



Análise e melhoria do processo produtivo no processamento de madeira

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Renato Amaral Macedo

Leiria, março de 2023



Análise e melhoria do processo produtivo no processamento de madeira

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Renato Amaral Macedo

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação do Professor Doutor Marcelo Rudolfo Calvete Gaspar e do Professor Doutor Mário António Simões Correia.

Leiria, março de 2023

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à empresa Martos & Companhia Lda por abrir portas a este projeto, em especial ao Júlio Marto e Pedro Santos pelo suporte que deram no decorrer destes últimos meses.

Aos professores Mário Correia e Marcelo Gaspar do Politécnico de Leiria, pelo apoio e orientação ao longo da realização deste projeto.

Aos professores Irene Ferreira e Armando Bastos que são para mim uma fonte de inspiração e motivação para alcançar os meus objetivos profissionais.

Por fim, à minha família por me apoiar em mais uma etapa académica e nunca me deixarem desistir nos momentos mais difíceis. Em especial à minha namorada Elodie que passou estes meses grávida da nossa primeira filha e que tem feito de tudo para que eu tivesse disponibilidade para terminar o mestrado.

Ainda, aos meus amigos por serem compreensivos, nas horas em que me ligaram a convidar para algo e eu abdiquei do convívio com eles para terminar esta etapa.

A recompensa vem com o esforço!

“Uma corrente é tão forte quanto o seu elo mais fraco.” – Eliyahu Moshe Goldratt

Resumo

Com o aumento de competitividade no mercado, com a crise económica e energética que atravessamos e com as crescentes preocupações ambientais, surge a necessidade das indústrias se reajustarem, implementando melhorias nos seus processos produtivos, com foco à redução de tempos e desperdícios de produção e assim baixar os seus custos. Tornando-se mais competitiva e sustentável.

O presente projeto foi realizado na empresa Martos & Companhia Lda., concretamente na linha de serragem para a produção de paletes.

Este projeto tem como principal objetivo analisar o processo de serragem da empresa e mostrar as vantagens da utilização da Simulação Industrial propondo melhorias que proporcionem a redução de custos produtivos.

Neste trabalho são descritos conceitos das ferramentas utilizadas. É definido, descrito e analisado o processo de serragem.

Foi projetada uma simulação industrial aproximada da realidade, no Tecnomatix® Plant Simulation, software da Siemens, que possibilitou uma análise do processo de forma digital.

Posteriormente, realizou-se uma pesquisa por soluções existentes no mercado capazes de responder às necessidades do processo, que foram incorporadas no plano de simulação a fim de monitorizar a sua influência no processo, sem que houvesse a necessidade de proceder a alterações na linha de serragem.

Por último, foi proposto um plano de ações a implementar na linha em estudo e desenvolvidas as conclusões finais deste projeto.

Com este projeto foi possível obter uma melhoria da capacidade produtiva do processo, em cerca de 15,3%.

Palavras-chave: Melhoria de Processos, *Lean Manufacturing*, Processamento de Madeiras, Simulação Industrial

Abstract

With the increasing competitiveness in the market, with the economic and energy crisis we are going through and with the growing environmental concerns, the need arises for industries to readjust, implemented improvements in their production processes, with a focus on reducing production time and waste and lower your costs. Becoming more competitive and sustainable.

The present project was carried out at the company Martos & Companhia Lda., on the sawing line for pallet production.

The main objective of this project is to analyse the sawing process of the company and show the advantages of using Industrial Simulation proposing improvements that provide a reduction in production costs.

In this paper concepts of the tools used are described. The sawing process is defined, described, and analysed.

An industrial simulation was designed that approximates reality in Tecnomatix® Plant Simulation, Siemens software, that made it possible to analyse the process in a digital way.

Subsequently, a search was conducted for existing solutions in the market capable of responding to the needs of the process, that were incorporated into the simulation plan to monitor their influence on the process, without the need to make any changes to the sawing line.

Finally, a plan of actions to be implemented on the line under study was proposed and the final conclusions of this project were developed.

With this project it was possible an improvement in the productive capacity of the process, by about 15,3%.

Keywords: Process Improvement, Lean Manufacturing, Wood Processing, Industrial Simulation

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	x
Lista de siglas	xiii
1. Introdução	1
1.1. Motivação e Enquadramento	1
1.2. Contextualização do setor	1
1.3. Apresentação da Empresa	2
1.4. Objetivos.....	4
1.5. Metodologia.....	4
1.6. Organização do relatório	5
2. Estado de Arte.....	6
2.1. Lean Manufacturing	6
2.1.1. Origem.....	6
2.1.2. O que é a metodologia <i>Lean</i> ?	6
2.1.3. Método.....	7
2.2. Os MUDA do <i>Lean Manufacturing</i>	8
2.3. Ferramentas da qualidade	9
2.4. Indicadores de desempenho (<i>Key Performance Indicators</i> - KPI's)	10
2.5. Índice global de eficácia dos equipamentos (<i>Overall Equipment Effectiveness</i> – OEE)	10
2.6. Simulação Industrial	11
2.7. O software Tecnomatix® Plant Simulation	12
3. Descrição do Processo	15

3.1.	Fluxograma do processo	16
3.2.	Análise do Produto	18
3.2.1.	Análise da matéria-prima	20
3.3.	Descrição do Processo Geral	21
3.3.1.	Serra 1	22
3.3.2.	Serra 2	23
3.3.3.	Serra 3	23
3.3.4.	Serra 4	24
3.4.	Descrição da linha de serragem de madeiras.....	26
3.4.1.	Serra 1	26
3.4.2.	Serra 2	27
3.4.3.	Serra 3	28
3.4.4.	Serra 4	28
3.4.5.	Transportadores	30
4.	Análise do Processo Produtivo	33
4.1.	Simulação Industrial da linha atual	33
4.2.	Resultados da simulação da linha atual	38
4.3.	Análise de sintomas do processo	42
4.4.	Soluções existentes no mercado.....	44
4.4.1.	Proposta de Layout.....	49
4.5.	Simulação de vários cenários	51
4.5.1.	Cenário 1	51
4.5.2.	Cenário 2	52
4.5.3.	Cenário 3	54
4.5.4.	Cenário 4	55
4.5.5.	Cenário 5	56
4.5.6.	Cenário 6	57
4.5.7.	Cenário 7	59
4.5.8.	Análise das simulações realizadas.....	61
4.6.	Análise do desperdício de material	63
4.7.	Análise de Produção.....	66
5.	Plano de Ações	69
6.	Conclusões.....	71
7.	Trabalhos Futuros.....	73

