dos VSM foi complementada com figuras e tabelas de apoio relativas ao *lead time*, ao stock intermédio, ao tempo de

permanência em stock, à comparação entre tempos de ciclo e *takt time*, às componentes do OEE e à adequação da capacidade disponível à procura.

3.4.1 Desempenho global dos fluxos produtivos

A primeira leitura dos mapas evidencia que os três fluxos apresentam *lead times* elevados, fortemente dominados por tempo sem valor acrescentado (NVAT). Como se observa na Figura 3.4, a referência NTTOP 22x19,2 CF apresenta um *lead time* total de 20,89 dias, com apenas 290,02 minutos de tempo com valor acrescentado; a referência NTTOP 26,5x19,7 BL apresenta um *lead time* de 16,16 dias, com 220,04 minutos de VAT; e a referência NTTOP 26x18,5 BL apresenta um *lead time* de 19,78 dias, com 300,03 minutos de VAT. Em todos os casos, o NVAT representa a quase totalidade do tempo total de atravessamento do fluxo. Os valores de suporte a esta análise encontram-se apresentados na Tabela C.9 do Anexo C.

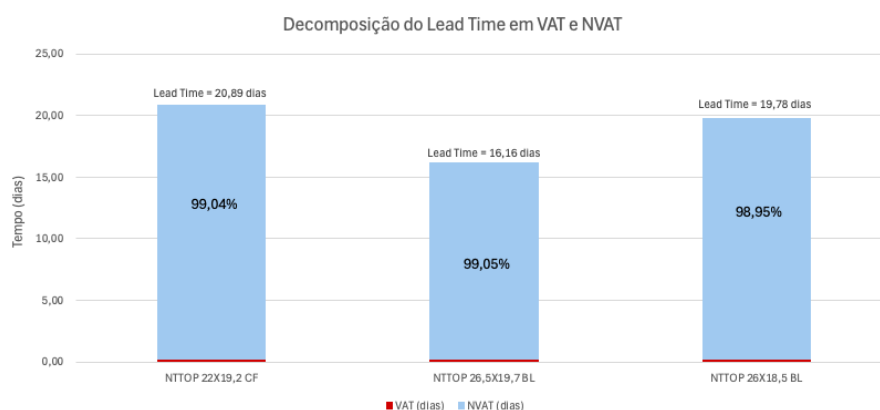


Figura 3.4: Composição do *lead time* das referências analisadas em tempo com e sem valor acrescentado.

A Figura 3.4 mostra, assim, que o problema central do sistema não está apenas no tempo necessário para transformar o produto, mas sobretudo no período em que o material permanece parado entre etapas. Isto significa que a maior parcela do *lead time* está associada a atividades que não acrescentam valor ao cliente, nomeadamente espera e permanência em stock, o que reduz a fluidez do sistema, afeta a previsibilidade operacional e dificulta a resposta atempada à procura.

Deste modo, o diagnóstico do estado atual aponta desde logo para uma necessidade clara de intervenção sobre o NVAT, através da melhoria da continuidade do fluxo, da redução de stock intermédio e de uma maior articulação entre processos consecutivos.

3.4.2 Acumulação de stock e tempos de espera ao longo do fluxo

A análise dos níveis de stock confirma a existência de acumulações significativas logo antes do primeiro processo produtivo. Como se observa na Figura 3.5, os VSM evidenciam stocks iniciais de 1 220 000 rolas para a referência NTTOP 26x18,5 BL, 1 170 000 rolas para a NTTOP

26,5x19,7 BL e 700 000 rolas para a NTTOP 22x19,2 CF. Os valores de suporte a esta análise encontram-se apresentados na Tabela C.7 do Anexo C.

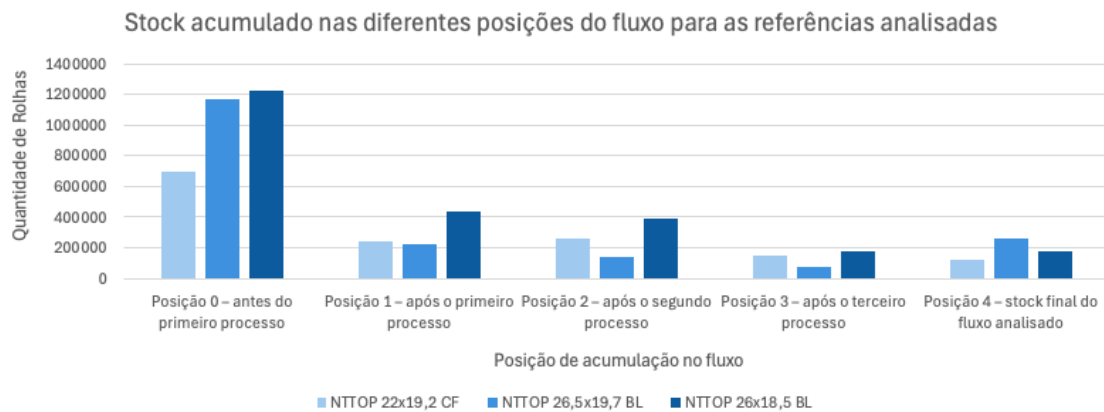


Figura 3.5: Stock acumulado nas diferentes posições do fluxo para as referências analisadas.

Para além do stock inicial, a Figura 3.5 mostra que continuam a existir acumulações relevantes ao longo de todo o fluxo. Este comportamento mostra que o sistema se encontra longe de operar em fluxo contínuo. Em vez de uma sequência fluida entre etapas, observa-se um padrão de desacoplamento entre processos, em que o material avança e se acumula antes de ser absorvido pela etapa seguinte. O inventário intermédio funciona, neste contexto, como amortecedor das desconcontinuidades do sistema, mas simultaneamente esconde problemas de sincronização, estabilidade e balanceamento.

A leitura dos tempos de permanência em stock reforça esta interpretação. Como se observa na Figura 3.6, em todas as referências a maior permanência ocorre antes dos Acabamentos Mecânicos, com valores próximos de 10 dias, mantendo-se ainda tempos relevantes em diferentes pontos do fluxo. Os valores de suporte a esta análise encontram-se apresentados na Tabela C.8 do Anexo C.

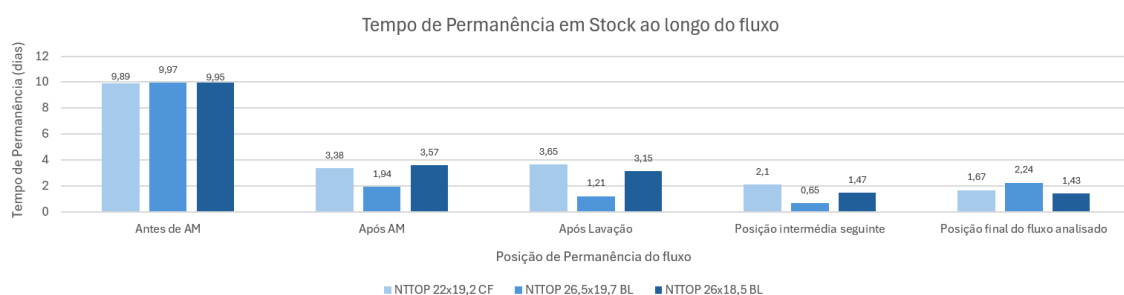


Figura 3.6: Tempo de permanência em stock nas diferentes posições do fluxo para as referências analisadas.

As Figuras 3.5 e 3.6 mostram, assim, que o sistema opera com inventário intermédio elevado e longos tempos de espera, afastando-se de uma lógica de fluxo contínuo. A acumulação de material entre etapas traduz-se diretamente em aumento do *lead time*, perda de fluidez e menor

previsibilidade do sistema. Importa ainda sublinhar que o inventário intermédio constitui também um problema de ocupação de espaço e de capital empatado.

3.4.3 Desequilíbrio entre processos e identificação de etapas críticas

A comparação entre tempo de ciclo real, tempo de ciclo teórico e *takt time* permite aprofundar a análise do balanceamento do fluxo e identificar os processos mais críticos. Contudo, esta leitura exige uma ressalva metodológica importante: o *takt time* apresentado nos VSM corresponde à cadência global imposta pela procura da referência, enquanto alguns processos operam com regimes de turnos distintos. Assim, quando um processo opera apenas em 2 turnos, o tempo disponível real para responder à mesma procura é inferior ao de um processo que opera em 3 turnos, o que torna a sua margem operacional mais reduzida.

Esta situação é particularmente relevante no AM (CF) da referência NTTOP 22x19,2 CF e no Tratamento (Especialidades) da referência NTTOP 26,5x19,7 BL, que operam em 2 turnos. Nesses casos, a comparação com o *takt time* global continua a ser útil como referência de leitura do fluxo, mas deve ser interpretada com cautela, uma vez que a exigência efetiva sobre o processo é superior à sugerida por uma leitura baseada apenas no tempo disponível do sistema como um todo.

No caso da referência NTTOP 26x18,5 BL, a Figura 3.7 mostra que o AM (BL) apresenta um tempo de ciclo real superior ao *takt time*, assumindo-se como principal gargalo do fluxo. Na referência NTTOP 26,5x19,7 BL, a situação é ainda mais crítica em AM (Fresas), enquanto a EE2 surge como etapa adicionalmente sensível, embora com menor desvio. Os valores de suporte a esta análise encontram-se apresentados nas Tabelas C.1, C.2 e C.3 do Anexo C.

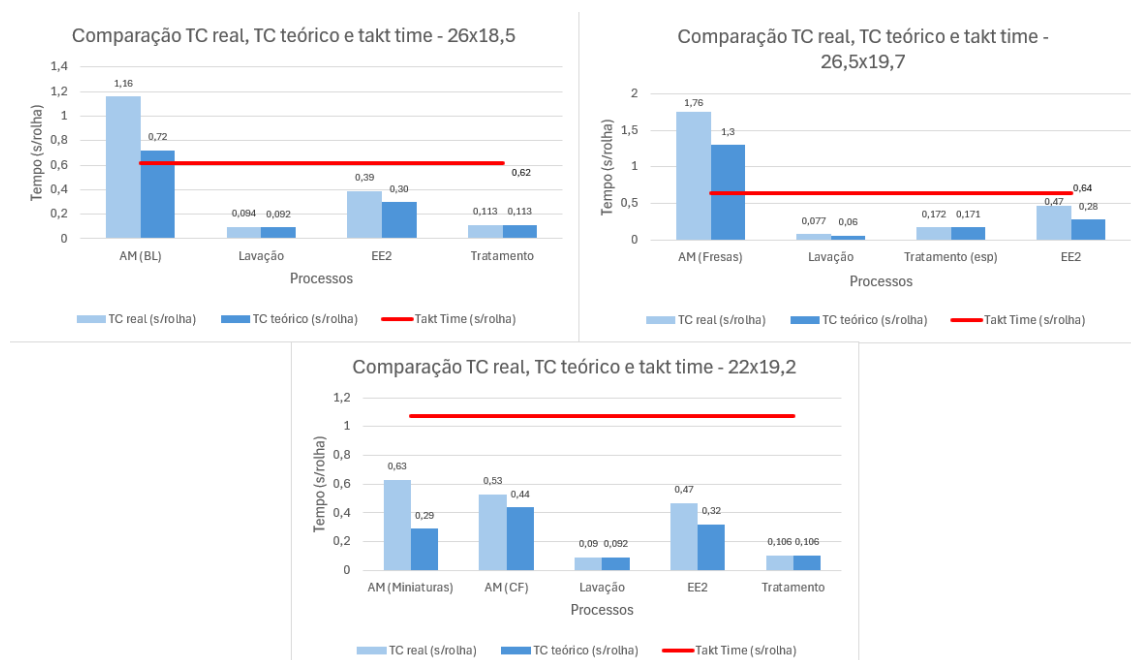


Figura 3.7: Comparação entre o tempo de ciclo real, o tempo de ciclo teórico e o *takt time* por processo.

Na referência NTTOP 22x19,2 CF, os tempos de ciclo reais mantêm-se abaixo do *takt time*. Ainda assim, o facto de o subprocesso CF operar apenas em 2 turnos reduz a sua margem real de resposta. Neste caso, o problema revela-se menos na capacidade instantânea das etapas e mais na organização global do fluxo.

Os gráficos das componentes do OEE reforçam esta leitura. Como se observa na Figura 3.8, os Acabamentos Mecânicos apresentam os valores mais baixos de desempenho global, com particular destaque para AM (Miniaturas) na referência NTTOP 22x19,2 CF, AM (BL) na NTTOP 26x18,5 BL e AM (Fresas) na NTTOP 26,5x19,7 BL. Os valores de disponibilidade, performance, qualidade e OEE encontram-se apresentados na Tabela C.10 do Anexo C.

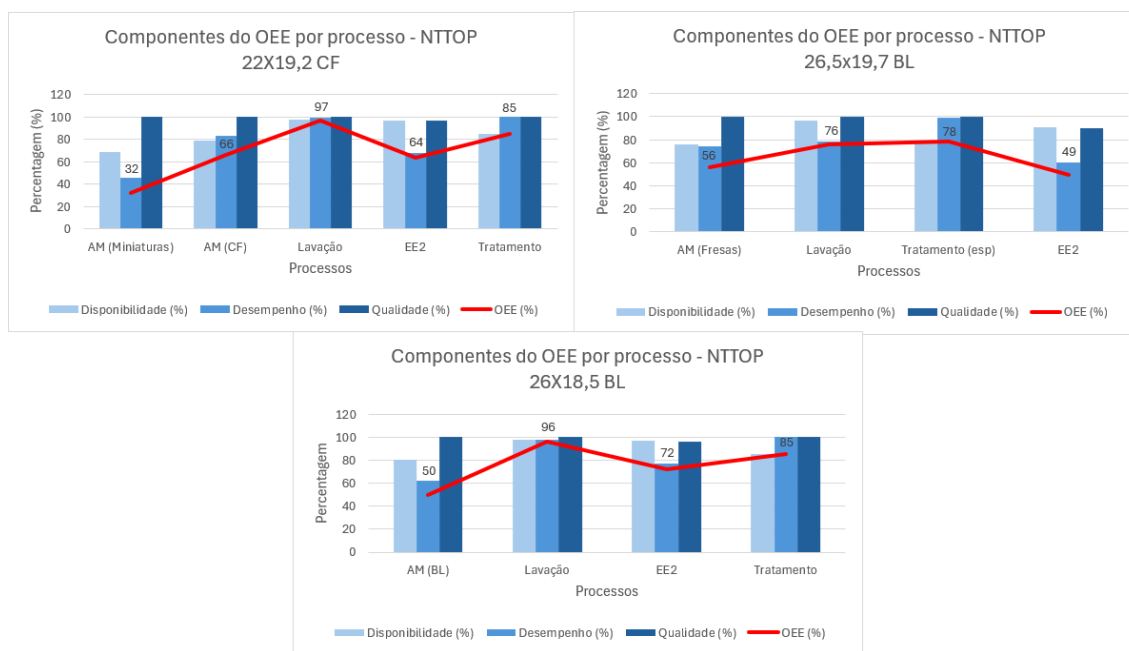


Figura 3.8: Disponibilidade, performance, qualidade e OEE dos processos analisados.

A Figura 3.8 mostra que a principal fragilidade se encontra nos Acabamentos Mecânicos, cujo OEE reduzido resulta sobretudo de menores níveis de disponibilidade e performance, uma vez que a qualidade se mantém elevada. As perdas de eficiência decorrem sobretudo da disponibilidade e da performance, sugerindo potencial de melhoria através da redução de paragens, maior estabilidade operacional e melhoria do ritmo produtivo. Estas melhorias poderão ter um impacto particularmente relevante no balanceamento global do sistema.

No conjunto, as Figuras 3.7 e 3.8 mostram que o sistema apresenta desequilíbrio entre etapas, quer pela existência de tempos de ciclo desajustados face à procura em alguns fluxos, quer pela concentração de perdas operacionais em processos específicos.

3.4.4 Análise de capacidade e adequação dos recursos à procura

Para complementar a leitura dos tempos de ciclo e do *takt time*, procedeu-se à análise da capacidade efetiva dos processos mais críticos, nomeadamente os Acabamentos Mecânicos e a

Escolha Eletrônica 2. Para esse efeito, foram considerados o número de máquinas equivalentes necessárias e o respetivo grau de cobertura da procura.

A Figura 3.9 apresenta a análise de capacidade, as máquinas equivalentes necessárias e o grau de cobertura da procura para os processos de Acabamentos Mecânicos e Escolha Eletrônica 2.

Referência	Processo	Subprocesso / Máquina de referência	TC teórico (s/rolha)	Capacidade nominal por máquina (rolhas/h)	OEE (%)	Capacidade efetiva por máquina (rolhas/h)	Nº máquinas disponíveis	Turnos	Horas/dia	Procura diária da referência (rolhas/dia)	Máquinas equivalentes necessárias	Grau de cobertura da procura (%)
NTTOP 22x19,2 CF	AM	Miniaturas	0,29	12414	32	3972	1	3	21	70796	0,85	117,8
	CF		0,44	8182	66	5400	1	2	14	70796	0,94	106,8
	EE2	EE2	0,32	11250	64	7200	5	3	21	70796	0,47	1067,9
NTTOP 26,5x19,7 BL	AM	Fresas	1,3	2769	56	1551	3	3	21	117309	3,60	83,3
	EE2	EE2	0,28	12857	49	6300	1	3	21	117309	0,89	112,8
NTTOP 26x18,5 BL	AM	BL	0,72	5000	50	2500	7	3	21	122566	2,33	299,8
	EE2	EE2	0,3	12000	72	8640	6	3	21	122566	0,68	888,2

Figura 3.9: Análise de capacidade, máquinas equivalentes necessárias e grau de cobertura da procura para AM e EE2.

A Figura 3.9 mostra que, na maioria dos casos, a dotação de recursos disponível é suficiente para satisfazer a procura das referências analisadas. No entanto, essa margem não é homogênea entre processos. O caso mais exigente corresponde ao AM (Fresas) da referência NTTOP 26,5x19,7 BL, que apresenta a menor robustez face à procura. Já na referência NTTOP 26x18,5 BL, o AM (BL) evidencia também uma necessidade de capacidade relativamente elevada, reforçando a sua criticidade no fluxo.