Referências Bibliográficas	74
Glossário	76

Lista de Figuras

Figura 1 - Instalações da Martos & Companhia, Lda.....	2
Figura 2 - Diagrama de Economia Circular da Martos & Companhia, Lda.....	3
Figura 3 - Modelação de Sistemas e Processos ^[10]	12
Figura 4 - Análise gráfica de processos ^[10]	13
Figura 5 - Simulação de desempenho energético de sistemas ^[10]	13
Figura 6 - Vista geral da linha de serragem.....	15
Figura 7 - Planta 2D da linha de serragem.....	16
Figura 8 - Fluxograma de processo de serragem.....	17
Figura 9 - Euro palete EPAL.....	18
Figura 10 - Marcações EPAL.....	18
Figura 11 - Pilha de troncos descascados.....	21
Figura 12 - Transportador de abastecimento da linha.....	21
Figura 13 - Serra 1 "Charriot".....	22
Figura 14 - Serra 2.....	23
Figura 15 - Serra 3.....	24
Figura 16 - Serra 4, réguas com espessura final.....	25
Figura 17 - Palete de réguas resultantes do processo.....	25
Figura 18 - Troca da folha de corte da serra 1.....	26
Figura 19 - Acumulação de serradura na serra 2.....	27
Figura 20 - Acumulação de serradura na serra 3.....	28
Figura 21 - Discos preparados a montar na serra 4.....	29
Figura 22 - Acumulação de serradura nos motores da serra 4.....	29
Figura 23 - Acumulação de resíduos nas correntes.....	30
Figura 24 - Acumulação de resíduos nos transportadores.....	31
Figura 25 - Acumulação de resíduos nos motores dos transportadores.....	31
Figura 26 - Deformação dos rolos causada pelo peso dos troncos.....	32
Figura 27 - Desgaste nas correntes e engrenagens.....	32

Figura 28 - <i>Layout</i> da linha de serragem	33
Figura 29 - Janela de atributos do transportador.....	34
Figura 30 - Janela de atributos da serra 1	35
Figura 31 - Atribuição da troca de folha de serra	35
Figura 32 - Atribuição de um operador à serra 1	36
Figura 33 - Atribuição de falhas na serra 2.....	36
Figura 34 - Atribuição de operador à serra 2.....	37
Figura 35 - Atributos dos operadores	38
Figura 36 - <i>Event-Controller</i> da simulação da linha atual.....	38
Figura 37 - Relatório da simulação da linha atual	39
Figura 38 - Taxa de ocupação dos equipamentos	40
Figura 39 - Estado do Equipamentos.....	41
Figura 40 - Estado dos Operadores.....	41
Figura 41 - LSF – Alimentador toro a toro para linhas de serragem de alta velocidade ^[21]	45
Figura 42 - PLD – Tapete robusto de alta velocidade para troncos ^[21]	45
Figura 43 - Transportador de Correntes ^[21]	46
Figura 44 - Transportador de rolos ^[21]	46
Figura 45 - VTZ 1400 – serras de fita verticais ^[21]	47
Figura 46 - HTZ 1000 – serras de fita horizontal ^[21]	47
Figura 47 - Linha de multi serras ^[21]	48
Figura 48 - Sistema de scanner e controlo digital ^[21]	49
Figura 49 - Plano geral de uma linha de serragem ^[21]	49
Figura 50 – Estado dos operadores no cenário 1	51
Figura 51 - Relatório da simulação do cenário 1	52
Figura 52 - Estado dos equipamentos no cenário 2	52
Figura 53 - Estado dos operadores no cenário 2.....	53
Figura 54 - Relatório da simulação do cenário 2.....	53
Figura 55 - Estado dos operadores no cenário 3.....	54
Figura 56 - Relatório da simulação do cenário 3	54
Figura 57 - Estado dos operadores no cenário 4.....	55

Figura 58 - Relatório da simulação do cenário 4.....	55
Figura 59 - Estado dos operadores no cenário 5	56
Figura 60 - Relatório da simulação do cenário 5.....	56
Figura 61 - Estado dos equipamentos no cenário 6.....	57
Figura 62 - Estado dos operadores no cenário 6	58
Figura 63 - Relatório da simulação do cenário 6.....	58
Figura 65 - Estado dos operadores no cenário 7	60
Figura 64 - Estado dos equipamentos no cenário 7.....	60
Figura 66 - Relatório da simulação do cenário 7.....	61
Figura 67 - Separação de costeiros.....	63
Figura 68 - Separação de pranchões fora de cota	64
Figura 69 - Linha de aproveitamento de subprodutos	64
Figura 70 - Serrote de aproveitamento de réguas.....	65
Figura 71 - Produção mensal de réguas em 2021.....	66
Figura 72 - Produção mensal de réguas em 2022.....	66
Figura 73 - Produção de Réguas 2021 e 2022.....	67
Figura 74 – Padrão de Produção de Réguas nos meses homólogos de 2021 e 2022.....	67
Figura 75 - Diferencial entre média de produção anual e média de produção dos meses homólogos	68

Lista de siglas

KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PLC	Controlador Lógico Programável
STP	Sistema Toyota Produção
EPAL	<i>European Pallet Association</i>

1. Introdução

Neste capítulo faz-se um enquadramento e contextualização do presente projeto, seguida de uma breve apresentação da empresa em estudo. Depois, são descritos os principais objetivos deste projeto e a metodologia e organização do projeto e respetivo relatório.

1.1. Motivação e Enquadramento

Este projeto é realizado no âmbito da unidade curricular de Projeto, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, pretende-se desenvolver processos de melhoria contínua, tendo como tema: Análise e melhoria do processo produtivo no processamento de madeira.

De referir que este projeto foi realizado na empresa Martos & Companhia Lda., que se dedica essencialmente à produção de Paletes em madeira e Pellets para aquecimento.

A escolha do tema deve-se ao facto da empresa necessitar de equilibrar a produção de duas secções em particular, a secção de montagem de paletes com a serragem de madeiras, de forma que a linha de serragem consiga responder às necessidades da montagem.

Este projeto descreve o processo de serragem de madeiras, com o intuito de analisar e propor melhorias à empresa em estudo.

1.2. Contextualização do setor

A Martos & Companhia Lda., dedica-se no caso em estudo, à produção de paletes de madeira, que tem como missão proporcionar aos seus clientes a melhor experiência ao usar as suas paletes, tendo por base os princípios da economia circular.

Com o aumento das preocupações e responsabilidades ambientais, com o forte crescimento da competitividade no mercado, nomeadamente produtos substitutos produzidos noutros materiais, como plástico, este setor tem vivido períodos bastante competitivos, onde o preço final é um dos principais argumentos na compra do produto, direcionando as empresas a melhorar o seu posicionamento no mercado.

Juntando a tudo isso, a instabilidade económica e energética atual leva a que a reorganização e melhoria do processo produtivo se tornem prioritárias e a forma que as empresas encontram de responder ao contexto atual do setor.

1.3. Apresentação da Empresa

A Martos é uma referência na fileira florestal nacional tendo como atividades a exploração florestal, o comércio e transformação de madeira e a produção de paletes. Com um historial de atividade de mais de 40 anos (fundação em 1981), a Martos é já neste momento uma referência nacional no mercado de madeiras, paletes e subprodutos, Figura 1. ^[1]

A organização pauta por um crescimento económico sustentado e responsável apoiado na utilização dos recursos com base na Economia Circular nomeadamente pela prática da reflorestação e gestão florestal, pela transformação e valorização de todos os seus subprodutos, pela produção de biomassa para fins energéticos e na recuperação de produtos em fim de vida. ^[1]

A Martos & C^a, Lda. declara o seu compromisso com a implementação e manutenção do sistema de gestão atendendo aos requisitos normativos das iniciativas de certificação ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, FSC (*Forest Stewardship Council*) e do PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes*). ^[1]



Figura 1 - Instalações da Martos & Companhia, Lda.

Tem como visão, ser reconhecida como uma empresa que faz da economia circular uma forma de se tornar mais sustentável, quer do ponto de vista económico, ambiental e social. [1]

Considera que a sua missão é:

- Produzir paletes e pellets tendo por base os princípios da economia circular, Figura 2;
- Querem proporcionar aos seus clientes a melhor experiência ao usar as suas paletes e os seus pellets;
- O seu comprometimento é valorizar todos os sobrantes que resultam da produção das paletes em novos materiais para a produção de energia renovável;
- Garantir o uso integral de toda a matéria-prima que entra na Martos. [1]

Acredita nos seus valores:

- Orientação para o cliente, satisfação integral das suas necessidades;
- Excelência de produção, eficácia e eficiência ao serviço da unidade produtiva;
- Responsabilidade ambiental, reflorestação das zonas intervencionadas;
- *Just-in-time*, filosofia de entrega cientificamente ajustada ao pedido do cliente.

[1]

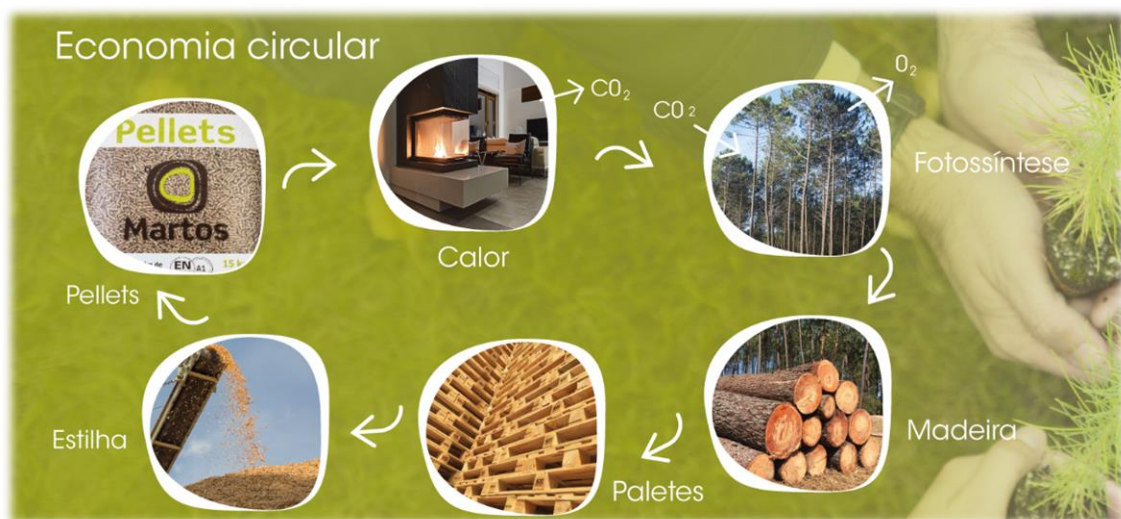


Figura 2 - Diagrama de Economia Circular da Martos & Companhia, Lda.

1.4. Objetivos

Este projeto tem como principal objetivo reduzir custos de produção, através da análise e proposta de melhorias no processo de processamento de madeiras, com foco na produção de réguas para paletes.

Para atingir o objetivo geral, é necessário atingir alguns objetivos intermédios, como:

- Definir e descrever o processo;
- Analisar o processo;
- Encontrar soluções existentes no mercado;
- Propor ações de melhoria.

Um segundo objetivo proposto é, demonstrar o impacto e benefícios que a Simulação Industrial apresenta ao ser utilizada como ferramenta de engenharia para projetos de melhoria contínua, permitindo recriar cenários virtuais sem modificar o *layout* industrial antes de avançar com investimentos.

1.5. Metodologia

Com o objetivo de cumprir os objetivos mencionados, a metodologia adotada para a realização deste projeto teve como base a metodologia DMAIC, dividindo-se em 5 fases.

A primeira fase passou por conhecer (Definir) o setor, o produto e a matéria-prima e perceber os fatores influenciadores do processo.

Na segunda fase, procedeu-se à descrição do processo e da linha de serragem, com levantamento de indicadores e recolha de dados no chão de fábrica (Medir).

A terceira fase consistiu em Analisar o processo, o desperdício gerado e os dados de produção. Expondo os sintomas do processo o mais detalhado quanto possível.

Na quarta fase, realizou-se a simulação da linha atual, efetuou-se uma pesquisa por soluções existentes no mercado que possibilitem a melhoria do processo e procedeu-se à simulação industrial de possíveis melhorias da linha, por fim, compararam-se os cenários testados. (Melhorar)

Na quinta e última fase, foram propostas ações de melhoria, nomeadamente, aplicação de ferramentas de qualidade, ações de manutenção, formação e formas de Controlar e assegurar a continuação das práticas de melhoria contínua.

Foram também, expostas todas as conclusões finais do projeto.

1.6. Organização do relatório

O presente relatório apresenta-se organizado em 7 capítulos, subdivididos em diversos tópicos.

No primeiro, uma parte introdutória ao projeto, com a motivação e enquadramento, contextualização do setor, a apresentação da empresa e objetivos propostos, metodologia utilizada e a organização do relatório.

O segundo capítulo apresenta a filosofia *Lean*, uma pesquisa bibliográfica relativa às metodologias, conceitos, ferramentas e indicadores abordados no projeto.