Na referência NTTOP 22x19,2 CF, tanto os subprocessos de AM como a EE2 apresentam cobertura superior à procura, sugerindo que os principais problemas desta referência se relacionam mais com a organização global do fluxo do que com insuficiência estrutural de capacidade.

Estes resultados mostram que a capacidade disponível do sistema, vista em termos agregados, tende a ser suficiente para responder à procura das referências analisadas. No entanto, a análise detalhada por processo revela que essa suficiência não é homogênea, existindo etapas com menor margem de segurança e maior sensibilidade às perdas operacionais. A questão central não é, por isso, apenas a existência de capacidade instalada, mas sobretudo a capacidade efetivamente utilizável.

Importa ainda referir que esta análise de capacidade ajuda a complementar a leitura do takt time, sobretudo nos processos com 2 turnos, em que a mera comparação entre tempo de ciclo e cadência global do fluxo não é suficiente para captar o esforço real exigido ao processo. A articulação entre tempos de ciclo, OEE e capacidade efetiva permite, assim, uma interpretação mais robusta das restrições do sistema.

3.4.5 Síntese dos principais desperdícios e constrangimentos do estado atual

A análise integrada dos mapas, das figuras e da tabela do estado atual permite identificar um conjunto coerente de problemas estruturais no fluxo produtivo. Estes constrangimentos não se manifestam de forma isolada, pelo contrário, reforçam-se mutuamente, contribuindo para um sistema com baixa fluidez, reduzida previsibilidade e maior sensibilidade à variabilidade operacional.

Em primeiro lugar, o tempo sem valor acrescentado domina claramente o lead time, confirmando que o principal desperdício do sistema é a espera. Em segundo lugar, observa-se acumulação de stock antes e entre processos, traduzindo inventário intermédio elevado e reduzida continuidade do fluxo.

Adicionalmente, a comparação entre tempos de ciclo, takt time e OEE mostra que os Acabamentos Mecânicos constituem a principal etapa crítica transversal aos fluxos analisados. Em algumas referências, esta criticidade manifesta-se diretamente no incumprimento do takt time, noutras, traduz-se sobretudo em perdas de disponibilidade e desempenho. A EE2 surge também como etapa sensível, particularmente na referência NTTOP 26,5x19,7 BL.

Por fim, a análise de capacidade mostra que, embora a dotação global de recursos seja, na maioria dos casos, suficiente para responder à procura, existem processos com menor margem de cobertura e maior sensibilidade às perdas operacionais. Assim, o problema do sistema não decorre apenas da capacidade instalada, mas da forma como essa capacidade é efetivamente utilizada.

Em síntese, o estado atual caracteriza-se por: elevado lead time com predominância de NVAT, forte acumulação de stock e longos tempos de permanência, desequilíbrio entre etapas e baixa fluidez do fluxo, Acabamentos Mecânicos como principal ponto crítico, necessidade de melhorar sincronização e balanceamento e visibilidade do desempenho.

Esta síntese constitui a base para o aprofundamento dos constrangimentos operacionais apresentados na secção seguinte e para o desenvolvimento do estado futuro, que deverá orientar-se para a redução de inventário intermédio, melhoria da fluidez entre etapas, reforço do balanceamento da capacidade e atuação sobre os processos críticos identificados.

3.5 Aprofundamento dos constrangimentos operacionais por setor

A análise dos VSM permitiu identificar os principais sintomas do problema ao nível do fluxo produtivo. No entanto, para compreender com maior detalhe as causas operacionais associadas a esses resultados, procedeu-se a um aprofundamento dos constrangimentos observados nos diferentes setores envolvidos no fluxo, com base em observação direta e em contributos recolhidos junto dos operadores e responsáveis de setor, com o objetivo de identificar dificuldades operacionais, limitações organizacionais e práticas de trabalho com impacto direto na fluidez do sistema. Esta abordagem permitiu passar de uma leitura global do fluxo para uma compreensão mais detalhada dos constrangimentos específicos que afetam o seu desempenho.

3.5.1 Receção e Armazenagem de Rolhas

Na Receção e Armazenagem de Rolhas foram identificados vários constrangimentos associados à gestão do espaço, à organização do stock e às condições de circulação e segurança.

Em primeiro lugar, observou-se uma falta de espaço associada ao excesso de stock, bem como a existência de material parado durante longos períodos, incluindo calibres alternativos com reduzida rotação. Esta situação dificulta a gestão visual do armazém, reduz a flexibilidade do espaço disponível e contribui para a permanência prolongada de material sem impacto imediato no fluxo.

Verificou-se também falta de organização na receção do material, agravada pela inexistência de um ponto definido para a sua etiquetagem à entrada. Como consequência, geram-se atrasos no registo em sistema e constrangimentos ao nível dos acessos e da circulação interna.

Foi igualmente observado que a chegada de mercadorias não é uniforme ao longo do dia, verificando-se uma concentração significativa das receções no período da tarde. Esta irregularidade tem impacto operacional, não só por gerar picos de entrada de material, mas também por coincidir com períodos em que os operadores já se encontram mais fatigados.

Do ponto de vista da segurança, foram ainda observadas situações de empilhamento pouco cuidado de big bags e sacos, bem como ocupação inadequada de zonas de passagem, aumentando o risco de acidente e dificultando a circulação de peões e meios de movimentação

No conjunto, estes problemas mostram que a receção e armazenagem de rolhas não funcionam apenas como uma zona passiva de entrada de material, mas como um ponto com influência direta na fluidez do sistema, na organização do stock e nas condições de segurança do fluxo a montante.

3.5.2 Acabamentos Mecânicos

Nos Acabamentos Mecânicos foi identificado um conjunto alargado de constrangimentos relacionados com a organização do trabalho, a capacitação da equipa, a estabilidade do processo, os meios de apoio operacional e a estruturação da informação.

Ao nível organizacional, verificou-se a ausência de standard work de equipa e de uma definição clara de tarefas, o que dificulta a distribuição consistente de responsabilidades, reduz a previsibilidade da resposta perante ocorrências operacionais e contribui para diferenças na forma como as atividades são executadas entre turnos ou entre equipas.

Do ponto de vista técnico, observaram-se várias fragilidades com impacto direto no desempenho do setor, nomeadamente falta de manutenção preventiva, aspiração insuficiente, velocidade inconstante das máquinas, encravamentos com baixa visibilidade nas fresas e ocorrência de micro-paragens imprevisíveis. Foi ainda referido que o sistema *andon* nem sempre reflete corretamente o estado real do equipamento, reduzindo a fiabilidade da sinalização e a eficácia da resposta operacional e comprometendo a sua utilidade como ferramenta de reação rápida.

Também foram identificadas limitações ao nível da formação da equipa, nomeadamente no domínio da qualidade. Em particular, foi referido que a verificação tende a centrar-se sobretudo nas medidas dimensionais, não existindo uma capacidade suficientemente desenvolvida para identificar de forma consistente situações em que a rolha apresenta problemas de transformação ou acabamento. Esta limitação é especialmente relevante porque reduz a capacidade do setor para detetar defeitos na origem e dificulta a prevenção de problemas que acabam por ser detetados em etapas posteriores, nomeadamente na Escolha Eletrónica.

Ainda no plano das competências, foi apontada a necessidade de reforço da formação dos afinadores. Visto que, em momentos em que estes profissionais não se encontram ocupados com afinações imediatas, poderiam ter um papel mais ativo em tarefas de manutenção. Esta observação sugere a existência de margem para um melhor aproveitamento dos recursos técnicos disponíveis no setor.

Foi também identificada falta de carros de apoio ao setor, o que condiciona a movimentação interna de material e pode introduzir atrasos e esperas adicionais entre operações.

Outro constrangimento importante prende-se com a insuficiente estruturação dos dados operacionais, a ausência de dashboards e de mecanismos de acompanhamento organizados, limita a visibilidade sobre o desempenho das linhas e dificulta a monitorização de perdas e anomalias. Em articulação com isto, foi também identificada uma falta de ligação entre os defeitos detetados na Escolha Eletrónica e as máquinas ou referências processadas nos Acabamentos Mecânicos, o que impede perceber de forma clara que equipamentos ou percursos produtivos estão a gerar maior incidência de defeitos a jusante.

Por fim, foi referido um problema de baixa motivação da equipa, o que, embora de natureza menos diretamente técnica, pode agravar dificuldades de resposta, reduzir o envolvimento na resolução de problemas e comprometer o esforço de melhoria contínua no setor.

No seu conjunto, estes constrangimentos ajudam a explicar a criticidade dos Acabamentos Mecânicos já evidenciada na análise dos VSM, reforçando o seu papel como etapa sensível do fluxo e como foco prioritário de diagnóstico aprofundado.

3.5.3 Lavação

Na Lavação foram identificados constrangimentos relacionados com os meios de acondicionamento e movimentação, a ocupação do espaço, a permanência de material no setor e a utilização do operador.

Um dos principais problemas observados prende-se com o facto de o material chegar frequentemente ao setor em big bags, solução pouco prática para a operação, sobretudo porque a máquina não permite descarregar novamente para big bags. Em paralelo, verificou-se também necessidade de transferir alguns sacos com peso excessivo para cestos, o que introduz manipulações adicionais e reduz a ergonomia do processo.

Foi igualmente identificada falta de carros de apoio, bem como ausência de espaço adequado para os carros vazios, devido à ocupação do setor por stock intermédio. Esta situação dificulta a circulação interna e condiciona a organização do espaço.

Outro aspeto relevante é a existência de rolhas já lavadas que permanecem demasiado tempo paradas no setor, contribuindo para a acumulação de inventário e para a ocupação de espaço útil. A este nível, foi também referido que nem sempre é assegurada a estabilização das rolhas após a lavação, apesar de esta poder ser necessária em função dos peróxidos e dos requisitos de determinados clientes.

Por fim, verificou-se um baixo tempo de ocupação do operador, uma vez que a longa duração dos ciclos faz com que este permaneça largos períodos sem atividade diretamente associada à operação.

No conjunto, estes problemas mostram que, apesar da boa capacidade do setor, a Lavação continua a apresentar constrangimentos logísticos e organizacionais com impacto na fluidez do material antes e depois da operação.

3.5.4 Escolha Eletrónica

Na Escolha Eletrónica foram identificados constrangimentos associados à movimentação de materiais, à ocupação do espaço e ao tratamento de rejeitados.

Ao nível da movimentação interna, foi referido que os meios atualmente disponíveis nem sempre são os mais adequados, verificando-se limitações associadas ao uso de porta-paletes manual, à falta de manutenção das rodas dos carros, o que dificulta o seu transporte e agrava a exigência física das movimentações. Para além disso, foi assinalada a necessidade de mais girafas/elevadores verticais para a escolha de rolhas neutras. Estas condições dificultam o transporte interno e aumentam o esforço exigido aos operadores.

Do ponto de vista do espaço disponível, foi observado que os lotes de pré-controlo e o stock parado ocupam uma parcela significativa da área do setor, reduzindo a sua organização e dificultando a circulação e separação clara entre materiais em diferentes estados de processamento.

Foi também identificado um constrangimento importante no tratamento dos big bags rejeitados, cujo encaminhamento atual é considerado pouco prático e pouco seguro para o operador. A ausência de meios adequados para esta operação introduz manipulações adicionais e agrava a dificuldade de gestão do material rejeitado.

Em síntese, os problemas observados na Escolha Eletrónica não se limitam ao processo de seleção em si, mas estendem-se à organização do setor, à movimentação interna e ao tratamento dos rejeitados, com impacto direto na eficiência operacional e na fluidez do sistema.

3.5.5 Especialidades e Tratamento

No setor das Especialidades e Tratamento foram identificados constrangimentos relacionados com a qualidade do material recebido, a ergonomia das operações e algumas limitações técnicas de processo.

Um dos aspetos referidos foi a chegada de rolhas lavadas com peróxidos ao setor, o que aponta para fragilidades na articulação com a etapa anterior e pode comprometer a estabilidade do processo.

Foi também observado que, para utilizar os tapetes da Escolha Manual, é necessário transferir o material de carros para cestos e, posteriormente, de cestos para a moega, o que constitui uma sequência de manipulações pouco prática e potenciadora de desperdício de movimentação.

Adicionalmente, foi referido que a abertura dos carros não é funcional, dificultando as operações de descarga e alimentação, e que nem todos os artigos podem ser processados no detetor de metais, o que constitui uma limitação técnica relevante do ponto de vista da uniformidade do controlo.

No conjunto, estes constrangimentos mostram que, para além do desempenho do Tratamento em si, existem dificuldades operacionais associadas à interface entre material, equipamentos e meios logísticos, com impacto na praticabilidade das operações e na continuidade do fluxo.

3.5.6 Constrangimentos transversais ao sistema

Para além dos problemas específicos identificados em cada setor, foram também observados constrangimentos transversais ao sistema, com impacto no comportamento global do fluxo produtivo.

Em primeiro lugar, verificou-se uma lógica de produção empurrada, o que dificulta a sincronização entre etapas e favorece a progressão do material sem alinhamento rigoroso com a necessidade real do processo seguinte.

Foi igualmente referida a existência de alterações frequentes no plano de produção, aspeto que reduz a previsibilidade do sistema e aumenta a necessidade de ajustamentos reativos.

Outro problema relevante prende-se com a falta de sincronismo entre produção e qualidade, tendo sido referido que, em alguns casos, o material prossegue no fluxo sem aprovação formal. Esta situação representa uma fragilidade do ponto de vista do controlo do processo e da gestão da não conformidade.

Foram ainda identificadas limitações ao nível da fiabilidade da informação de suporte à operação, nomeadamente ausência de dados robustos sobre perdas de OEE, parâmetros de stock desatualizados e inconsistências na informação associada a algumas referências, incluindo divergências entre a configuração registada e o processo efetivamente executado.

Por fim, verificou-se também a existência de produto acabado parado por espera de transporte, o que mostra que as perdas de fluidez não se concentram apenas no interior do processo produtivo, estendendo-se igualmente à interface com a expedição.

No seu conjunto, estes constrangimentos ajudam a explicar por que razão os problemas observados nos VSM não resultam apenas do desempenho isolado de determinadas etapas, mas também de falhas de articulação, visibilidade e controlo ao nível global do sistema.

3.5.7 Síntese do aprofundamento setorial

O aprofundamento dos constrangimentos operacionais por setor permitiu detalhar as causas subjacentes aos problemas identificados na análise dos VSM. Em particular, confirmou-se que os baixos níveis de fluidez, a acumulação de stock e o desequilíbrio entre etapas resultam de uma combinação de fragilidades locais e problemas transversais ao sistema.

Os Acabamentos Mecânicos destacam-se como o setor mais crítico, não apenas pelos resultados observados nos indicadores de desempenho, mas também pela concentração de dificuldades ao nível da organização do trabalho, da manutenção, da capacitação técnica e da visibilidade operacional. A Escolha Eletrónica e a Receção surgem igualmente como áreas com impacto relevante na organização do fluxo, enquanto a Lavagem e as Especialidades/Tratamento apresentam constrangimentos mais associados à logística interna, à ocupação do espaço e à praticabilidade das operações.

Esta leitura mais detalhada do estado atual permite, assim, consolidar o diagnóstico desenvolvido no presente capítulo e criar a base para a definição das propostas de melhoria a apresentar no Capítulo 4.

Capítulo 4

Propostas de melhoria

O presente capítulo apresenta as propostas de melhoria desenvolvidas com base no diagnóstico do estado atual. As soluções propostas visam reduzir os principais desperdícios identificados, melhorar a sincronização entre processos e promover uma gestão mais eficiente dos materiais.

Ao longo do capítulo são abordadas as principais ações desenvolvidas, incluindo a construção dos mapas do estado futuro, o dimensionamento de supermercados, a definição de níveis de stock, a reorganização do armazém, a redefinição da rota de reaproveitamento dos defeitos dimensionais e a análise dos Acabamentos Mecânicos. Por fim, é apresentado o impacto esperado das melhorias propostas nos principais indicadores de desempenho.

4.1 Enquadramento das propostas de melhoria

A análise do estado atual permitiu identificar um conjunto de oportunidades de melhoria associadas ao elevado *lead time* e à reduzida sincronização do fluxo produtivo das referências estudadas. Os resultados obtidos através dos *Value Stream Maps* evidenciaram a predominância de tempo sem valor acrescentado, associada principalmente à acumulação de stock intermédio entre processos e à existência de fluxos de materiais e informação pouco sincronizados.

Com o objetivo de estruturar os problemas identificados e suportar a definição das propostas de melhoria, foi desenvolvida uma análise A3. Esta ferramenta permitiu consolidar as principais causas associadas ao desempenho atual do fluxo produtivo, recorrendo a um diagrama de Ishikawa e à metodologia dos 5 *Whys* para identificação das causas raiz.

A análise A3 desenvolvida no âmbito do projeto encontra-se apresentada na Figura D.1 do Anexo D, onde se encontram sintetizados o problema, a análise de causas, as contramedidas propostas e o plano de implementação associado. De forma complementar, o diagrama de Ishikawa e a análise dos 5 *Whys* encontram-se apresentados nas Figuras D.2 e D.3 do Anexo D, respetivamente.

Com base nos resultados obtidos, foram definidas propostas de melhoria focadas na implementação de mecanismos *pull* entre processos, na melhoria da gestão de stocks intermédios, na

reorganização física do supermercado dos Acabamentos Mecânicos, na melhoria do fluxo de reaproveitamento dos defeitos dimensionais e na identificação de oportunidades de melhoria operacional nos Acabamentos Mecânicos.

4.2 Construção dos estados futuros dos fluxos produtivos

Com base nos problemas identificados durante a análise do estado atual e nas oportunidades de melhoria definidas através da análise A3, procedeu-se ao desenvolvimento dos estados futuros para as referências 26x18,5 BL, 26,5x19,7 BL e 22x19,2 CF.

A construção dos *Value Stream Maps* futuros teve como principal objetivo promover uma maior sincronização entre processos, reduzir os níveis de stock intermédio e diminuir o *lead time* associado ao fluxo produtivo. Para tal, foram incorporadas diferentes propostas de melhoria, incluindo a implementação de supermercados com sistema *Kanban* entre processos, a definição de níveis mínimos de stock antes dos Acabamentos Mecânicos, a reorganização física do supermercado deste setor e a melhoria do fluxo de reaproveitamento dos defeitos dimensionais após a Escolha Eletrónica 2.

A implementação de supermercados permite desacoplar processos com capacidades produtivas distintas, assegurando simultaneamente a disponibilidade de material para os processos clientes e reduzindo a acumulação excessiva de stock ao longo do fluxo. Por sua vez, a utilização de mecanismos *Kanban* possibilita a reposição de material com base no consumo efetivo, promovendo a transição de uma lógica de produção empurrada para uma lógica *pull*.

A Figura 4.1 apresenta o VSM do estado futuro da referência 26x18,5 BL, selecionado como exemplo representativo das melhorias propostas. Este mapa evidencia a integração dos mecanismos *pull*, a definição de supermercados intermédios e a redução dos níveis de stock ao longo do fluxo produtivo.

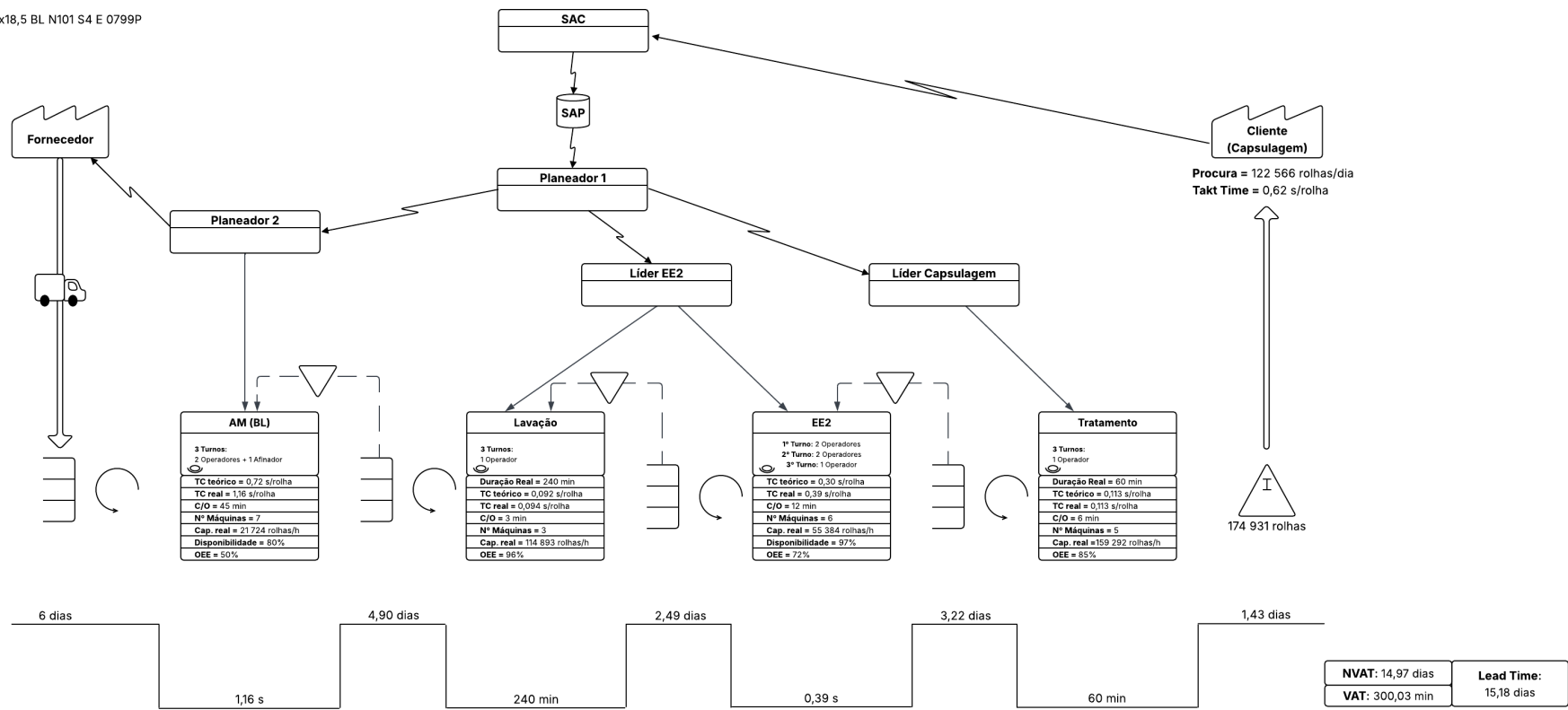


Figura 4.1: VSM do estado futuro da referência 26x18,5 BL.

Os mapas do estado futuro correspondentes às restantes referências analisadas, 26,5x19,7 BL e 22x19,2 CF, encontram-se apresentados nas Figuras E.1 e E.2 do Anexo E, respetivamente.

A partir dos estados futuros definidos, procedeu-se ao dimensionamento dos supermercados e ao desenvolvimento detalhado das restantes propostas de melhoria apresentadas nas secções seguintes.

4.3 Dimensionamento dos supermercados

Após a definição do estado futuro, procedeu-se ao dimensionamento dos supermercados propostos com o objetivo de garantir o abastecimento entre processos, reduzindo simultaneamente os níveis de inventário intermédio e o risco de ocorrência de ruturas.

O dimensionamento foi realizado para cada uma das referências em estudo, tendo sido definidos os parâmetros necessários ao funcionamento do sistema *pull*: o lote de reposição (Q), o *lead time* de reposição (LT), o stock de segurança (*Buffer*) e o ponto de encomenda (*ROP*).

Numa primeira fase, foi analisado o histórico de procura dos três primeiros meses de 2026 para cada referência. De forma a refletir as perdas verificadas ao longo do processo produtivo, a procura observada foi corrigida considerando as taxas de rejeição existentes nos processos a jusante. A procura corrigida foi posteriormente utilizada para calcular a procura média diária e o respetivo desvio padrão.

O lote de reposição foi definido de acordo com as características operacionais de cada processo, nomeadamente as quantidades produzidas por lote e a forma de movimentação do material entre operações. O *lead time* de reposição corresponde ao tempo necessário para produzir e disponibilizar um lote completo ao supermercado e foi expresso em dias úteis.

O stock de segurança foi calculado com base na variabilidade da procura e no *lead time* de reposição, recorrendo à Equação 4.1.

$$Buffer = 2 \times \sigma \times \sqrt{LT} \quad (4.1)$$

em que *Buffer* representa o stock de segurança, σ corresponde ao desvio padrão da procura diária corrigida e LT representa o *lead time* de reposição expresso em dias. A utilização do fator 2 permite assegurar um elevado nível de serviço, reduzindo a probabilidade de ocorrência de ruturas provocadas por flutuações da procura durante o período de reposição.

Após a determinação do stock de segurança, foi calculada a procura esperada durante o *lead time* através da Equação 4.2.

$$D_{LT} = d \times LT \quad (4.2)$$

onde D_{LT} representa a procura esperada durante o *lead time*, d corresponde à procura média diária corrigida e LT ao *lead time* de reposição.

O ponto de encomenda foi posteriormente determinado através da soma do stock de segurança com a procura esperada durante o *lead time*, conforme apresentado na Equação 4.3.

$$ROP = Buffer + D_{LT} \quad (4.3)$$

Sempre que o nível de stock disponível num supermercado atinge este valor, é emitida uma ordem de reposição correspondente ao lote previamente definido.

Por fim, o stock máximo admissível em cada supermercado foi calculado através da Equação 4.4.

$$Stock_{max} = ROP + Q \quad (4.4)$$

em que Q representa o lote de reposição. Desta forma, cada supermercado opera entre o stock máximo e o ponto de encomenda, assegurando a reposição do material apenas quando necessário e suportando a implementação do sistema *pull* proposto.

A validação dos supermercados foi realizada através de uma simulação desenvolvida em Python. A simulação reproduziu o comportamento dos supermercados ao longo dos 59 dias úteis analisados, utilizando os dados reais de procura diária observados no período em estudo. Sempre que o nível de stock atingia o ponto de encomenda, era desencadeada uma ordem de reposição correspondente ao lote previamente definido, sendo a sua chegada ao supermercado condicionada pelo respetivo *lead time* de reposição. Durante a simulação foram monitorizados os níveis de stock, a ocorrência de ruturas e a duração de cada episódio de rutura.

As secções seguintes apresentam o dimensionamento efetuado para cada uma das referências analisadas.

4.3.1 Dimensionamento e validação dos supermercados da referência 22x19,2

Para a referência 22x19,2 foi analisado o histórico de procura dos três primeiros meses de 2026, durante os quais foram expedidas 3 294 350 rolhas ao cliente final. Considerando os 59 dias úteis observados, obteve-se uma procura média diária de 55 836 rolhas. De forma a refletir as perdas verificadas ao longo do processo produtivo, a procura foi corrigida considerando perdas de 1% na Capsulagem e de 3,17% na Escolha Eletrónica 2, resultando numa procura média diária corrigida de 58 247 rolhas.

Com base na procura corrigida e nos *lead times* de reposição de cada processo, foram dimensionados os supermercados propostos entre os Acabamentos Mecânicos e a Lavação, entre a Lavação e a Escolha Eletrónica 2 e entre a Escolha Eletrónica 2 e o Tratamento. O stock de segurança foi calculado através da Equação 4.1, sendo posteriormente determinado o respetivo ponto de encomenda.

A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros obtidos para cada supermercado.

Tabela 4.1: Parâmetros de dimensionamento dos supermercados da referência 22x19,2.

Supermercado	Q (rolhas)	LT (dias)	Buffer (rolhas)	ROP (rolhas)
AM - Lavação	150 000	1,25	150 000	222 809
Lavação - EE2	150 000	0,18	44 554	55 038
EE2 - Tratamento	75 000	0,47	71 208	98 584

Após o dimensionamento, os supermercados foram avaliados através de simulação utilizando os dados reais de procura observados durante o período em análise. Os resultados obtidos demonstraram que os parâmetros definidos foram suficientes para assegurar o abastecimento entre processos, não se verificando qualquer situação de rutura em nenhum dos supermercados analisados.

Desta forma, conclui-se que o dimensionamento realizado para a referência 22x19,2 garante a robustez necessária ao funcionamento do sistema *pull* proposto, assegurando a disponibilidade de material ao longo do fluxo produtivo sem necessidade de aumentar os níveis de inventário definidos.

4.3.2 Dimensionamento e validação dos supermercados da referência 26x18,5

Para a referência 26x18,5 foi analisado o histórico de procura dos três primeiros meses de 2026, durante os quais foram expedidas 11 412 814 rolhas ao cliente final. Considerando os 59 dias úteis observados e as perdas de 1% na Capsulagem e 3,62% na Escolha Eletrónica 2, foi obtida uma procura média diária corrigida de 201 788 rolhas.

Com base nesta procura foram dimensionados os supermercados localizados entre os Acabamentos Mecânicos e a Lavação, entre a Lavação e a Escolha Eletrónica 2 e entre a Escolha Eletrónica 2 e o Tratamento. Os stocks de segurança foram calculados através da Equação 4.1 e os respetivos pontos de encomenda foram determinados de acordo com a metodologia apresentada na Secção 4.3.

Após uma primeira simulação, verificou-se que os parâmetros inicialmente definidos não eram suficientes para garantir a estabilidade do sistema, registando-se situações de rutura associadas à elevada variabilidade da procura desta referência. Perante estes resultados, procedeu-se ao ajustamento dos parâmetros de dimensionamento.

No supermercado entre a Escolha Eletrónica 2 e o Tratamento, o lote de reposição foi aumentado para 150 000 rolhas, mantendo-se um buffer de 166 066 rolhas. No supermercado entre a Lavação e a Escolha Eletrónica 2 foi mantido um lote de reposição de 150 000 rolhas e um buffer de 116 520 rolhas. Por sua vez, no supermercado entre os Acabamentos Mecânicos e a Lavação foi considerado um lote de reposição de 300 000 rolhas e um buffer de 300 000 rolhas, assumindo a operação simultânea de quatro máquinas nos Acabamentos Mecânicos.

A Tabela 4.2 apresenta os parâmetros finais utilizados no dimensionamento dos supermercados da referência 26x18,5.

Tabela 4.2: Parâmetros finais de dimensionamento dos supermercados da referência 26x18,5.

Supermercado	Q (rolhas)	LT (dias)	Buffer (rolhas)	ROP (rolhas)
AM - Lavação	300 000	1,15	300 000	532 056
Lavação - EE2	150 000	0,19	116 520	154 860
EE2 - Tratamento	150 000	0,39	166 066	244 763

Os parâmetros definidos foram posteriormente avaliados através de simulação utilizando os dados reais de procura observados durante o período em análise. Os resultados obtidos demonstraram a eliminação das ruturas no supermercado entre a Escolha Eletrónica 2 e o Tratamento e a inexistência de ruturas no supermercado entre a Lavação e a Escolha Eletrónica 2.

No supermercado entre os Acabamentos Mecânicos e a Lavação registaram-se três episódios de rutura, todos com duração aproximada de uma hora. No entanto, estas ocorrências não comprometeram o abastecimento dos processos a jusante, uma vez que o stock disponível nos restantes supermercados permitiu absorver as flutuações verificadas. Consequentemente, não se registaram ruturas no abastecimento ao Tratamento, garantindo-se o cumprimento do fluxo produtivo previsto.

Deste modo, considera-se que a solução proposta apresenta um desempenho satisfatório para a referência 26x18,5, assegurando o funcionamento do sistema *pull* e reduzindo significativamente o risco de interrupção do fluxo produtivo.

4.3.3 Dimensionamento e validação dos supermercados da referência 26,5x19,7

Para a referência 26,5x19,7 foi analisado o histórico de procura dos três primeiros meses de 2026. Neste caso, a procura foi corrigida considerando apenas as perdas verificadas na Escolha Eletrónica 2, correspondentes a 10,34%, tendo-se obtido uma procura média diária corrigida de 141 870 rolhas/dia.

Com base na procura corrigida e nos respetivos *lead times* de reposição, foram dimensionados os supermercados localizados entre os Acabamentos Mecânicos e a Lavação, entre a Lavação e o Tratamento e entre o Tratamento e a Escolha Eletrónica 2. Os stocks de segurança foram calculados através da Equação 4.1 e os pontos de encomenda foram determinados de acordo com a metodologia apresentada na Secção 4.3.

Após uma primeira análise dos resultados de simulação, procedeu-se ao ajustamento dos parâmetros de dimensionamento de forma a aumentar a robustez do sistema perante a variabilidade da procura observada. A Tabela 4.3 apresenta os parâmetros finais considerados para esta referência.

Tabela 4.3: Parâmetros finais de dimensionamento dos supermercados da referência 26,5x19,7.

Supermercado	Q (rolhas)	LT (dias)	Buffer (rolhas)	ROP (rolhas)
AM - Lavação	300 000	1,75	150 000	398 273
Lavação - Tratamento	150 000	0,14	59 400	79 262
Tratamento - EE2	75 000	0,17	64 811	88 929

Os parâmetros definidos foram posteriormente avaliados através de simulação utilizando os dados reais de procura observados durante o período em análise. Os resultados demonstraram a inexistência de ruturas nos supermercados localizados entre o Tratamento e a Escolha Eletrónica 2 e entre a Lavação e o Tratamento, garantindo o abastecimento contínuo destes processos.

No supermercado entre os Acabamentos Mecânicos e a Lavação registaram-se quatro episódios de rutura. No entanto, à semelhança do observado para a referência 26x18,5, estas ocorrências não tiveram impacto no abastecimento dos processos a jusante, uma vez que os supermercados seguintes absorveram as oscilações verificadas. Consequentemente, não se registaram ruturas no processo final de Tratamento, garantindo-se o cumprimento dos requisitos de abastecimento ao longo de todo o fluxo produtivo.

Deste modo, considera-se que os parâmetros finais definidos apresentam um desempenho satisfatório para a referência 26,5x19,7, assegurando a implementação do sistema *pull* proposto e a continuidade do fluxo produtivo, apesar da ocorrência pontual de ruturas no supermercado mais a montante da cadeia.

4.4 Definição do stock mínimo antes dos Acabamentos Mecânicos

A análise do stock de matéria-prima existente antes do setor dos Acabamentos Mecânicos permitiu verificar que os níveis de stock de segurança das rolhas naturais se encontravam desatualizados face às necessidades atuais de produção. Adicionalmente, constatou-se a existência de materiais armazenados sem necessidade operacional imediata, bem como a ausência de critérios definidos para alguns artigos. No caso das rolhas neutras, verificou-se inclusivamente a inexistência de níveis de stock de segurança formalmente definidos.

Com o objetivo de adequar os níveis de inventário às necessidades reais do processo produtivo, procedeu-se à redefinição dos stocks de segurança dos principais artigos consumidos pelo setor. Para tal, foram analisados os consumos registados durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2026, utilizando-se esta informação como base para o dimensionamento das novas quantidades.

Para além dos padrões de consumo observados, a definição dos níveis de stock de segurança teve igualmente em consideração a necessidade de proteger o processo produtivo contra eventuais falhas de abastecimento por parte dos fornecedores. Durante o período de análise verificou-se a ocorrência pontual de atrasos e incumprimentos nas entregas de matéria-prima, situação particularmente relevante no caso das rolhas neutras. Neste contexto, os níveis de stock de segurança

foram dimensionados para assegurar aproximadamente cinco dias de consumo, garantindo simultaneamente a cobertura das necessidades produtivas e uma proteção adequada perante possíveis perturbações no abastecimento externo.

A Tabela 4.4 apresenta a comparação entre os níveis de stock de segurança anteriormente definidos para as rolhas naturais e os novos valores propostos.

Tabela 4.4: Comparação dos níveis de stock de segurança das rolhas naturais.