No terceiro capítulo, é descrito o processo de serragem de madeiras da linha em estudo. Onde se analisa o produto final e a matéria-prima utilizada, apresentado o fluxograma do processo. É apresentada uma descrição detalhada do processo e descrita também a linha de serragem, as serras e transportadores que compõem este processo.

O quarto capítulo expõe a análise do processo produtivo, com a simulação da linha atual, a análise de produção e sintomas do processo, análise do desperdício gerado pelo processo, apresenta as soluções encontradas no mercado e por fim várias simulações de possíveis melhorias.

O quinto capítulo apresenta a proposta de plano de ações de melhoria a implementar na linha de serragem em estudo.

O sexto capítulo, exhibe as conclusões finais deste projeto, as dificuldades e mais valias encontradas.

O capítulo final elenca propostas de trabalhos futuros.

2. Estado de Arte

2.1. Lean Manufacturing

2.1.1. Origem

É comum dizer-se que o *Lean Manufacturing* nasceu dentro da Toyota, no Japão. Mas se recuarmos um pouco antes da criação da Toyota Motor Company em 1937 vimos que já existia alguns conceitos fundamentais desse sistema.

No Início do século quando Sakichi Toyoda iniciou estudos sobre a automação de teares manuais e é então fundada a Toyoda Automatic Loom Works.

Com o desenvolvimento dos teares o homem foi separado da máquina e nasce o conceito de “automação”.

Em 1937 surge a Toyota Motor Company, com o início de pesquisas com motores a gasolina de pequeno porte. Com a economia japonesa arrasada após a segunda guerra mundial, a Toyota adota como estratégia a eliminação de desperdícios, foram 7 grandes desperdícios assim definidos e concentradas as ações na redução e eliminação destes. Tornou-se assim na base do Sistema Toyota Produção (STP). Conhecido por *Lean Manufacturing*, no Ocidente.

A Toyota crescia e apresentava balanços financeiros positivos, ano após ano, através dos esforços no combate ao desperdício. Em 2007 recebeu como recompensa a liderança mundial do mercado automóvel. ^[2]

2.1.2. O que é a metodologia *Lean*?

É uma abordagem sistemática para identificar e eliminar desperdícios ou excessos, através da melhoria contínua, com fluxo de produto puxado pelo cliente, procurando a qualidade total.

Lean encontra-se diretamente associado ao conceito de magro, neste caso sem atividades que não acrescentam valor.

Esta metodologia assenta na otimização do fluxo de produção através do aumento da eficiência e da produtividade dos trabalhos. Uma filosofia como esta considera desperdício

toda e qualquer mobilização de recursos para fins que não a criação de valor na cadeia de produção, sendo o principal objetivo a sua eliminação.

A otimização do fluxo de produção passa em grande parte pela automação de processos e pelo ajuste no momento certo “*Just In Time*” das suas necessidades, o que significa que a produção é controlada pela necessidade. A produção é “puxada” pelo consumidor e não “empurrada” para ele, assim fica assegurado que apenas se produz o necessário quando é necessário e da forma mais adequada. [2]

2.1.3. Método

Esta metodologia é adequada especialmente em processos de produção repetitivos. Sendo possível fazer em paralelo com as melhores práticas administrativas:

- Definir o que é valor, especialmente a especificação do objetivo a ser atingido, de forma a atender as necessidades do cliente e evitando entregar mais do que é necessário.
- Identificar o fluxo de criação de valor, equivale a fazer um bom planeamento executivo, criando uma estratégia de execução do projeto que seja a melhor possível.
- Eliminar os desperdícios na criação de valor, equivale a uma boa execução do projeto, com especial atenção para as questões de qualidade.
- Produzir apenas aquilo que é demandado, fazer certo da primeira vez o que está especificado como objetivo.
- Aplicar uma filosofia de melhoria contínua, definir um plano de melhoria contínua. [3]

2.2. Os MUDA do *Lean Manufacturing*

Foram alistados sete grandes desperdícios, responsáveis por 95% do total dos custos de desperdícios. [4]

Sendo estes desperdícios vistos como aspetos negativos, as metodologias *Lean* aplicadas ao sistema produtivo da Toyota visavam sobretudo atuar sobre os desperdícios, de forma a ser possível obter benefícios concretos. [4]

- Transporte – Ocorre quando a movimentação de recursos não agrega valor ao produto. A movimentação excessiva de materiais pode causar perdas financeiras aumentando custos associados a espaço, maquinaria, tempos extra e danos à qualidade do produto;
- Inventário – Frequentemente é o resultado de empresas que mantêm stocks “*just in case*” para colmatar pedidos inesperados, salvaguardar atrasos na produção, fraca qualidade. Muitas vezes os inventários excessivos não estão de acordo com as necessidades do cliente e não agregam valor. Apenas aumentam custos de depreciação e armazenagem;
- Movimentação – Movimentações de equipamentos ou operadores tornam-se complicados e desnecessários. Podem causar danos e aumentar o tempo de produção. Os operadores devem fazer o mínimo possível para terminar uma tarefa;
- Espera – Sempre que produtos ou tarefas não são movidos, o desperdício ocorre. Facilmente detetável, qualquer produto à espera de ser entregue, equipamentos a aguardar por manutenção ou informação a aguardar aprovação;
- Produção excessiva – Produção que excede o pedido do cliente e que este não está disposto a pagar, não acrescenta valor e leva a custos adicionais. Este desperdício desencadeia os outros 6 MUDA. Produtos ou tarefas excessivas exigem transporte, movimentação, tempo de espera e retrabalho;
- Processamento excessivo – Reflete o trabalho que não acrescenta valor ou excede o valor que é exigido. A adição de recursos extra ao processo ou um produto que não terá utilidade aumentam os custos da empresa;
- Defeitos – Podem causar retrabalho ou mesmo iniciar o processo do zero. O defeito ao voltar à produção custa mais tempo, pode necessitar de um espaço de retrabalho e conseqüentemente uso adicional de mão de obra e ferramentas.

Posteriormente foi acrescentado o oitavo desperdício à lista, muito valioso para a melhoria da empresa.

- Conhecimento – O conhecimento intelectual e habilidades dos colaboradores que não são bem aproveitadas. Muitas vezes são tratados como robôs, que servem apenas para executar determinada função. Incentivar o intelectual humano é uma grande estratégia para a motivação profissional.

2.3. Ferramentas da qualidade

A resolução de problemas para a Gestão de Qualidade pode ser dividida em duas fases:

- Identificação do problema, que inclui a decisão sobre o problema a considerar prioritário e a descrição da extensão e caracterização do problema;
- Análise do problema, que engloba a listagem de todas as causas potenciais do problema, a seleção das causas mais importantes do problema, o desenvolvimento de um plano de implementação efetiva das soluções e a implementação das soluções e dos procedimentos que assegurem que o problema foi eliminado.