Material	Situação anterior (rolhas)	Situação proposta (rolhas)
RT NAT 30X21 FLOR/EXT	200 000	150 000
RT NAT 30X21 EXT/SUP	700 000	600 000
RT NAT 30X21 SUP/1	350 000	250 000
RT NAT 30X21 1/2	100 000	100 000
RT NAT 30X21 2/3	–	100 000
RT NAT 30X21 1/2 BA	–	150 000
RT NAT 30X21 2/3 BA	–	250 000
RT NAT 30X24 FLOR/EXT	120 000	120 000
RT NAT 30X24 EXT/SUP	320 000	225 000
RT NAT 30X24 SUP/1	320 000	270 000
RT NAT 30X24 1/2	120 000	90 000
Total	2 230 000	2 305 000
Custo	114 568 €	102 325 €

Embora o volume total de stock de segurança definido para as rolhas naturais tenha aumentado ligeiramente, passando de 2 230 000 para 2 305 000 rolhas, este aumento resulta da inclusão de novos artigos que anteriormente não possuíam qualquer cobertura de stock de segurança. Desta forma, a proposta passa a abranger um conjunto mais alargado de referências, refletindo de forma mais adequada a realidade produtiva atual e garantindo uma cobertura mais equilibrada das necessidades do setor.

Importa ainda salientar que, apesar do aumento do volume total armazenado, o custo associado ao stock de segurança foi reduzido de 114 568 € para 102 325 €, correspondendo a uma diminuição de aproximadamente 10,7%. Esta redução demonstra que a proposta permite uma melhor distribuição do inventário pelos artigos efetivamente consumidos, reduzindo simultaneamente o capital empatado em stock.

Relativamente às rolhas neutras, foram definidos pela primeira vez níveis de stock de segurança para os principais artigos consumidos pelo setor, apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Níveis de stock de segurança definidos para as rolhas neutras.

Material	Stock de Segurança (rolhas)
RT NTTOP 29X22	3 050 000
RT NTTOP 31X26	1 200 000
RT NTTOP 31X22	350 000
Total	4 600 000
Custo	171 909 €

A definição destes níveis de stock permite assegurar uma cobertura adequada das necessidades de produção das rolhas neutras, reduzindo o risco de ruturas e minimizando o impacto de eventuais falhas de abastecimento por parte dos fornecedores. Considerando o histórico de incumprimentos verificado para alguns fornecedores, os níveis definidos garantem autonomia, aumentando a robustez do sistema de abastecimento e contribuindo para uma maior estabilidade do fluxo produtivo.

4.5 Reorganização e normalização do armazém de matéria-prima

Após a definição dos níveis de stock de segurança apresentados na Secção 4.4, tornou-se necessário avaliar a capacidade de armazenamento disponível e definir uma organização estruturada para os materiais armazenados antes dos Acabamentos Mecânicos.

A análise realizada ao armazém permitiu verificar que os diferentes artigos se encontravam distribuídos por várias zonas sem localizações previamente definidas. Como consequência, o mesmo material podia ser armazenado em posições distintas ao longo do tempo, dificultando a sua identificação e aumentando o tempo necessário para as operações de procura e abastecimento. Esta situação comprometia igualmente a gestão visual do armazém e dificultava o controlo dos níveis de inventário existentes.

Numa primeira fase foi efetuado o levantamento de todos os espaços de armazenamento disponíveis, contabilizando-se o número de posições de palete existentes nas diferentes zonas do armazém. Este levantamento permitiu determinar a capacidade efetiva disponível e encontra-se apresentado na Figura F.1 do Anexo F.

Posteriormente, com base nos níveis de stock de segurança definidos para cada artigo e considerando a quantidade de rolhas armazenadas por *big bag* ou saco para cada calibre, foi calculado o número de espaços necessários para acomodar os materiais em stock. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Necessidades de armazenamento dos artigos definidos para stock de segurança.

Artigo	Qtd./Big Bag ou Saco	SS (rolhas)	Qtd. Big Bags/Sacos por Espaço	Nº Big Bags/ Sacos	Nº Espaços
RT NAT 30X21 FLOR EXT	10 000	150 000	10	15	2
RT NAT 30X21 EXT SUP	50 000	600 000	2	12	6
RT NAT 30X21 SUP 1	50 000	250 000	2	5	3
RT NAT 30X21 1 2	50 000	100 000	2	2	1
RT NAT 30X21 2 3	50 000	100 000	2	2	1
RT NAT 30X21 1 2 BA	50 000	150 000	2	3	2
RT NAT 30X21 2 3 BA	50 000	250 000	2	5	3
RT NAT 30X24 FLOR EXT	8 000	120 000	10	15	2
RT NAT 30X24 EXT SUP	45 000	225 000	2	5	3
RT NAT 30X24 SUP 1	45 000	270 000	2	6	3
RT NAT 30X24 1 2	45 000	90 000	2	2	1
RT NTTOP 29X22	50 000	3 050 000	2	61	31
RT NTTOP 31X26	30 000	1 200 000	2	40	20
RT NTTOP 31X22	50 000	350 000	2	7	4

Com base nestes resultados procedeu-se à atribuição de localizações específicas para cada artigo. A seleção das zonas de armazenamento teve em consideração não apenas a disponibilidade de espaço, mas também a proximidade ao setor dos Acabamentos Mecânicos, procurando minimizar as deslocações necessárias durante as operações de abastecimento e reduzir os tempos de movimentação de materiais.

A distribuição final dos artigos pelas diferentes localizações encontra-se apresentada na Figura F.2 do Anexo F, onde é possível observar os espaços selecionados para cada referência e a respetiva ocupação prevista.

A reorganização proposta foi desenvolvida segundo os princípios da metodologia 5S, promovendo a eliminação de desperdícios associados à procura de materiais, a melhoria da organização do espaço e o reforço da gestão visual. Para além da definição de localizações fixas para os diferentes artigos, foram introduzidos mecanismos de identificação visual dos corredores e dos espaços de armazenamento, permitindo uma localização mais rápida dos materiais e um melhor controlo dos níveis de inventário.

Durante esta análise foi ainda possível identificar materiais armazenados sem consumo previsto a curto prazo, os quais ocupavam espaço útil sem acrescentar valor ao processo produtivo. A identificação destes casos permitiu evidenciar oportunidades adicionais de racionalização do espaço disponível e de melhoria da gestão de inventário.

Os principais problemas identificados antes da reorganização, bem como exemplos visuais da situação observada antes e após a implementação da proposta, encontram-se apresentados na Figura F.3 do Anexo F. Entre os principais problemas observados destacavam-se a obstrução dos corredores por material armazenado fora das posições definidas, a ausência de identificação dos corredores e a presença de sacos e *big bags* incorretamente empilhados. Estas situações dificultavam a circulação, aumentavam o tempo necessário para localizar materiais e comprometiam a eficácia da gestão visual do armazém.

4.6 Redefinição da rota de reaproveitamento após a Escolha Eletrónica 2

Durante a análise do fluxo produtivo foi identificada uma oportunidade de melhoria associada ao tratamento das rolhas neutras rejeitadas na Escolha Eletrónica 2 (EE2) por defeitos dimensionais.

Atualmente, estas rolhas são encaminhadas para o armazém de pilhas, sendo posteriormente utilizadas na produção de rolhas de calibre inferior na máquina das miniaturas dos Acabamentos Mecânicos. Após esta operação, as rolhas seguem para a Lavação e regressam à Escolha para nova classificação.

Embora este percurso permita recuperar parte do valor do produto, implica operações adicionais de transporte, armazenamento e reprocessamento. Para além disso, durante a passagem pelos Acabamentos Mecânicos e pela Escolha ocorrem perdas de produto que reduzem o rendimento global do processo. Para efeitos da análise efetuada foi considerada uma perda de 10% durante o reprocessamento nos Acabamentos Mecânicos e uma perda adicional de 3,17% durante a nova passagem pela Escolha.

Face a esta situação, foi estudada uma alternativa baseada na reutilização direta das rolhas rejeitadas por defeitos dimensionais em referências com calibres próximos do calibre original. Esta proposta assenta no facto de uma parte significativa das rejeições corresponder a desvios dimensionais reduzidos ou falsas rejeições, pelo que rolhas rejeitadas para uma determinada referência podem cumprir os requisitos dimensionais de outra referência semelhante.

Neste novo percurso, as rolhas rejeitadas na EE2 são encaminhadas diretamente para nova classificação, eliminando a necessidade de passagem pelos Acabamentos Mecânicos, pela Lavação e pelas operações logísticas intermédias associadas. Para esta alternativa foi considerada uma perda de 10% durante a nova passagem pela Escolha.

A análise foi realizada para os principais artigos da classe A das rolhas neutras, tendo sido identificadas, para cada referência, as potenciais referências de destino compatíveis com as suas características, tendo estas de possuir o mesmo acabamento, lavação e, em alguns casos, tratamento da referência inicial. Posteriormente foi efetuada uma comparação económica entre o percurso atualmente utilizado e a alternativa proposta.

Para o percurso atualmente utilizado, o valor líquido recuperado foi calculado através da Equação 4.5.

$$VL_1 = Q \times R_{AM} \times R_{ESC} \times P_1 \quad (4.5)$$

em que Q representa a quantidade inicial de rolhas rejeitadas, R_{AM} representa o rendimento nos Acabamentos Mecânicos, correspondente a 90%, R_{ESC} representa o rendimento da Escolha, correspondente a 96,83%, e P_1 representa o valor de venda da referência obtida após o reprocessamento.

Para a alternativa proposta, o valor líquido recuperado foi determinado pela Equação 4.6.

$$VL_2 = Q \times R_{ESC2} \times P_2 \quad (4.6)$$

em que R_{ESC2} representa o rendimento da nova passagem pela Escolha, correspondente a 90%, e P_2 representa o valor de venda da referência obtida através da reclassificação direta.

No caso do percurso atualmente utilizado foram ainda considerados os custos associados aos Acabamentos Mecânicos e à Lavação. Enquanto o custo dos Acabamentos Mecânicos incide sobre a totalidade das rolhas rejeitadas, o custo da Lavação apenas é aplicado às rolhas que permanecem no processo após o reprocessamento mecânico. Assim, o custo total de reprocessamento foi calculado através da Equação 4.7.

$$C_{RP} = Q \times C_{AM} + (Q \times R_{AM}) \times C_{Lav} \quad (4.7)$$

em que C_{AM} corresponde ao custo dos Acabamentos Mecânicos, de 0,79 €/ML, e C_{Lav} corresponde ao custo da Lavação, de 0,33 €/ML.

O ganho económico associado à proposta foi obtido através da diferença entre o valor líquido recuperado em cada alternativa, descontando os custos de reprocessamento do percurso atualmente utilizado, conforme apresentado na Equação 4.8.

$$G = VL_2 - (VL_1 - C_{RP}) \quad (4.8)$$

A Tabela G.1 do Anexo G apresenta as referências analisadas, bem como as potenciais referências de destino identificadas para o reaproveitamento dos defeitos dimensionais. Dependendo do sentido do desvio dimensional observado, por excesso ou por défice dimensional, as rolhas podem ser reclassificadas para referências com calibres próximos, evitando o reprocessamento através dos Acabamentos Mecânicos e da Lavação. Para cada caso é igualmente apresentado o ganho económico estimado por mil rolhas face ao percurso atualmente utilizado.

Os resultados obtidos demonstraram que a reutilização direta através da reclassificação em referências compatíveis apresenta vantagens económicas em todos os casos analisados. Para além da eliminação dos custos associados aos Acabamentos Mecânicos e à Lavação, esta solução reduz as movimentações internas de material e diminui o tempo necessário para a recuperação das rolhas rejeitadas.

Com o objetivo de avaliar o impacto potencial da implementação desta proposta, os ganhos obtidos para cada referência foram extrapolados para as quantidades previstas no orçamento de produção de 2026. Com base nesta análise, estimou-se que a adoção desta nova rota de reaproveitamento poderia gerar um benefício económico anual de aproximadamente 16 508,58 €.

Para além do ganho monetário identificado, a solução proposta contribui para a simplificação do fluxo produtivo, eliminando operações de reprocessamento desnecessárias e reduzindo atividades de transporte, armazenamento intermédio e movimentação de materiais. Desta forma, promove-se uma utilização mais eficiente dos recursos produtivos e uma recuperação de valor mais eficaz para as rolhas rejeitadas por defeitos dimensionais.

4.7 Análise dos Acabamentos Mecânicos

Durante a construção dos *Value Stream Maps* do estado atual verificou-se que os Acabamentos Mecânicos apresentavam geralmente valores de OEE inferiores aos observados nos restantes setores do fluxo produtivo. Esta situação evidenciava a existência de oportunidades de melhoria associadas ao desempenho operacional do setor e justificou a realização de uma análise mais detalhada às atividades desenvolvidas pelos operadores e ao comportamento das máquinas.

Com o objetivo de identificar os principais fatores que influenciam o desempenho dos Acabamentos Mecânicos, foi realizada uma análise às atividades executadas pelos operadores, aos tempos associados à gestão de paragens e ao desempenho das diferentes máquinas do setor.

Esta análise procurou compreender de que forma a distribuição do tempo dos operadores e a organização das tarefas influenciam a capacidade de monitorização das máquinas e a resposta a anomalias, fatores que apresentam impacto direto na produtividade do setor e, consequentemente, no OEE observado.

4.7.1 Análise da ocupação dos operadores e das deslocações

Numa primeira fase foram realizados estudos de ocupação dos operadores das boleadeiras e das chanfradeiras, classificando as atividades observadas em três categorias: atividades de valor acrescentado (VA), atividades sem valor acrescentado mas necessárias (NVA necessário) e desperdício (MUDA).

A Figura 4.2 apresenta a distribuição do tempo observado para cada um dos operadores analisados.

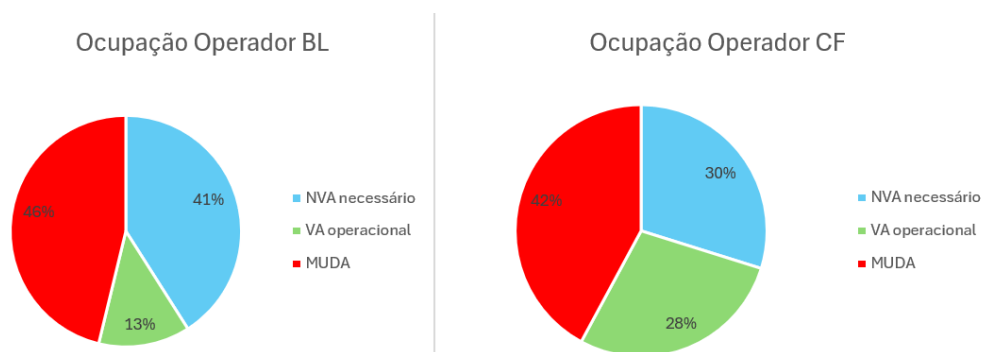


Figura 4.2: Distribuição do tempo observado por categoria de atividade nos Acabamentos Mecânicos.

Os resultados obtidos demonstraram que uma parcela significativa do tempo de trabalho é consumida por atividades classificadas como MUDA ou NVA necessário. Entre as principais atividades identificadas destacam-se o abastecimento das máquinas, a procura de matéria-prima, a movimentação de carros e as deslocações ao longo do setor.

Uma vez que a componente de disponibilidade apresentava um peso significativo na perda de desempenho observada, procurou-se compreender de forma mais detalhada a origem destas atividades. Para esse efeito foram elaborados diagramas de spaghetti para os operadores observados, apresentados nas Figuras H.1 e H.2 do Anexo H.

A análise destes diagramas permitiu verificar que uma parte considerável dos percursos realizados está associada às operações de abastecimento e movimentação de materiais. Estas atividades obrigam frequentemente os operadores a afastarem-se das máquinas sob sua responsabilidade, reduzindo temporariamente a capacidade de supervisão do processo.

Esta situação assume particular relevância num setor onde a deteção precoce de falhas e o acompanhamento contínuo da qualidade das rolhas dependem fortemente da presença e atenção dos operadores. Consequentemente, o tempo dedicado a atividades logísticas reduz a disponibilidade dos operadores para monitorizar o funcionamento das máquinas, controlar a qualidade do produto e intervir rapidamente perante a ocorrência de anomalias.

Face aos resultados obtidos, propõe-se que o abastecimento de matéria-prima aos Acabamentos Mecânicos passe a ser integralmente assegurado pela logística interna, recorrendo, por exemplo, ao sistema *Mizusumachi*. Desta forma, os operadores poderão dedicar uma maior parcela do seu tempo à monitorização das máquinas e ao controlo da qualidade do produto, reduzindo simultaneamente atividades que não acrescentam valor ao processo.

4.7.2 Análise dos tempos associados às paragens

Numa segunda fase foram analisados os tempos associados à gestão das paragens das máquinas, nomeadamente os tempos de deteção, os tempos de intervenção, os tempos de reparação e o tempo total de resolução das ocorrências.

A Figura 4.3 apresenta os tempos de deteção, intervenção, reparação e tempo total de resolução das paragens analisadas.

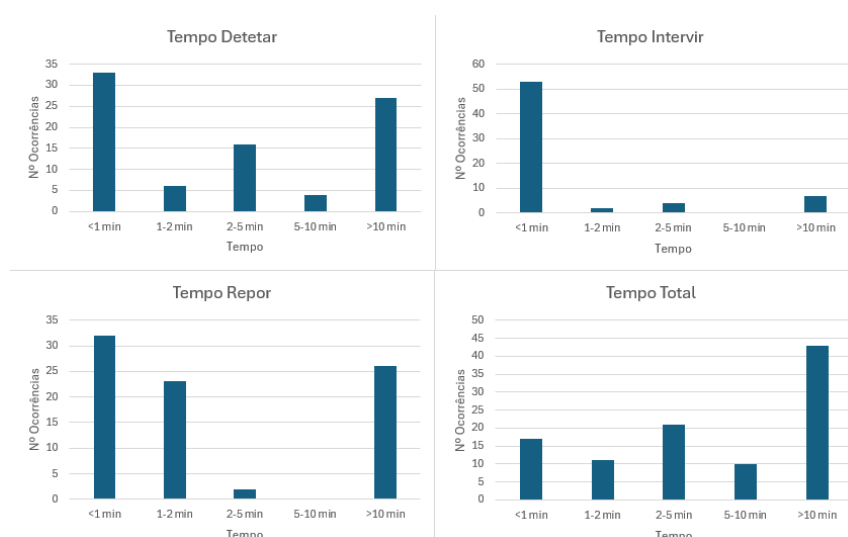


Figura 4.3: Tempos médios associados à gestão das paragens nos Acabamentos Mecânicos.

Os resultados obtidos evidenciaram que, em diversas situações, os tempos de deteção são elevados, representando uma parcela significativa do tempo total de resolução das paragens.

Uma das principais razões identificadas prende-se com as limitações dos sistemas de sinalização atualmente existentes. Embora algumas máquinas possuam sistemas *andon* para indicação de falhas, estes nem sempre refletem corretamente o estado do processo. Adicionalmente, numa mesma linha de produção apenas a máquina frontal, boleadeira ou chanfradeira, dispõe deste tipo de sinalização, não existindo mecanismos equivalentes para as restantes máquinas da linha.

Verificou-se igualmente que a monitorização do nível de enchimento das moegas das máquinas intermédias obriga frequentemente os operadores a recorrer a um escadote para observar o interior das mesmas. Para além do tempo necessário para executar esta tarefa, esta situação reduz a atenção dedicada às máquinas localizadas na frente da linha e aumenta a probabilidade de atrasos na deteção de anomalias.

Como forma de minimizar este problema, propõe-se a instalação de espelhos nas moegas das máquinas intermédias, permitindo aos operadores verificar visualmente o nível de material a partir da zona frontal da linha.

A Figura 4.4 apresenta uma imagem ilustrativa da solução proposta.



Figura 4.4: Solução proposta para a monitorização visual das moegas das máquinas intermédias.

Esta solução permite reduzir o tempo necessário para a monitorização das moegas, melhorar a deteção precoce de situações anómalas e aumentar o tempo disponível para a supervisão das máquinas e para o controlo da qualidade das rolhas.

4.8 Síntese das melhorias propostas e impacto esperado

Ao longo deste capítulo foram identificadas e desenvolvidas diversas propostas de melhoria com o objetivo de reduzir desperdícios, diminuir níveis de inventário, melhorar a gestão dos materiais e aumentar a eficiência do fluxo produtivo. A Tabela 4.7 apresenta uma síntese das principais melhorias propostas e dos respetivos impactos esperados.

Tabela 4.7: Síntese das melhorias propostas e respetivos impactos esperados.

Melhoria	Objetivo	Impacto esperado
Definição do stock mínimo antes dos AM	Adequar os níveis de stock à realidade atual dos consumos	Redução do capital empatado e eliminação de stock desnecessário
Reorganização dos supermercados	Melhorar a gestão visual e a localização dos materiais	Redução do tempo de procura e das movimentações internas
Redefinição da rota de reaproveitamento após EE2	Eliminar reprocessamentos desnecessários	Ganho económico estimado de 16 508,58 €/ano
Abastecimento dos AM por logística interna	Reduzir atividades sem valor acrescentado dos operadores	Maior disponibilidade para supervisão das máquinas e controlo da qualidade
Instalação de espelhos nas moegas	Facilitar a monitorização do nível de enchimento	Redução dos tempos de deteção de anomalias

A implementação dos supermercados e a redução dos níveis de inventário intermédio permitiram obter reduções significativas do *lead time* das referências analisadas. A Tabela 4.8 apresenta a comparação entre o *lead time* inicial e o *lead time* futuro para cada referência.

Tabela 4.8: Impacto das melhorias propostas no *lead time* das referências analisadas.

Referência	<i>Lead Time</i> inicial (dias)	<i>Lead Time</i> futuro (dias)	Redução
22x19,2	20,89	14,81	29,1%
26x18,5	19,78	15,18	23,3%
26,5x19,7	16,16	13,34	17,5%

Em média, as melhorias propostas permitiram reduzir o *lead time* das referências analisadas em aproximadamente 23%, contribuindo para a diminuição dos níveis de inventário intermédio e para uma maior sincronização entre processos.

Capítulo 5

Conclusão

O presente projeto teve como objetivo analisar e melhorar os fluxos produtivos associados à transformação de rolhas de cortiça na Amorim Top Series, procurando identificar desperdícios, reduzir tempos de atravessamento e promover uma gestão mais eficiente dos materiais ao longo do sistema produtivo.

Para o efeito, foi aplicada a metodologia *Value Stream Mapping* a três referências representativas do setor, selecionadas através de uma análise ABC baseada nas previsões de produção para o ano de 2026. A construção dos mapas do estado atual permitiu caracterizar detalhadamente os fluxos produtivos e identificar os principais constrangimentos existentes.

Os resultados obtidos evidenciaram a existência de *lead times* elevados, variando entre 16,16 e 20,89 dias, sendo a maior parte deste tempo composta por atividades sem valor acrescentado. A análise dos fluxos revelou elevados níveis de stock intermédio, tempos de espera significativos entre operações e desequilíbrios de capacidade entre processos, com especial incidência nos Acabamentos Mecânicos.

Com base no diagnóstico realizado, foi efetuada uma análise das causas dos problemas identificados, permitindo definir um conjunto de propostas de melhoria direcionadas para a redução dos desperdícios e para a melhoria da sincronização dos fluxos produtivos.

As principais propostas desenvolvidas incluíram o dimensionamento de supermercados entre processos, a redefinição dos níveis de stock de segurança antes dos Acabamentos Mecânicos, a reorganização e normalização do armazém de matéria-prima, a redefinição da rota de reaproveitamento dos defeitos dimensionais provenientes da Escolha Eletrónica 2 e a análise das atividades realizadas pelos operadores dos Acabamentos Mecânicos.

A implementação conjunta das propostas desenvolvidas apresenta potencial para reduzir significativamente o *lead time* dos fluxos analisados, ultrapassando a meta inicialmente definida de redução de 20%. Os mapas do estado futuro permitiram representar de forma estruturada o impacto esperado dessas melhorias, evidenciando uma maior sincronização entre processos e uma redução dos níveis de stock intermédio. Paralelamente, as soluções propostas contribuem para uma melhor gestão dos materiais, para a redução de inventário sem necessidade operacional, para

a diminuição das movimentações internas e para um melhor aproveitamento dos recursos produtivos existentes.

Destaca-se igualmente a proposta de reaproveitamento dos defeitos dimensionais identificados na Escolha Eletrónica 2, cuja análise económica evidenciou um potencial ganho anual estimado de aproximadamente 16 500 €, através da eliminação de operações de reproprocessamento desnecessárias e da valorização direta das rolhas rejeitadas.

De uma forma global, o projeto permitiu demonstrar a utilidade do *Value Stream Mapping* como ferramenta de análise e melhoria em contextos produtivos caracterizados por elevada diversidade de artigos, diferentes percursos produtivos e múltiplas interdependências entre processos. Os resultados obtidos evidenciam que uma abordagem estruturada de identificação de desperdícios e gestão do fluxo pode contribuir significativamente para a melhoria do desempenho operacional e para o aumento da competitividade industrial.

Apesar dos resultados obtidos, o presente trabalho apresenta algumas limitações que importa reconhecer.

Em primeiro lugar, algumas das propostas desenvolvidas não foram implementadas durante o período de realização do projeto, pelo que os benefícios apresentados resultam de análises, simulações e estimativas baseadas nos dados recolhidos. A validação integral dos resultados dependerá da implementação efetiva das soluções propostas e do acompanhamento dos respetivos indicadores de desempenho.

Adicionalmente, o estudo incidiu sobre três referências representativas do sistema produtivo. Embora estas referências representem uma parcela significativa do volume produzido, a elevada diversidade de artigos processados pela unidade industrial poderá originar comportamentos distintos noutros fluxos produtivos.

Como desenvolvimento futuro, recomenda-se a implementação progressiva dos supermercados dimensionados e a monitorização dos seus resultados ao longo do tempo, avaliando o impacto na redução dos níveis de inventário e na estabilidade do fluxo produtivo. Sugere-se igualmente a extensão da metodologia aplicada a outras referências e setores da unidade industrial, permitindo consolidar uma abordagem integrada de gestão do fluxo de materiais.

Referências

- Abdulmalek, F. A. and Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1):223–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>.
- Amorim Top Series (2026). Who We Are. <https://www.amorimtopseries.com/en/about-us/who-we-are/>. Consultado a 9 de junho de 2026.
- Andreadis, E., Garza-Reyes, J. A., and Kumar, V. (2017). Towards a conceptual framework for value stream mapping (vsm) implementation: An investigation of managerial factors. *International Journal of Production Research*, 55(23):7073–7095. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1347302>.
- Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S., and Murugaiah, U. (2015). The use of 5-whys technique to eliminate oee's speed loss in a manufacturing. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4):419–435. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0062>.
- Braglia, M., Carmignani, G., and Zammori, F. (2006). A new value stream mapping approach for complex production systems. *International Journal of Production Research*, 44(18-19):3929–3952. <https://doi.org/10.1080/00207540600690545>.
- Brunet, A. P. and New, S. (2003). Kaizen in japan: An empirical study. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(12):1426–1446. <https://doi.org/10.1108/01443570310506704>.
- Chakravorty, S. S. (2009). Process improvement: Using toyota's a3 reports. *Quality Management Journal*, 16(4):7–26. <https://doi.org/10.1080/10686967.2009.11918247>.
- Corticeira Amorim (2026). Website institucional da Corticeira Amorim. <https://www.corticeiraamorim.com/>. Consultado a 9 de junho de 2026.
- Cox, M. and Sandberg, K. (2018). Modeling causal relationships in quality improvement. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 48(7):182–185. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2018.08.011>.
- Deif, A. M. and ElMaraghy, H. (2014). Cost performance dynamics in lean production leveling. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4):613–623. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2014.05.010>.
- Furlan, A., Vinelli, A., and Dal Pont, G. (2011). Complementarity and lean manufacturing bundles: an empirical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(8):835–850. <https://doi.org/10.1108/01443571111153067>.

- Hines, P., Holweg, M., and Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10):994–1011. <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2):420–437. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001>.
- Jaca, C., Viles, E., Mateo, R., Santos, J., and Paipa-Galeano, L. (2014). Learning 5s principles from japanese best practitioners: case studies of five manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 52(15):4574–4586. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.878481>.
- Kato, I. and Smalley, A. (2010). *Toyota Kaizen Methods: Six Steps to Improvement*. Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/b10296>.
- King, P. L. and King, J. S. (2015). *Value Stream Mapping for the Process Industries: Creating a Roadmap for Lean Transformation*. Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/b18342>.
- Knol, W. H., Lauche, K., Schouteten, R. L. J., and Slomp, J. (2022). Establishing the interplay between lean operating and continuous improvement routines: a process view. *International Journal of Operations & Production Management*, 42(13):243–273. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2020-0334>.
- Lenort, R., Staš, D., Wicher, P., and Holman, D. (2017). A3 method as a powerful tool for searching and implementing green innovations in an industrial company transport. *Procedia Engineering*, 192:533–538. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.092>.
- Liker, J. K. and Convis, G. L. (2012). *The Toyota Way to Lean Leadership: Achieving and Sustaining Excellence through Leadership Development*. McGraw-Hill.
- Lu, J.-C. and Yang, T. (2014). Implementing lean standard work to solve a low work-in-process problem in a highly automated manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, 53(8):1–21. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937009>.
- Marín-García, J. A. and Bonavía, T. (2015). Relationship between employee involvement and lean manufacturing and its effect on performance in a rigid continuous process industry. *International Journal of Production Research*, 53(11):3260–3275. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.975852>.
- Meudt, T., Metternich, J., and Abele, E. (2017). Value stream mapping 4.0: Holistic examination of value stream and information logistics in production. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(1):413–416. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.005>.
- Montgomery, D. C. and Runger, G. C. (2014). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons, 6 edition.
- Muchiri, P. and Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (oe): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13):3517–3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>.

- Ng, W. L. (2007). A simple classifier for multiple criteria abc analysis. *European Journal of Operational Research*, 177(1):344–353. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.11.018>.
- Ng Corrales, L. d. C., Lambán, M. P., Hernández Korner, M. E., and Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied Sciences*, 10(18):6469. <https://doi.org/10.3390/app10186469>.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>.
- Pettersen, J. (2009). Defining lean production: Some conceptual and practical issues. *The TQM Journal*, 21(2):127–142. <https://doi.org/10.1108/17542730910938137>.
- Ramanathan, R. (2006). Abc inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers & Operations Research*, 33(3):695–700. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.07.014>.
- Rother, M. and Shook, J. (1999). *Learning to See: value-stream mapping to create value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Schiraldi, M. M. and Varisco, M. (2020). Overall equipment effectiveness: consistency of iso standard with literature. *Computers and Industrial Engineering*, 145(3):106359. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106518>.
- Serrano, I., Ochoa, C., and de Castro, R. (2008). Evaluation of value stream mapping in manufacturing systems redesigning. *International Journal of Production Research*, 46(16):4409–4430. <https://doi.org/10.1080/00207540601182302>.
- Shah, R. and Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2):129–149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0).
- Shah, R. and Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4):785–805. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>.
- Sobek, D. K. and Smalley, A. (2008). *Understanding A3 Thinking*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9781439814055>.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., and Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system: Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6):553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>.
- Tezel, A., Koskela, L., and Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: a literature synthesis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(6):766–799. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2015-0071>.
- Turpin, L. (2018). A note on understanding cycle time. *International Journal of Production Economics*, 205:113–117. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.004>.

- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., and Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead time of a product development process. *International Journal of Production Economics*, 160:202–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>.
- Vorne Industries (2023). Oee - learn the art and science of manufacturing improvement. <https://www.oee.com>. Consultado a 8 de março de 2026.
- Womack, J. P. and Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster. <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>.
- Yücesan, E. and de Groote, X. (2000). Lead times, order release mechanisms, and customer service. *European Journal of Operational Research*, 120(1):118–130. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00393-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00393-2).

Contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

O presente capítulo apresenta uma reflexão sobre o contributo do projeto desenvolvido para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pelas Nações Unidas. Estes objetivos estabelecem uma orientação global para enfrentar desafios sociais, económicos e ambientais, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e equilibrado.

No contexto deste projeto, os contributos mais relevantes encontram-se associados à melhoria da eficiência operacional, à utilização mais eficiente dos recursos produtivos, à redução de desperdícios e ao aumento do aproveitamento da matéria-prima. Deste modo, o trabalho desenvolvido apresenta uma ligação direta com os ODS 8, 9 e 12.

Identificação dos ODS

O projeto desenvolvido contribui principalmente para os seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável:

- **ODS 8 – Trabalho Digno e Crescimento Económico**
 - **Meta 8.4** – Melhorar progressivamente a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção e procurar dissociar o crescimento económico da degradação ambiental.
- **ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestruturas**
 - **Meta 9.2** – Promover uma industrialização inclusiva e sustentável e aumentar significativamente a participação da indústria na economia.
- **ODS 12 – Produção e Consumo Sustentáveis**
 - **Meta 12.2** – Alcançar a gestão sustentável e a utilização eficiente dos recursos naturais.
 - **Meta 12.5** – Reduzir substancialmente a geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reutilização.

Contribuição do projeto

A Tabela 1 apresenta os ODS considerados mais relevantes para o trabalho desenvolvido, bem como as respetivas metas, contributos e indicadores associados.

Tabela 1: Contributo do projeto para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

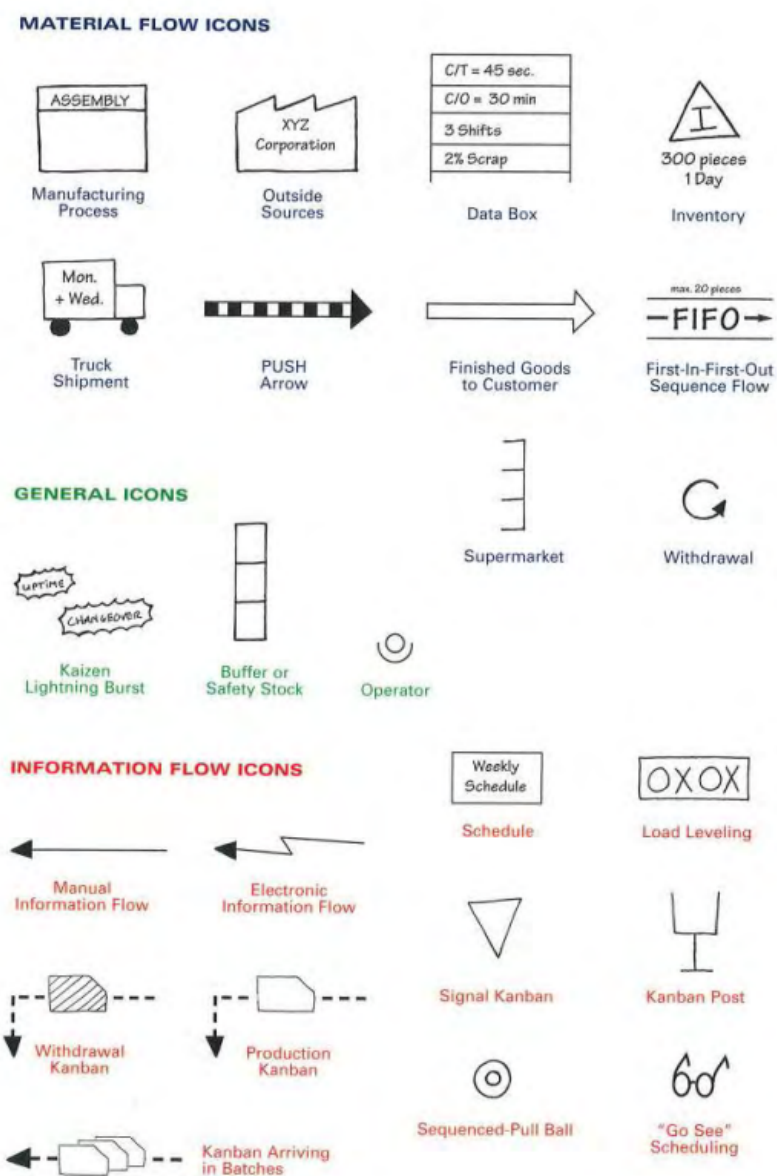
ODS	Meta	Contributo	Indicadores de desempenho e métricas
ODS 8 – Trabalho Digno e Crescimento Económico	8.4 – Melhorar progressivamente a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção e procurar dissociar o crescimento económico da degradação ambiental	As propostas desenvolvidas promovem uma utilização mais eficiente dos recursos produtivos, através da redução de desperdícios, da diminuição de movimentações desnecessárias e da melhoria do fluxo de materiais ao longo do sistema produtivo.	<i>Lead time</i> , níveis de stock intermédio, produtividade dos processos e ocupação dos operadores em atividades sem valor acrescentado.
ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestruturas	9.2 – Promover uma industrialização inclusiva e sustentável e aumentar significativamente a participação da indústria na economia	A aplicação de metodologias <i>Lean</i> e do <i>Value Stream Mapping</i> permitiu identificar oportunidades de melhoria capazes de aumentar a eficiência operacional e melhorar o desempenho global dos processos produtivos.	Redução do <i>lead time</i> , melhoria da sincronização entre processos e redução dos desperdícios identificados.
ODS 12 – Produção e Consumo Sustentáveis	12.2 – Alcançar a gestão sustentável e a utilização eficiente dos recursos naturais	A redefinição dos stocks de segurança, a reorganização do armazém de matéria-prima e a implementação de supermercados permitem uma gestão mais eficiente dos materiais e uma redução do inventário sem necessidade operacional.	Quantidade de stock armazenado, capital empatado em inventário e ocupação do armazém.
ODS 12 – Produção e Consumo Sustentáveis	12.5 – Reduzir substancialmente a geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reutilização	A redefinição da rota de reaproveitamento dos defeitos dimensionais provenientes da Escolha Eletrónica 2 aumenta o aproveitamento da matéria-prima e reduz operações de reprocessamento desnecessárias.	Quantidade de rolhas reaproveitadas, redução de desperdício e ganho económico anual estimado de aproximadamente 16 500 €.