Para proceder a resolução de problemas existem, entre outras, as consideradas 7 ferramentas básicas da qualidade:

- Diagrama de Pareto;
- Histograma;
- Diagrama de Causa-Efeito;
- Folhas de Verificação;
- Fluxograma;
- Gráficos;
- Cartas de Controle.

[5]

2.4. Indicadores de desempenho (*Key Performance Indicators - KPI's*)

De nada adianta executarmos as diferentes metodologias de melhoria contínua se não desenvolvermos um método eficiente para acompanhar seus resultados. Para isso, os indicadores de desempenho são cruciais no acompanhamento da aplicação VSM.

Valores como o *takt time* e *lead time* de produção, performance, tempo máximo de ciclo, entre outros devem ser acompanhados constantemente.

Como o próprio nome indica, os indicadores são a chave para o progresso em direção ao resultado pretendido. Os KPI's focam-nos para a melhoria estratégica e operacional e criam uma base analítica para a tomada de decisões e foco no que é mais importante.

Assim, gerir com KPI's significa trabalhar para melhorar os indicadores principais, que mais tarde geram sucesso.

2.5. Índice global de eficácia dos equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness – OEE*)

O OEE é um indicador que expressa o grau de utilização de um equipamento, em percentagem, considerando a situação ideal velocidade máxima, sem paragens ou reprocesso com qualidade total.

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo de operação}}{\text{Tempo de produção planeado}} > 90\%$$

$$Desempenho = \frac{\text{Nº de Unidades produzidas} \times \text{Tempo ideal de ciclo}}{\text{Tempo de operação}} > 95\%$$

$$Qualidade = \frac{\text{Nº de Unidades produzidas} - \text{Nº Unidades com defeito}}{\text{Nº de Unidades produzidas}} > 99\%$$

$$OEE > Disponibilidade(90\%) \times Desempenho(95\%) \times Qualidade(99\%) = 85\%$$

Para se considerar um OEE aceitável, o grau de utilização deve girar em torno dos 85%, embora esta meta possa variar de empresa para empresa ou entre os diversos setores de atividade.

2.6. Simulação Industrial

A simulação industrial é uma realidade e as empresas que contam com esta ferramenta estão um passo à frente da sua concorrência.

O uso de métodos digitais que simulam processos reais vem capacitar gestores a prever os efeitos causados pelas diversas alterações possíveis nos processos produtivos, apoiar à prevenção de riscos e perdas e promove a inovação. Isto é, aumenta a competitividade, diminui a ociosidade e maximiza resultados. [7]

Por outras palavras, a simulação e otimização industrial acresce inúmeras vantagens sendo, desta forma, fundamental para o setor industrial. [8]

- Possibilidade de testar mudanças na linha de produção sem custos;
- Capacidade de solucionar potenciais problemas antes do início do processo produtivo;
- Otimização da linha de produção;
- Visão aprofundada da produção;
- Aumento da previsibilidade dos processos de fabricação e cronogramas de entrega;
- Melhoria na comunicação entre gestores e gerência.

A otimização e simulação industrial passa por diversas etapas na sua implementação, como: [8]

1. Mapeamento;
2. Identificação de falhas;
3. Eliminação de etapas desnecessárias;
4. Melhorias na utilização dos recursos;
5. Formalização do novo método.

Em suma, apostar na otimização de processos utilizando métodos digitais é o futuro da competitividade, permite a realização de testes de baixo custo, sem a necessidade de parar a

produção, permite criar produtos sem a necessidade de longos planejamentos e reorganização do chão de fábrica, reduzindo os custos de produção. [8] [9]

Neste projeto optou-se por utilizar o software da Siemens, Tecnomatix Plant Simulation, dado que existe uma versão com licença de estudante disponibilizada para a comunidade acadêmica do IPL, sendo este explorado em âmbito curricular no decorrer do curso de mestrado.

2.7. O software Tecnomatix® Plant Simulation

O Tecnomatix® Plant Simulation, da Siemens, permite modelar, simular, explorar e otimizar sistemas logísticos e os seus processos, Figura 3. Estes modelos permitem a análise do fluxo de materiais, utilização de recursos e logística para todos os níveis de planejamento de produção, desde instalações de produção globais, a fábricas locais e linhas específicas, bem antes da execução da produção. [10]

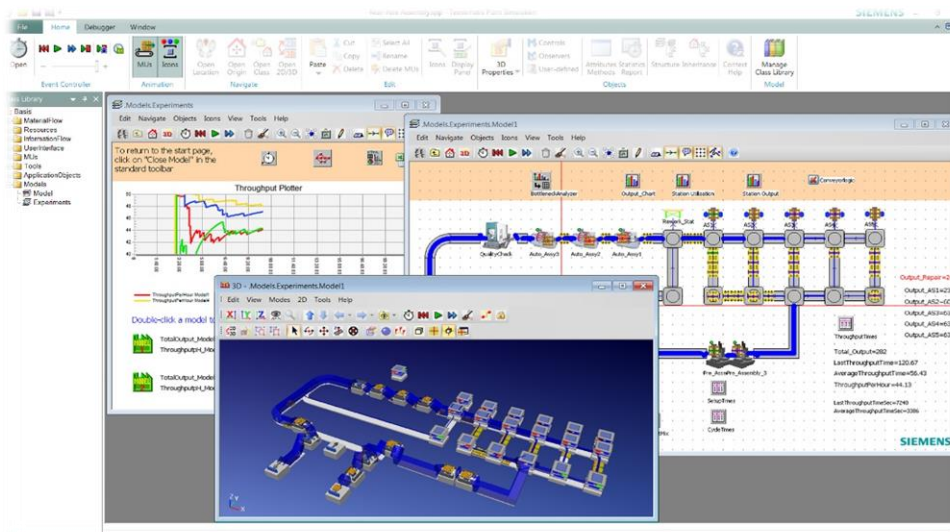


Figura 3 - Modelação de Sistemas e Processos [10]

O Tecnomatix® fornece simulação de eventos discretos e recursos de análise estatística para otimizar o manuseamento de materiais, logística, utilização de máquinas e requisitos de mão de obra. É possível aumentar a precisão e eficiência da produção enquanto se melhora o rendimento e o desempenho geral do sistema. Poderosos recursos de visualização gráfica, como na Figura 4, gráficos e relatórios, algoritmos genéticos e ferramentas de testagem permitem avaliar o comportamento dos sistemas de produção para tomar decisões rápidas e assertivas. [10]

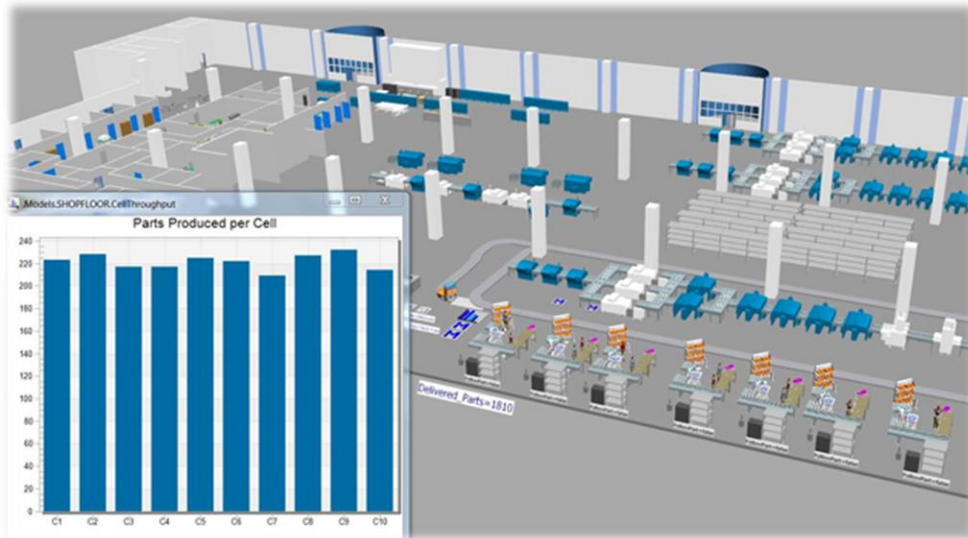


Figura 4 - Análise gráfica de processos [10]

Os modelos do Tecnomatix Plant Simulation são usados para otimizar o rendimento, aliviar gargalos e minimizar trabalho em processo. Saídas gráficas para detecção automática de gargalos, análise de rendimento, utilização de máquinas, recursos e *buffers*, diagramas Sankey e gráficos de Gantt estão entre as muitas ferramentas disponíveis para avaliar o desempenho dos sistemas de produção. Os modelos de simulação levam em consideração cadeias de suprimentos internas e externas, recursos de produção e processos de negócios, permitindo analisar dinamicamente o impacto de diferentes variações de produção. [10]

Permite otimizar o desempenho e o uso de energia dos sistemas de produção existentes tomando medidas que foram verificadas com modelos de simulação. Inclui um analisador de energia integrado que mostra o consumo de energia atual, máximo e total, Figura 5.

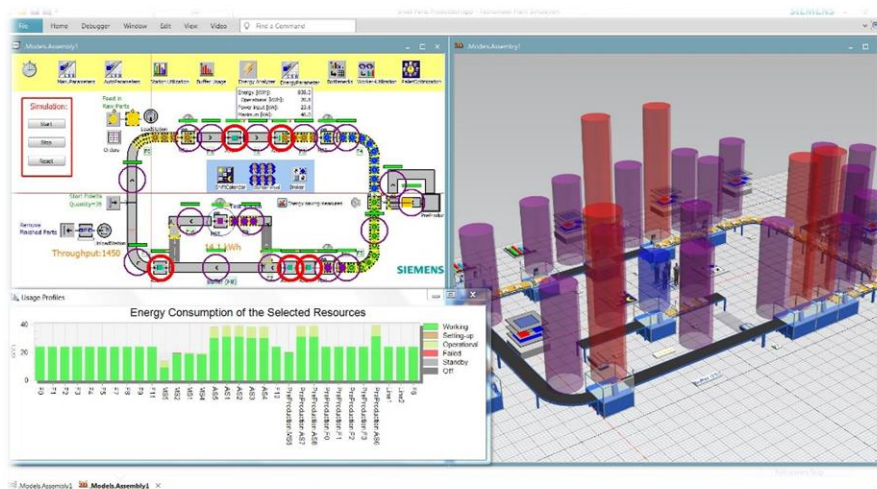


Figura 5 - Simulação de desempenho energético de sistemas [10]

Um *plotter* de energia integrado visualiza dinamicamente o consumo de energia durante a simulação, permitindo visualizar o uso de energia durante o horário de trabalho e intervalos programados, identificado facilmente áreas para potenciais economias de energia. ^[10]

O Tecnomatix® Plant Simulation permite que um modelo virtual seja vinculado ao controle real do chão de fábrica para simular a produção real. Com a abordagem de simulação integrada, controle, automação, transporte de materiais e toda a operação de engenharia podem ser testados e otimizados. Tanto um Controlador Lógico Programável (PLC) virtual como um real podem ser conectados, esta solução é flexível e pode ser usada em conjunto com qualquer PLC. ^[10]

3. Descrição do Processo

Para que a simulação do processo seja o reflexo daquilo que se passa na realidade é importante entender o processo de serragem. Assim foi realizada a análise do produto e da matéria-prima utilizada, desenhado o fluxograma do processo e descrito o processo e equipamentos envolvidos na linha de serragem, Figura 6.



Figura 6 - Vista geral da linha de serragem

3.1. Fluxograma do processo

O primeiro passo para descrever o processo, foi entender a disposição de toda a linha de serragem, para isso a empresa disponibilizou a planta 2D. Esta, vem auxiliar essencialmente na definição do fluxograma, na medição de cotas, na modelação da simulação virtual e sinalização de locais relevantes na linha.

Esta unidade de produção apresenta um layout em “U”.

Assim, a figura 7, apresenta a linha desde o alimentador de troncos que se encontra em parte fora do pavilhão, sinalizado com o número 2, até à palete que recebe as régua produzidas, marcada com um triângulo.