Conclusão

Da análise realizada conclui-se que o principal contributo do projeto para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável se encontra associado ao ODS 12, uma vez que a maioria das propostas desenvolvidas procura promover uma utilização mais eficiente dos recursos e reduzir desperdícios ao longo da cadeia de valor. Destacam-se particularmente a melhoria da gestão dos materiais, a redução dos níveis de inventário sem necessidade operacional e o aumento do reaproveitamento de produto, contribuindo simultaneamente para benefícios económicos, operacionais e ambientais.

Paralelamente, a redução das atividades sem valor acrescentado e a melhoria do fluxo produtivo contribuem para o aumento da eficiência operacional do sistema, reforçando igualmente o alinhamento do projeto com os princípios preconizados pelos ODS 8 e 9. Desta forma, o trabalho desenvolvido demonstra que a aplicação de metodologias *Lean* pode constituir uma ferramenta importante para promover uma indústria mais eficiente, sustentável e competitiva.

Anexo A – Simbologia do VSM



Anexo B – Mapas VSM do estado atual

Este anexo apresenta os mapas de fluxo de valor do estado atual das restantes referências analisadas.

A Figura B.1 apresenta o VSM da referência 26,5x19,7 BL.

RT NTTOP 26,5X19,7 BL N101 S0 E

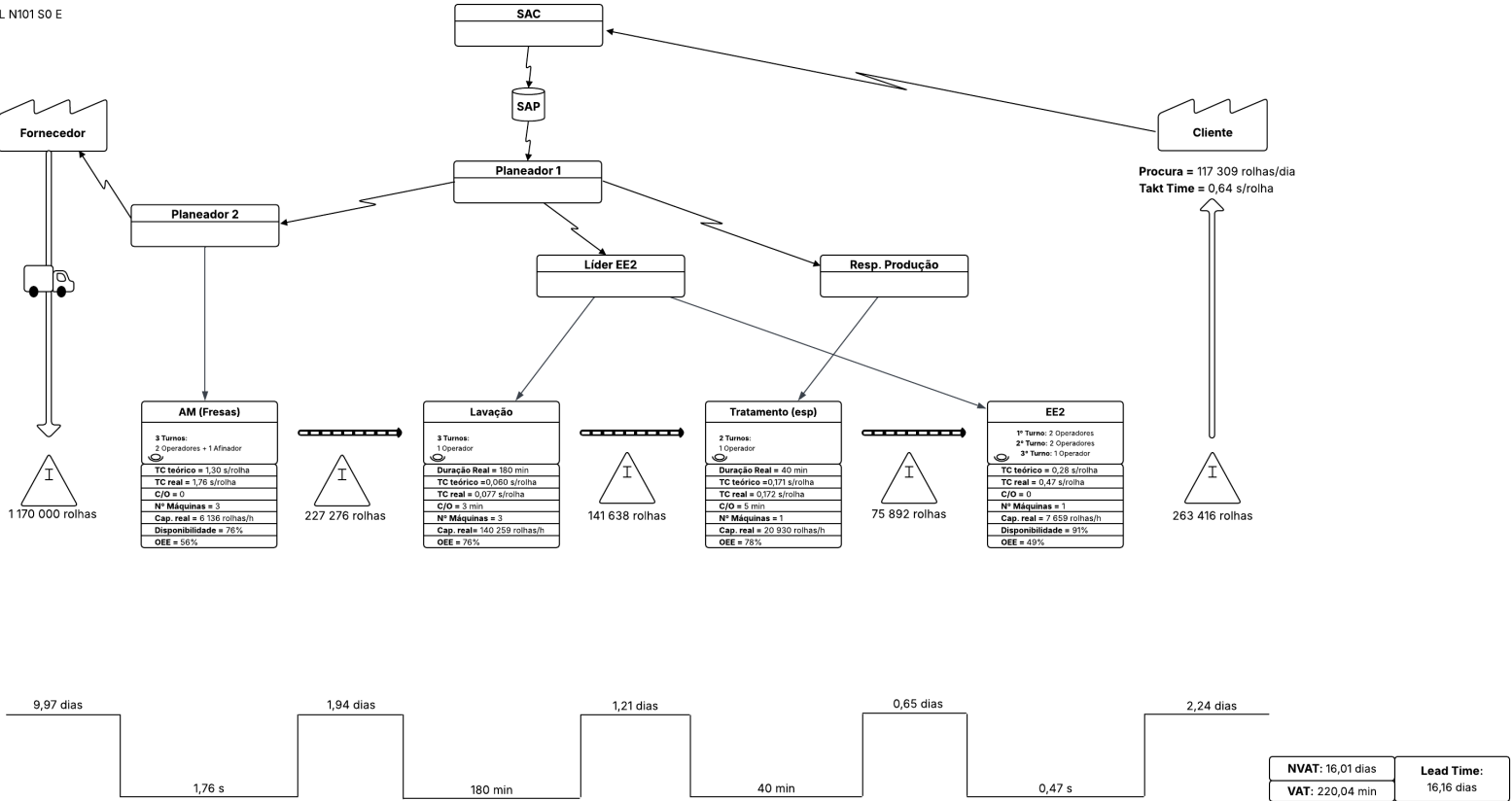


Figura B.1: VSM da referência 26,5x19,7 BL.

A Figura B.2 apresenta o VSM da referência 22x19,2 CF.

RS CP_NEUT 22X19,2 CF N101 S4 E 0471P

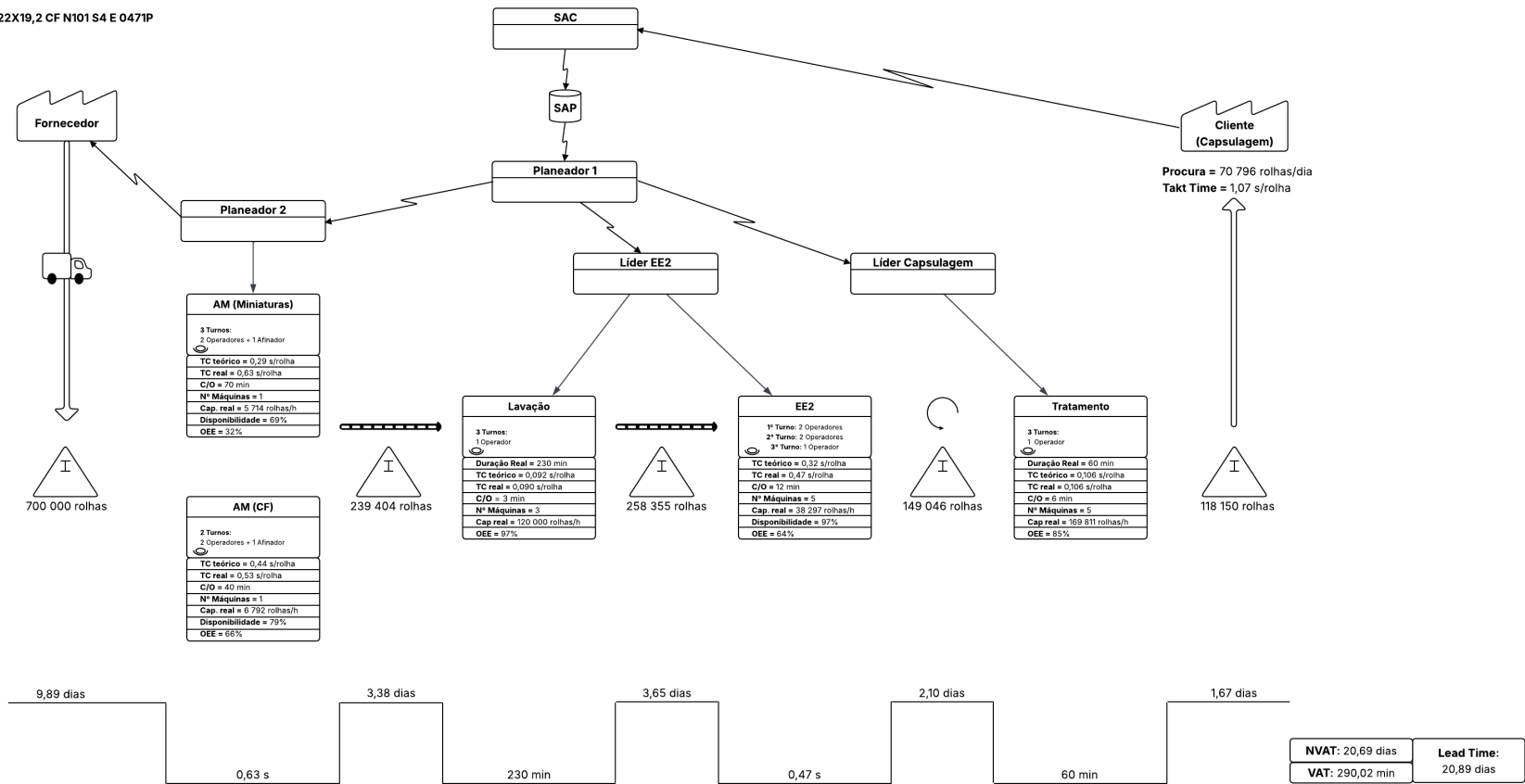


Figura B.2: VSM da referência 22x19,2 CF.

Anexo C – Indicadores operacionais das referências analisadas

Este anexo apresenta os principais indicadores operacionais calculados para as referências analisadas no âmbito do diagnóstico do estado atual do fluxo produtivo.

A Tabela C.1 apresenta os valores de procura anual prevista, procura diária e *takt time* das referências analisadas.

Tabela C.1: Procura anual, procura diária e *takt time* das referências analisadas.

Referência	Procura anual prevista (rolhas/ano)	Procura diária (rolhas/dia)	<i>Takt time</i> (s/rolha)
NTTOP 26x18,5 BL	27 700 000	122 566	0,62
NTTOP 26,5x19,7 BL	26 512 000	117 309	0,64
NTTOP 22x19,2 CF	16 000 000	70 796	1,07

A Tabela C.2 apresenta o tempo de ciclo teórico dos processos das referências analisadas.

Tabela C.2: Tempo de ciclo teórico dos processos das referências analisadas.

Processo	Referência	Capacidade nominal (rolhas/h)	Tempo de ciclo teórico (s/rolha)
AM (BL)	NTTOP 26x18,5 BL	5 016	0,72
AM (Fresas)	NTTOP 26,5x19,7 BL	2 772	1,30
AM (Miniaturas)	NTTOP 22x19,2 CF	12 324	0,29
AM (CF)	NTTOP 22x19,2 CF	8 112	0,44
Lavação	NTTOP 26x18,5 BL	39 130	0,092
Lavação	NTTOP 26,5x19,7 BL	60 000	0,060
Lavação	NTTOP 22x19,2 CF	39 130	0,092
EE2	NTTOP 26x18,5 BL	11 988	0,30
EE2	NTTOP 26,5x19,7 BL	12 972	0,28
EE2	NTTOP 22x19,2 CF	11 230	0,32
Tratamento	NTTOP 26x18,5 BL	32 000	0,113
Tratamento	NTTOP 26,5x19,7 BL	21 000	0,171
Tratamento	NTTOP 22x19,2 CF	34 000	0,106

A Tabela C.3 apresenta o tempo de ciclo real dos processos das referências analisadas.

Tabela C.3: Tempo de ciclo real dos processos das referências analisadas.

Processo	Referência	Tempo de ciclo real (s/rolha)
AM (BL)	NTTOP 26x18,5 BL	1,16
AM (Fresas)	NTTOP 26,5x19,7 BL	1,76
AM (Miniaturas)	NTTOP 22x19,2 CF	0,63
AM (CF)	NTTOP 22x19,2 CF	0,53
Lavação	NTTOP 26x18,5 BL	0,094
Lavação	NTTOP 26,5x19,7 BL	0,077
Lavação	NTTOP 22x19,2 CF	0,090
EE2	NTTOP 26x18,5 BL	0,39
EE2	NTTOP 26,5x19,7 BL	0,47
EE2	NTTOP 22x19,2 CF	0,47
Tratamento	NTTOP 26x18,5 BL	0,113
Tratamento	NTTOP 26,5x19,7 BL	0,172
Tratamento	NTTOP 22x19,2 CF	0,106

A Tabela C.4 apresenta o número de operadores, o número de máquinas e o regime de turnos dos processos das referências analisadas.

Tabela C.4: Número de operadores, número de máquinas e regime de turnos dos processos das referências analisadas.

Processo	Referência	Nº de operadores	Nº de máquinas	Regime de turnos
AM (BL)	NTTOP 26x18,5 BL	2 operadores + 1 afinador	7	3 turnos
AM (Fresas)	NTTOP 26,5x19,7 BL	2 operadores + 1 afinador	3	3 turnos
AM (Miniaturas)	NTTOP 22x19,2 CF	2 operadores + 1 afinador	1	3 turnos
AM (CF)	NTTOP 22x19,2 CF	2 operadores + 1 afinador	1	2 turnos
Lavação	NTTOP 26x18,5 BL	1 operador	3	3 turnos
Lavação	NTTOP 26,5x19,7 BL	1 operador	3	3 turnos
Lavação	NTTOP 22x19,2 CF	1 operador	3	3 turnos
EE2	NTTOP 26x18,5 BL	2, 2, 1 operadores	6	3 turnos
EE2	NTTOP 26,5x19,7 BL	2, 2, 1 operadores	1	3 turnos
EE2	NTTOP 22x19,2 CF	2, 2, 1 operadores	5	3 turnos
Tratamento	NTTOP 26x18,5 BL	1 operador	5	3 turnos
Tratamento (especialidades)	NTTOP 26,5x19,7 BL	1 operador	1	2 turnos
Tratamento	NTTOP 22x19,2 CF	1 operador	5	3 turnos

A Tabela C.5 apresenta os tempos de *setup* dos processos das referências analisadas.

Tabela C.5: Tempos de *setup* dos processos das referências analisadas.

Processo	Referência	Tempo de <i>setup</i> (min)
AM (BL)	NTTOP 26x18,5 BL	45
AM (Fresas)	NTTOP 26,5x19,7 BL	0
AM (Miniaturas)	NTTOP 22x19,2 CF	70
AM (CF)	NTTOP 22x19,2 CF	40
Lavação	NTTOP 26x18,5 BL	3
Lavação	NTTOP 26,5x19,7 BL	3
Lavação	NTTOP 22x19,2 CF	3
EE2	NTTOP 26x18,5 BL	12
EE2	NTTOP 26,5x19,7 BL	0
EE2	NTTOP 22x19,2 CF	12
Tratamento	NTTOP 26x18,5 BL	6
Tratamento	NTTOP 26,5x19,7 BL	5
Tratamento	NTTOP 22x19,2 CF	6

A Tabela C.6 apresenta a capacidade nominal e a capacidade real dos processos das referências analisadas.

Tabela C.6: Capacidade nominal e capacidade real dos processos das referências analisadas.

Processo	Referência	Capacidade nominal do processo (rolhas/h)	Capacidade real do processo (rolhas/h)
AM (BL)	NTTOP 26x18,5 BL	35 112	21 724
AM (Fresas)	NTTOP 26,5x19,7 BL	8 316	6 136
AM (Miniaturas)	NTTOP 22x19,2 CF	12 324	5 714
AM (CF)	NTTOP 22x19,2 CF	8 112	6 792
Lavação	NTTOP 26x18,5 BL	117 391	114 893
Lavação	NTTOP 26,5x19,7 BL	150 000	140 259
Lavação	NTTOP 22x19,2 CF	117 391	120 000
EE2	NTTOP 26x18,5 BL	72 000	55 384
EE2	NTTOP 26,5x19,7 BL	12 857	7 659
EE2	NTTOP 22x19,2 CF	56 250	38 297
Tratamento	NTTOP 26x18,5 BL	159 290	159 292
Tratamento (esp.)	NTTOP 26,5x19,7 BL	21 053	20 930
Tratamento	NTTOP 22x19,2 CF	169 811	169 811

A Tabela C.7 apresenta os níveis de stock nas diferentes posições do fluxo das referências analisadas.

Tabela C.7: Níveis de stock nas diferentes posições do fluxo das referências analisadas.

Posição no fluxo	Referência	Stock (rolhas)
Antes do primeiro processo	NTTOP 26x18,5 BL	1 220 000
Antes do primeiro processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	1 170 000
Antes do primeiro processo	NTTOP 22x19,2 CF	700 000
Após o primeiro processo	NTTOP 26x18,5 BL	437 697
Após o primeiro processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	227 276
Após o primeiro processo	NTTOP 22x19,2 CF	239 404
Após o segundo processo	NTTOP 26x18,5 BL	385 885
Após o segundo processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	141 638
Após o segundo processo	NTTOP 22x19,2 CF	258 355
Após o terceiro processo	NTTOP 26x18,5 BL	180 776
Após o terceiro processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	75 892
Após o terceiro processo	NTTOP 22x19,2 CF	149 046
Stock final do fluxo analisado	NTTOP 26x18,5 BL	174 931
Stock final do fluxo analisado	NTTOP 26,5x19,7 BL	263 416
Stock final do fluxo analisado	NTTOP 22x19,2 CF	118 150

A Tabela C.8 apresenta o tempo de permanência em stock nas diferentes posições do fluxo das referências analisadas.

Tabela C.8: Tempo de permanência em stock nas diferentes posições do fluxo das referências analisadas.

Posição no fluxo	Referência	Tempo de permanência em stock (dias)
Antes do primeiro processo	NTTOP 26x18,5 BL	9,95
Antes do primeiro processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	9,97
Antes do primeiro processo	NTTOP 22x19,2 CF	9,89
Após o primeiro processo	NTTOP 26x18,5 BL	3,57
Após o primeiro processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	1,94
Após o primeiro processo	NTTOP 22x19,2 CF	3,38
Após o segundo processo	NTTOP 26x18,5 BL	3,15
Após o segundo processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	1,21
Após o segundo processo	NTTOP 22x19,2 CF	3,65
Após o terceiro processo	NTTOP 26x18,5 BL	1,47
Após o terceiro processo	NTTOP 26,5x19,7 BL	0,65
Após o terceiro processo	NTTOP 22x19,2 CF	2,10
Stock final do fluxo analisado	NTTOP 26x18,5 BL	1,43
Stock final do fluxo analisado	NTTOP 26,5x19,7 BL	2,24
Stock final do fluxo analisado	NTTOP 22x19,2 CF	1,67

A Tabela C.9 apresenta o *lead time*, o tempo com valor acrescentado e o tempo sem valor acrescentado das referências analisadas.

Tabela C.9: *Lead time*, tempo com valor acrescentado e tempo sem valor acrescentado das referências analisadas.

Referência	VAT (min)	NVAT (dias)	<i>Lead time</i> (dias)
NTTOP 26x18,5 BL	300,03	19,57	19,78
NTTOP 26,5x19,7 BL	220,04	16,01	16,16
NTTOP 22x19,2 CF	290,02	20,69	20,89

A Tabela C.10 apresenta a disponibilidade, a performance, a qualidade e o OEE dos processos das referências analisadas.

Tabela C.10: Disponibilidade, performance, qualidade e OEE dos processos das referências analisadas.

Processo	Referência	Disponibilidade (%)	Performance (%)	Qualidade (%)	OEE (%)
AM (BL)	NTTOP 26x18,5 BL	80	62	100	50
AM (Fresas)	NTTOP 26,5x19,7 BL	76	74	100	56
AM (Miniaturas)	NTTOP 22x19,2 CF	69	46	100	32
AM (CF)	NTTOP 22x19,2 CF	79	83	100	66
EE2	NTTOP 26x18,5 BL	97	77	96	72
EE2	NTTOP 26,5x19,7 BL	91	60	90	49
EE2	NTTOP 22x19,2 CF	97	68	97	64
Lavação	NTTOP 26x18,5 BL	98	98	100	96
Lavação	NTTOP 26,5x19,7 BL	97	78	100	76
Lavação	NTTOP 22x19,2 CF	98	99	100	97
Tratamento	NTTOP 26x18,5 BL	85	100	100	85
Tratamento (esp.)	NTTOP 26,5x19,7 BL	78	99	100	78
Tratamento	NTTOP 22x19,2 CF	85	100	100	85

A Tabela C.11 apresenta as máquinas equivalentes necessárias e o grau de cobertura da procura nos processos analisados.

Tabela C.11: Máquinas equivalentes necessárias e grau de cobertura da procura nos processos analisados.

Referência	Processo	Capacidade efetiva por máquina (rolhas/h)	Nº de máquinas	Horas disponíveis por dia	Procura diária (rolhas/dia)	Máquinas equivalentes necessárias	Grau de cobertura da procura (%)
NTTOP 26x18,5 BL	AM (BL)	2 508	7	21	122 566	2,33	299,8
NTTOP 26x18,5 BL	EE2	8 640	6	21	122 566	0,68	888,2
NTTOP 26,5x19,7 BL	AM (Fresas)	1 552	3	21	117 309	3,60	83,3
NTTOP 26,5x19,7 BL	EE2	6 300	1	21	117 309	0,89	112,8
NTTOP 22x19,2 CF	AM (Miniaturas)	3 944	1	21	70 796	0,85	117,0
NTTOP 22x19,2 CF	AM (CF)	5 354	1	14	70 796	0,94	106,8
NTTOP 22x19,2 CF	EE2	7 200	5	21	70 796	0,47	1 067,9

Anexo D – Análise A3 e identificação de causas raiz

Este anexo apresenta os elementos utilizados para estruturar a análise do problema e identificar as principais causas raiz associadas ao estado atual do fluxo produtivo.

A Figura D.1 apresenta o A3 desenvolvido no âmbito do projeto.

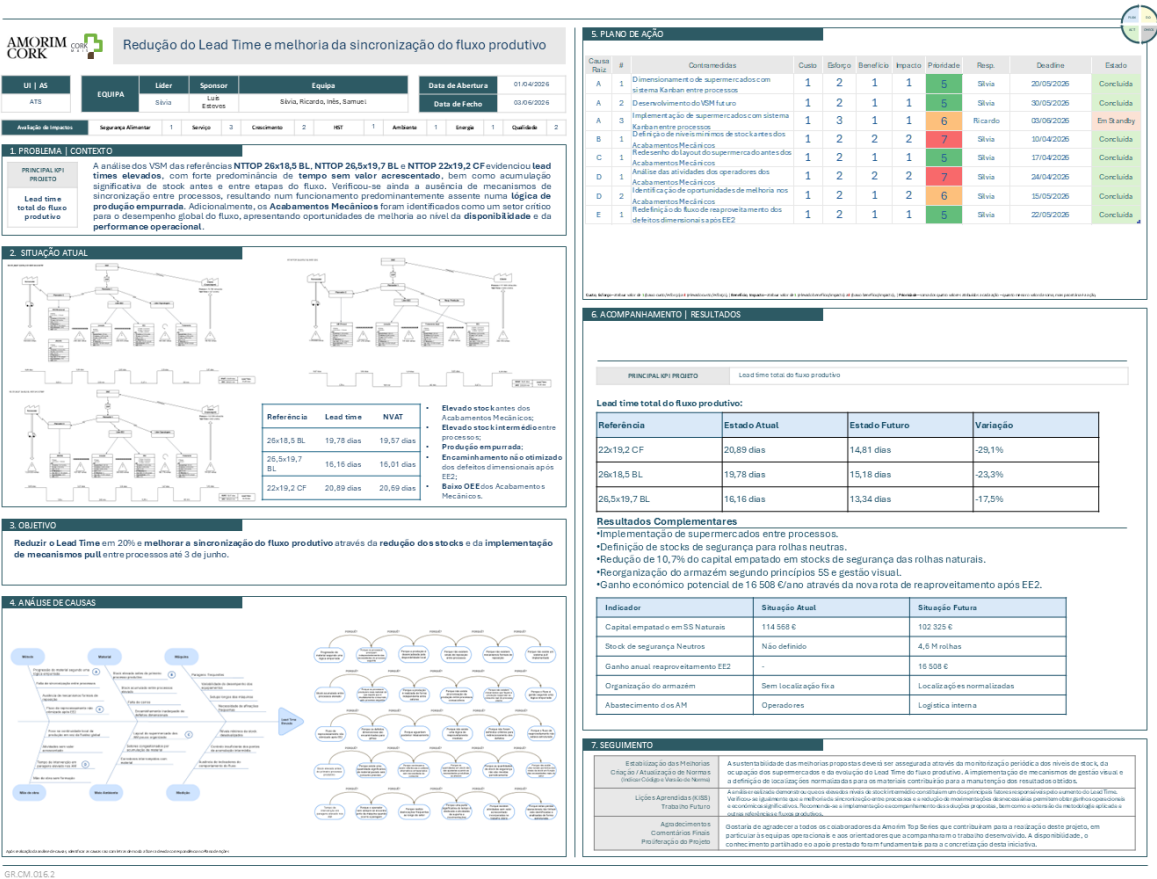


Figura D.1: A3 do projeto.

A Figura D.2 apresenta o diagrama de Ishikawa desenvolvido para a análise das causas associadas aos problemas identificados no estado atual.

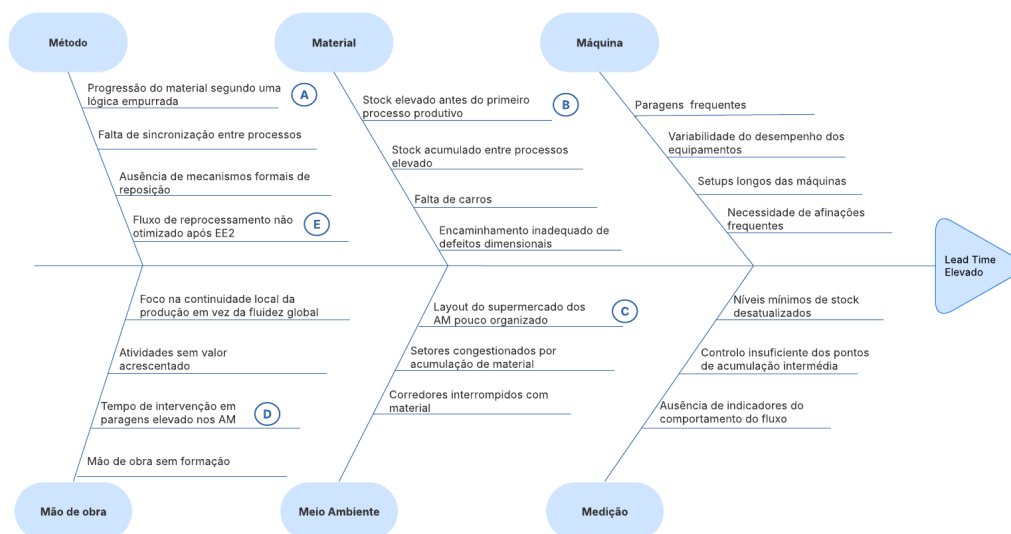


Figura D.2: Diagrama de Ishikawa.

A Figura D.3 apresenta a análise dos 5 Whys desenvolvida para identificação das causas raiz dos problemas observados.

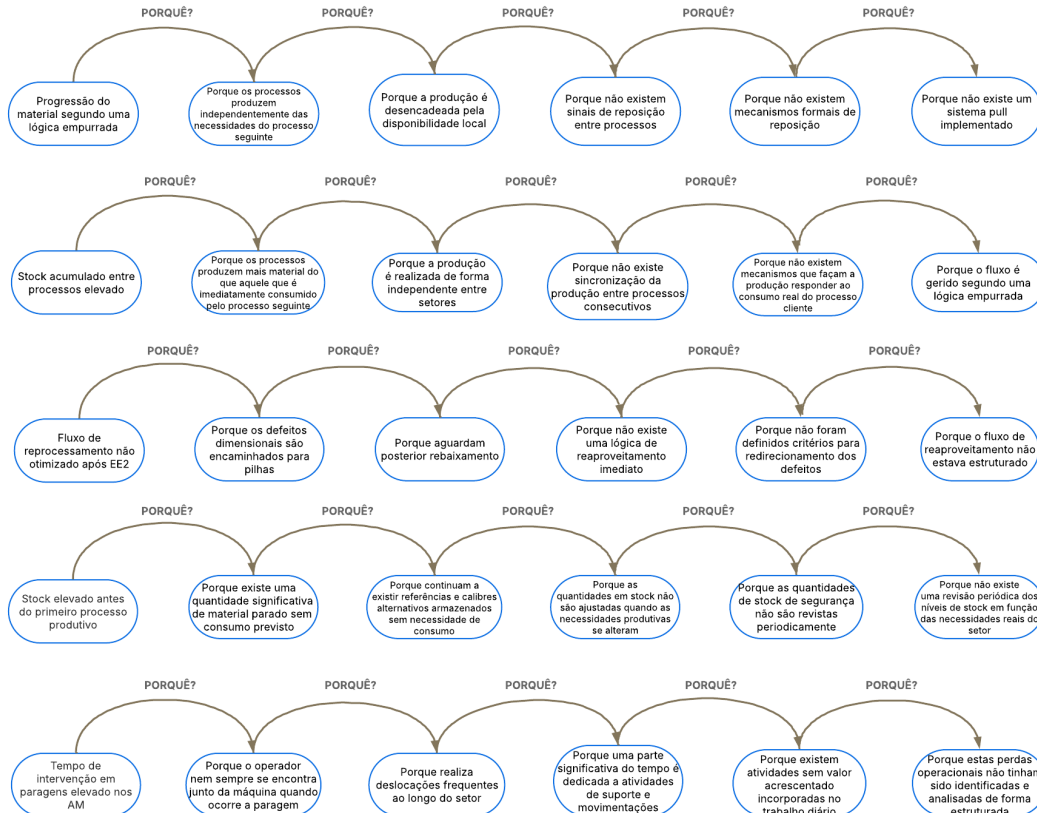


Figura D.3: Análise dos 5 Whys.

Anexo E – Mapas VSM do estado futuro

Este anexo apresenta os mapas de fluxo de valor do estado futuro das restantes referências analisadas.

A Figura E.1 apresenta o VSM futuro da referência 26,5x19,7 BL.

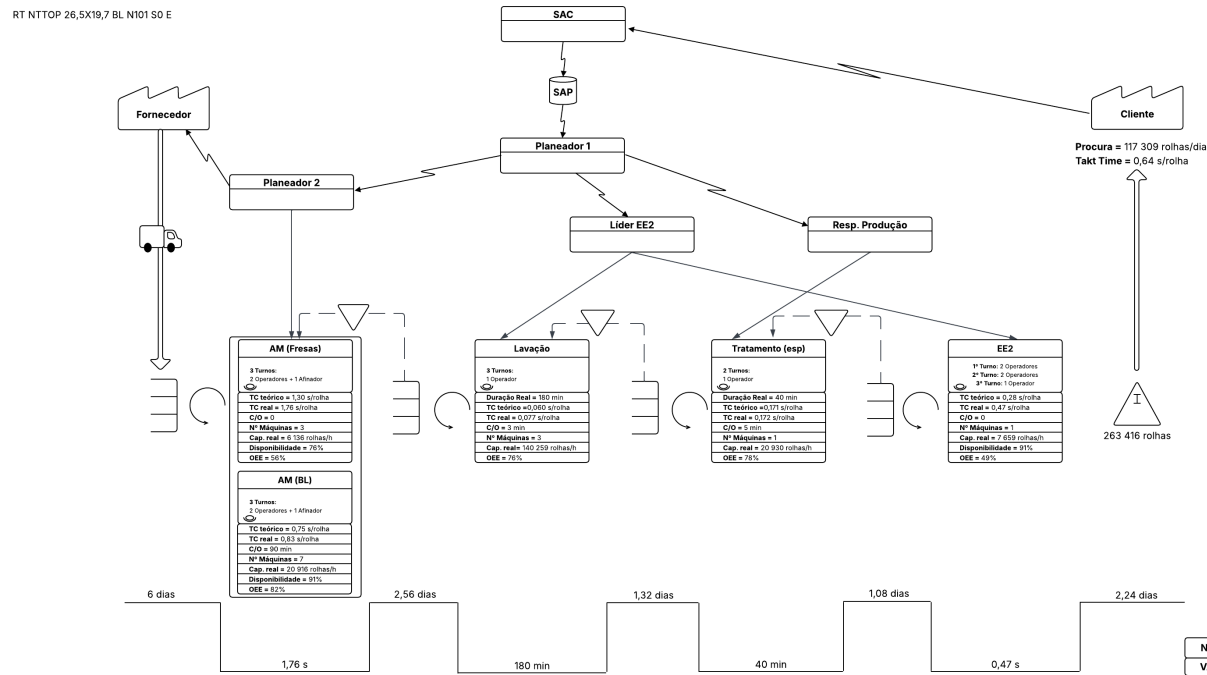


Figura E.1: VSM futuro da referência 26,5x19,7 BL.

A Figura E.2 apresenta o VSM futuro da referência 22x19,2 CF.

RS CP_NEUT 22X19,2 CF N101 S4 E 0471P

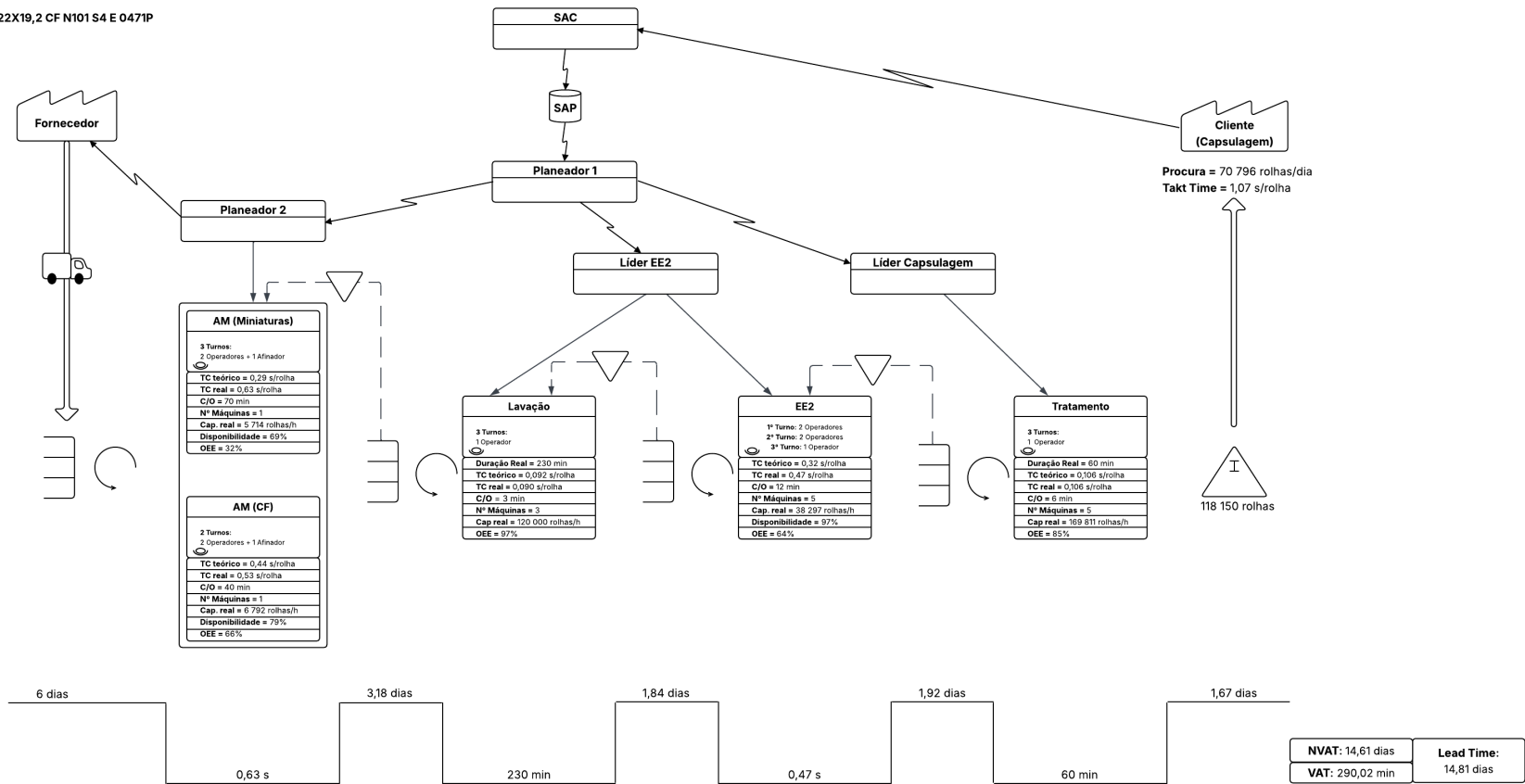


Figura E.2: VSM futuro da referência 22x19,2 CF.

Anexo F – Reorganização e normalização do armazém de matéria-prima

Este anexo apresenta os elementos de apoio à proposta de reorganização e normalização do armazém de matéria-prima, incluindo o levantamento dos espaços disponíveis, a distribuição final proposta e evidências visuais da situação antes e após a reorganização.

A Figura F.1 apresenta o levantamento dos espaços de armazenamento disponíveis no armazém de matéria-prima.

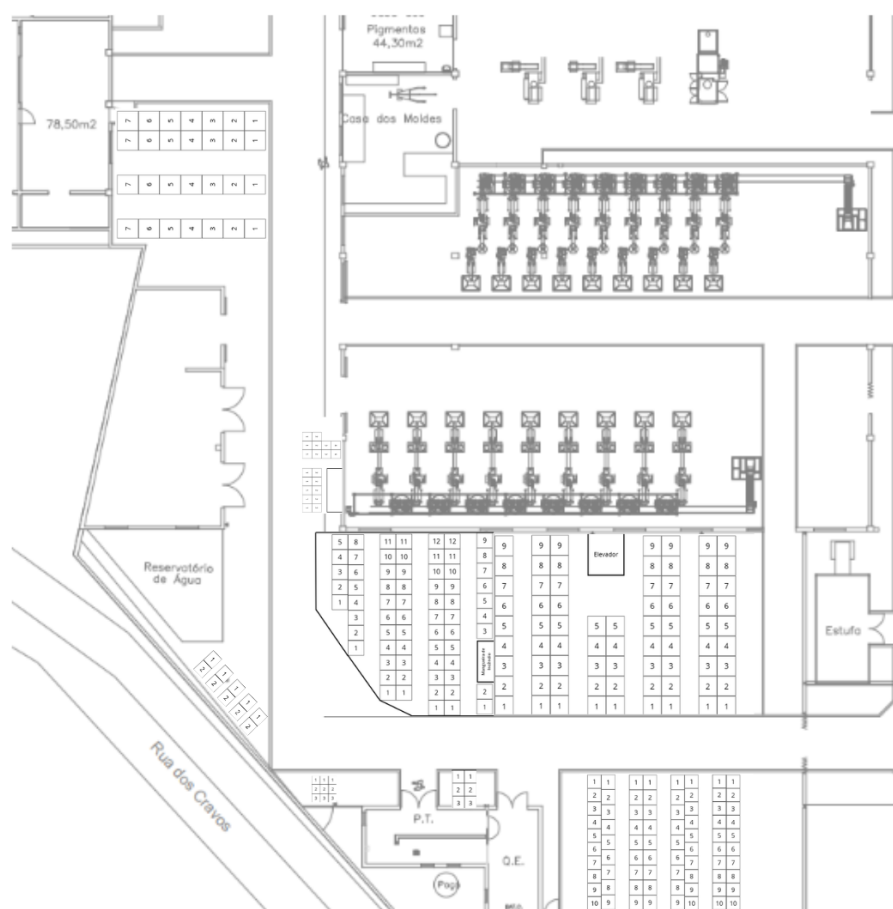
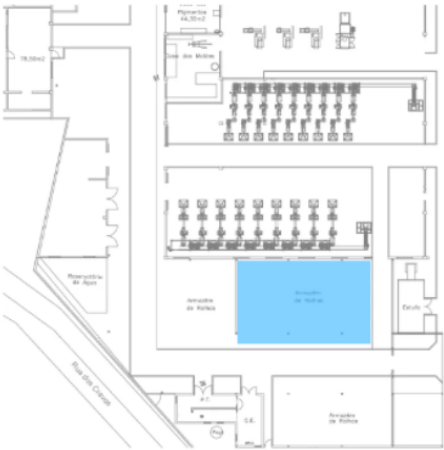
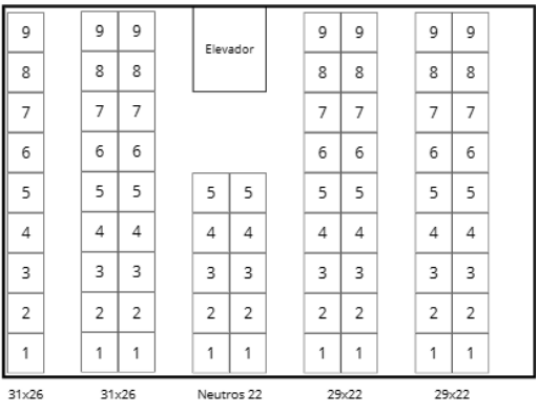


Figura F.1: Levantamento dos espaços de armazenamento disponíveis.

A Figura F.2 apresenta a distribuição final proposta para os artigos armazenados antes dos Acabamentos Mecânicos.

Zona A

• 73 Paletes



Zona C

• 76 Espaços

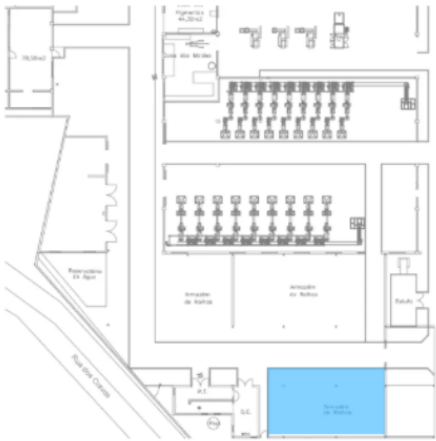
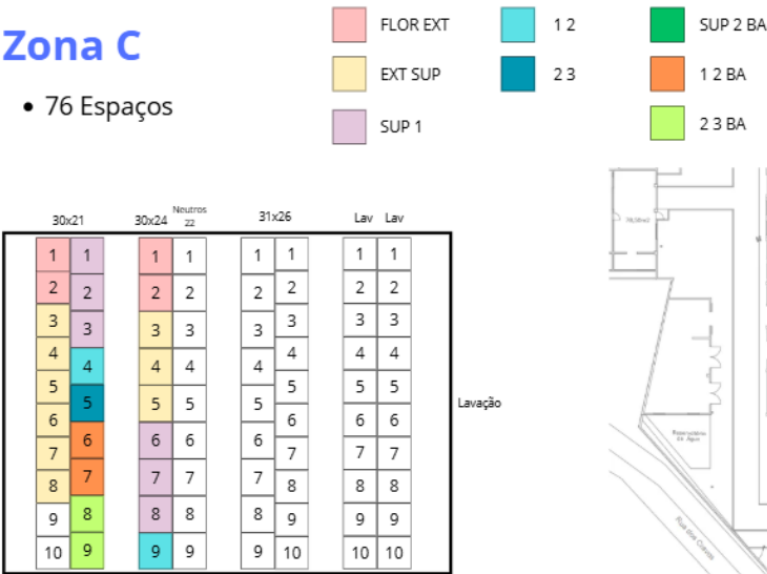


Figura F.2: Distribuição final dos artigos no armazém de matéria-prima.

A Figura F.3 apresenta exemplos visuais dos principais problemas identificados antes da reorganização e da situação observada após a implementação da proposta.

Problema Identificado	Antes	Depois
Corredores obstruídos com material Existência de paletes, sacos e big bags colocados fora das posições de armazenamento, dificultando a circulação de pessoas e equipamentos de movimentação. Para além disso, o acesso a determinadas paletes fica impedido, diminuindo a eficiência operacional.		
Invisibilidade da identificação dos corredores Numeração dos corredores inexistente ou pouco visível, dificultando a localização rápida dos materiais e a orientação dos operadores.		
Falta de identificação dos materiais nas zonas de armazenamento Os corredores e zonas de armazenamento não possuíam identificação visível dos materiais aí armazenados, dificultando a procura dos artigos e aumentando o tempo necessário para as operações de abastecimento		
Sacos e big bags mal empilhados Armazenamento de sacos e big bags com inclinações e desalinhamentos, comprometendo a estabilidade das pilhas e as condições de segurança do armazém.		

Figura F.3: Evidências visuais da reorganização do armazém de matéria-prima.

Anexo G – Referências de destino propostas para o reaproveitamento dos defeitos dimensionais

Este anexo apresenta as referências de destino propostas para o reaproveitamento direto das rolhas rejeitadas por defeitos dimensionais após a Escolha Eletrónica 2.

A Tabela G.1 apresenta as referências analisadas, as potenciais referências de destino em caso de excesso ou défice dimensional e o respetivo ganho económico estimado por milheiro de rolhas face ao percurso atualmente utilizado.

Tabela G.1: Referências de destino propostas para o reaproveitamento dos defeitos dimensionais.

Artigo	Desdobramento	Referência de destino em caso de excesso dimensional	Referência de destino em caso de défice dimensional	Ganho face ao percurso atual (€/ML)
RT NTTOP 26,5X19,7 BL N101 S0 E	RT NTTOP 26,5X19,7 BL N101 S0 ESC / RT DEF_MICRO 26,5X19,7 BL N101 S0	–	RT NTTOP 26,5X19,5 BL N101	4,14 €
RS CPC_NEUT 25X19,5 CF N101 S4 E 0427P	RT NTTOP 25X19,5 CF N101 ESC / RT DEF_MICRO 25X19,5 CF N101	RT NTTOP 25X19,7 CF N101 –	– RT NTTOP 25X19,3 CF N101	0,65 € 0,67 €
RS CP_NEUT 27X23,2 CF N101 S4 E 3256M	RT NTTOP 27X23,2 CF N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X23,2 CF N101	–	RT NTTOP 27X23 CF N101	9,58 €
RS CP_NEUT 27X19 CF N101 S2 E 1366M	RT NTTOP 27X19 CF N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X19 CF N101	RT NTTOP 27X19,2 CF N101 –	– RT NTTOP 27X18,8 CF N101	0,48 € 0,48 €
RS CP_NEUT 27X19,8 CF N101 S5 E 2881M	RT NTTOP 27X19,8 CF N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X19,8 CF N101	RT NTTOP 27X20 CF N101 – –	– RT NTTOP 27X19,7 CF N101 RT NTTOP 27X19,5 CF N101	0,16 € 0,12 € 0,12 €
RT NEUT 27X19,2 CF N101 S4 E	RT NTTOP 27X19,2 CF N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X19,2 CF N101	RT NTTOP 27X19,3 CF N101 –	– RT NTTOP 27X19 CF N101	0,32 € 0,33 €
RS CP_NEUT 27X18,2 CF N101 S4 E 0G00P	RT NTTOP 27X18,2 CF N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X18,2 CF N101	RT NTTOP 27X18,3 CF N101 –	– RT NTTOP 27X18 CF N101	0,20 € 0,20 €
RS CP_NEUT 28,5X18,9 BL N101 S4 E 1873P	RT NTTOP 28,5X18,9 BL N101 ESC / RT DEF_MICRO 28,5X18,9 BL N101	–	RT NTTOP 28,5X19,1 BL N101	0,21 €
RS CP_NEUT 27X19,5 BL N101 S0 E 0625P	RT NTTOP 27X19,5 BL N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X19,5 BL N101	RT NTTOP 27X19,6 BL N101	–	0,47 €
RS CP_NEUT 27X19,6 BL N101 S4 E 0350P	RT NTTOP 27X19,6 BL N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X19,6 BL N101	–	RT NTTOP 27X19,5 BL N101	0,10 €
RS CP_NEUT 27X19,7 BL N101 S4 E 1999P	RT NTTOP 27X19,7 BL N101 ESC / RT DEF_MICRO 27X19,7 BL N101	–	RT NTTOP 27X19,5 BL N101	0,17 €

Anexo H – Diagramas de spaghetti dos Acabamentos Mecânicos

Este anexo apresenta os diagramas de spaghetti elaborados para os operadores observados no setor dos Acabamentos Mecânicos.

A Figura H.1 apresenta o diagrama de spaghetti dos operadores das boleadeiras.

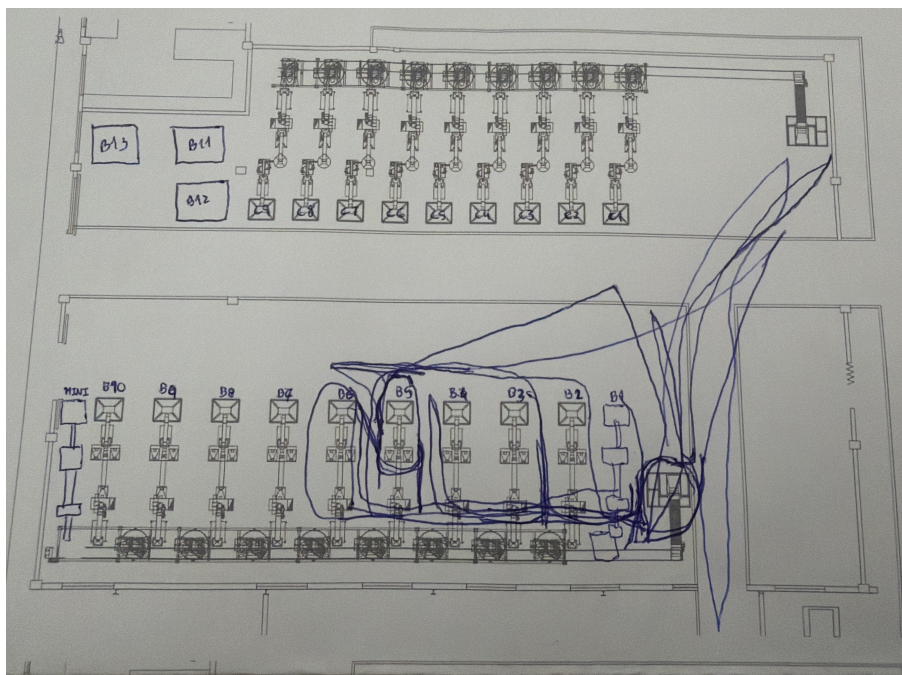


Figura H.1: Diagrama de spaghetti dos operadores das boleadeiras.

A Figura H.2 apresenta o diagrama de spaghetti dos operadores das chanfradeiras.

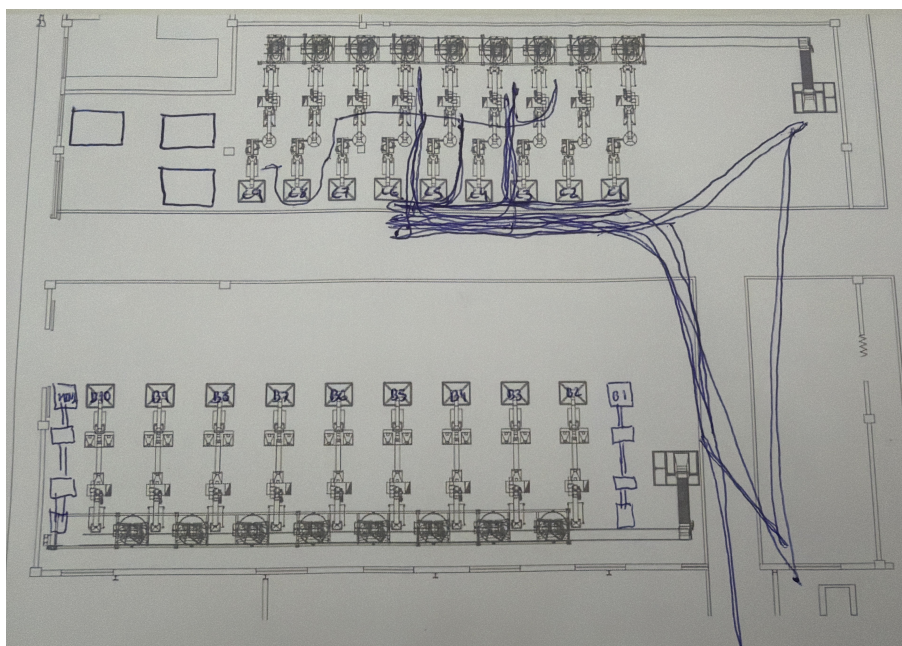


Figura H.2: Diagrama de spaghetti dos operadores das chanfradeiras.