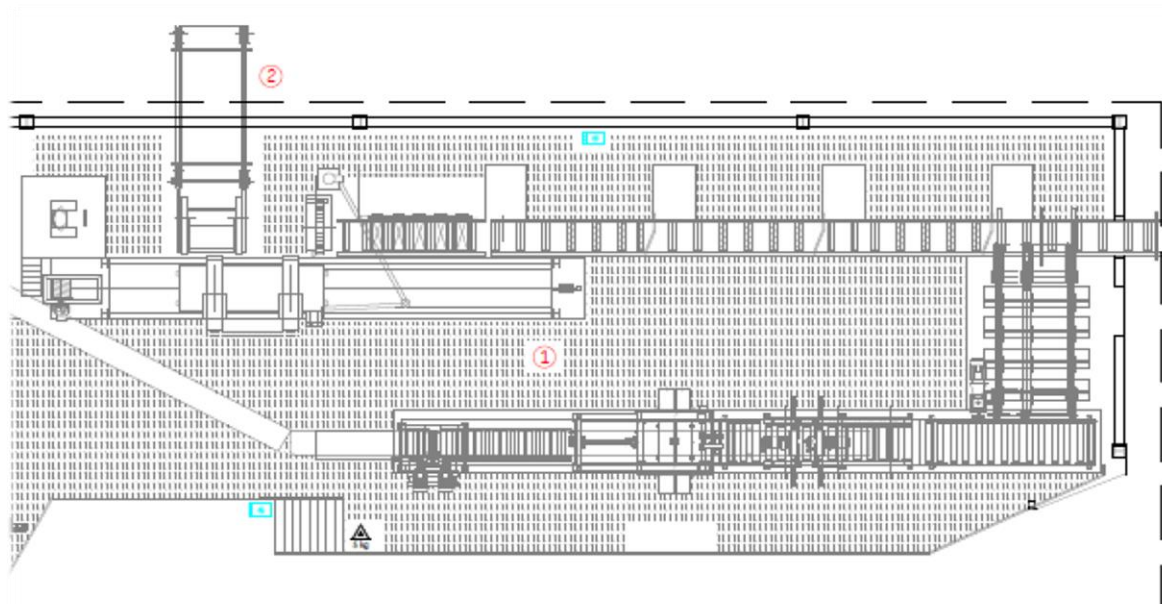


Figura 7 - Planta 2D da linha de serragem

A Figura 8 apresenta o fluxo do processo de serragem. Antes da pilha de troncos, existe um descascador que faz uma pré-seleção dos troncos conforme o diâmetro e comprimento.

Estes troncos são depois separados na pilha de troncos descascados consoante as dimensões.

Aqui, os troncos, entram no processo pelo alimentador até à serra 1 que os corta em pranchões. Seguem pelos transportadores até à serra 2 que corta os pranchões com o comprimento final das régua.

Logo de seguida, os pranchões passam na serra 3 que aparas as laterais curvas e as deixa planas. Na última serra, são cortados com a espessura exigida para obter as régua finais do processo.

Por fim, as régua são recolhidas para uma palete de armazenamento, que segue para armazém intermédio entre o processo de serragem e a secção de montagem de paletes.

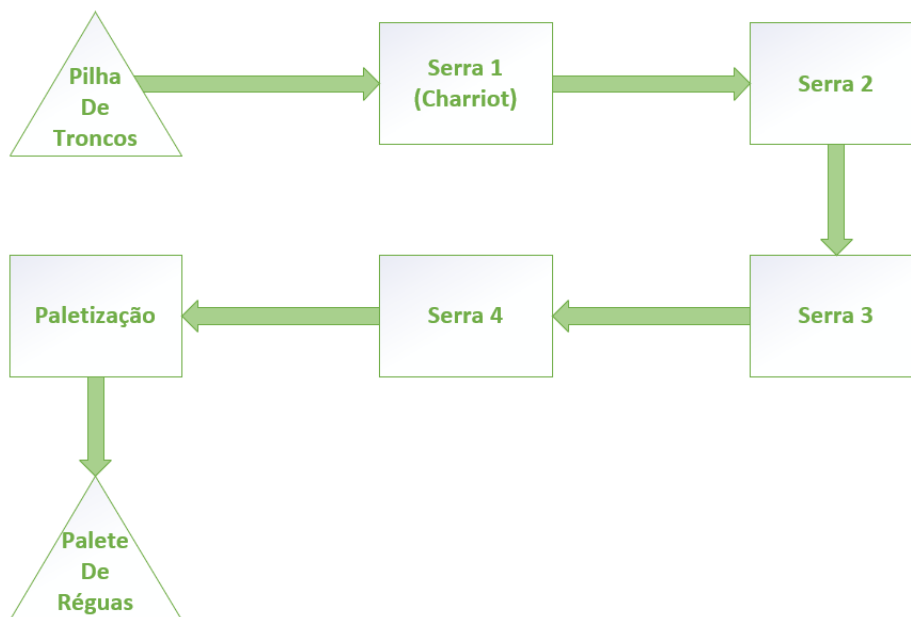


Figura 8 - Fluxograma de processo de serragem

Nos próximos pontos faz-se a análise do produto e a descrição detalhada do processo e dos recursos utilizados na linha de serragem.

3.2. Análise do Produto

Uma paleta é, nada mais que, uma plataforma idealizada estrategicamente para maximizar o espaço de armazenamento e tempo de movimentação de cargas, sendo uma solução para a padronização de prateleiras, circulação e equipamentos necessários para transportar produtos.

Por exemplo, as Euro paletes possuem medidas e características padronizadas, definidas pela *European Pallet Association* (EPAL), sendo a dimensões exigidas de 1200x800x144mm, conforme mostra a Figura 9.^[12]



Figura 9 - Euro pallet EPAL

Estas paletes possuem ainda algumas marcações, como as indicadas na Figura 10:

- 1/2 - Marca da European Pallet Association (marca registada)
- 3 - Marca IPPC de acordo com as regras nacionais de proteção fitossanitária (obrigatório desde 01/01/2010 para paletes EPAL)
- 4 - Código do país
- 5 - Número de registo dado pela Autoridade responsável pela fitossanidade
- 6 - Método de tratamento (tratamento térmico)
- 7 - Grampo de controlo EPAL (obrigatório)
- 8 - Agrafo de reparação (apenas se a paleta for uma paleta EPAL reparada)
- 9 - Número da licença - Ano - Mês

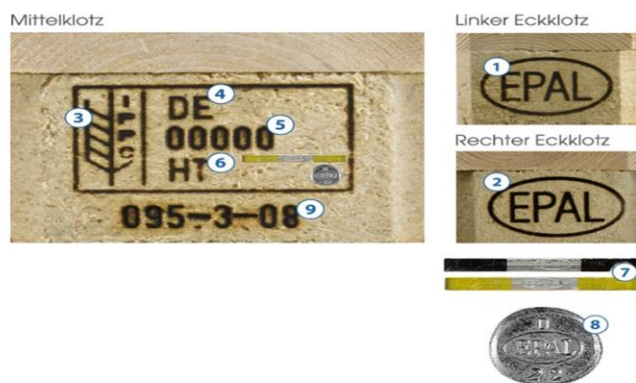


Figura 10 - Marcações EPAL

As paletes, neste caso em madeira, são essenciais nos vários passos da cadeia de abastecimento. A paleta é bastante utilizada nos processos de armazenagem e transporte de mercadorias. ^[13]

Este produto traz aos processos benefícios operacionais, tais como:

- Seletividade de produtos, possibilidade de empilhar vários volumes;
- Rapidez em armazenar e movimentar conforme os pedidos, mesmo mercadorias pesadas;
- Otimização de espaço, podendo empilhar sem danificar e aproveitar área vertical;
- Reduz o risco de danificar as mercadorias;
- Reduz a mão de obra humana em relação à carga;
- Padroniza o espaço de armazenagem;
- Facilita a gestão de stock e inventários. ^[13]

Apesar da paleta de madeira concorrer com outros tipos de materiais, como o plástico e metais, esta apresenta ainda inúmeras vantagens na sua utilização:

- Preço mais baixo;
- Facilidade de reparação e substituição de algum elemento danificado;
- Paletes em fim de vida podem ser transformadas e recicladas;
- Facilidade em desenhar e personalizar características e dimensões. ^[13]

Em contrapartida, conta com algumas desvantagens face às suas concorrentes:

- Aumento de peso no transporte, aéreo ou marítimo;
- Dificuldades de limpeza, aumentando o risco de desenvolvimento de fungos e bactérias;
- Risco para a segurança e manuseamento dos produtos armazenados devido a lascas e pregos salientes;
- Frequentes custos de manutenção. ^[13]

Assim, podendo ter várias utilizações, estas possuem diferentes modelos e características consoante o fim a que estão destinadas:

- Paletes descartáveis;
- Paletes de movimentação;
- Paletes retornáveis;

- Paletes de duas entradas;
- Paletes de quatro entradas;
- Paletes PBR (funcionam como vasilhames);
- Paletes dupla face;
- Paletes para exportação. ^[13]

Para as empresas que dependem das paletes para o transporte e armazenamento dos seus produtos, existe a difícil tarefa de fazer às paletes em fim de vida. Devido à grande quantidade disponível no mercado, a oferta está maior que a procura para as empresas de reciclagem, deixando as empresas com o excesso de paletes. ^[13]

Em algumas indústrias, vão-se amontoando ocupando áreas consideráveis na empresa, causando transtornos e conseqüentemente tomadas soluções rápidas.

Uma solução possível, eficiente e sustentável, sendo a madeira considerada um combustível renovável, «porque não transformar numa solução de sustentabilidade para a empresa?». Utilizar a madeira para o aquecimento/arranque de processos produtivos, climatização dos ambientes industriais e/ou administrativos, ou até mesmo na produção de eletricidade, garantindo uma certa autonomia na geração da sua própria energia.

3.2.1. Análise da matéria-prima

Para o caso da empresa em estudo, a matéria-prima é 100% nacional e provém essencialmente de pinho, podendo ser também aproveitada madeira de choupo.

As condições da matéria-prima, pouco influenciam no processo de serração, por exemplo a humidade. Contudo, casos como a concentricidade dos troncos, a presença de elementos metálicos e os “nós” naturais da madeira, causam dificuldades no processo.

3.3. Descrição do Processo Geral

Antes de se iniciar o processo de serragem, a matéria-prima é preparada num descascador e armazenada em pilha, Figura 11, selecionada por diâmetro e comprimento.

Conforme o planeamento da produção, o operador que efetua o abastecimento da linha recebe indicações de qual dimensão se adequa às necessidades da produção. Assim, o processo inicia-se pelo abastecimento da linha, Figura 12, efetuado por um operador de uma máquina agrícola que coloca os troncos no primeiro transportador que os leva até à primeira serra.



Figura 11 - Pilha de troncos descascados



Figura 12 - Transportador de abastecimento da linha

3.3.1. Serra 1

A primeira serra, apelidada de “*Charriot*”, Figura 13, possui uma serra bidirecional e é operada por uma pessoa necessariamente experiente que efetua os cortes nas duas direções longitudinais dos troncos.



Figura 13 - Serra 1 "Charriot"

São retirados os costeiros, isto é, as laterais do tronco, com o máximo aproveitamento e daqui resultam os pranchões. A altura dos pranchões é determinada pela necessidade de produção de paletes, esta cota influencia o número de pranchões que se consegue aproveitar de um tronco, tal como o diâmetro e as irregularidades das laterais.

Os costeiros seguem para uma linha de aproveitamento de subprodutos, como aglomerado ou *pellets*. E os pranchões fora da cota necessária para a produção das paletes, seguem para aproveitamento de outros constituintes das paletes.

Os pranchões seguem pelos transportadores automáticos de rolos até à segunda serra.

3.3.2. Serra 2

A serra 2, Figura 14, funciona de forma autónoma e corta os pranchões com o comprimento necessário, resultando em 2 ou 3 pranchões mais curtos. Como o corte é efetuado transversal à linha, obrigatoriamente o pranchão é parado para executar o corte.



Figura 14 - Serra 2

Aqui surge a linha de aproveitamento de subprodutos para a produção de aglomerados ou *pellets*, colocada por baixo da linha principal, acompanhando-a até ao final da linha recebe os resíduos inerentes à serragem da madeira.

3.3.3. Serra 3

Agora com o comprimento desejado, as peças passam pela terceira serra, Figura 15, que as alinha ao centro e aparas as laterais, que ainda fazem ligeira curva, sempre com máximo aproveitamento da largura.

Resulta daqui o pranchão com as cotas de comprimento e altura necessárias e largura aproximada para ser dividida pelo maior número de régua possíveis de obter.



Figura 15 - Serra 3

3.3.4. Serra 4

De seguida na serra de discos, Figura 16, que montados e alinhados verticalmente, definem e cortam-se as réguas com a espessura final pretendida.

Assim, a largura da régua resulta da altura inicial do pranchão e a largura do pranchão é dividida pela espessura necessária das réguas.

Por fim, à saída da quarta serra, estão duas operadoras a recolher as réguas, a efetuar o controlo dimensional e a acondicioná-las numa palete para que sigam para a secção de montagem, Figura 17.

Aqui é calculada a cubicagem e quantificada a produção em m³.



Figura 16 - Serra 4, régua com espessura final



Figura 17 - Palete de régua resultantes do processo

3.4. Descrição da linha de serragem de madeiras

3.4.1. Serra 1

A serra 1, “*Charriot*”, funciona no sentido longitudinal dos troncos, com uma folha de corte que permite efetuar a tarefa nos dois sentidos, poupando tempo de operação. Esta serra é operada manualmente por uma pessoa.

A folha de corte utiliza gasóleo como lubrificante de corte e é trocada a cada 10 horas de operação, com um tempo de paragem médio de 5 minutos. Como esta operação implica a paragem de toda a linha, a troca é realizada pela própria operadora da serra em conjunto com as duas operadoras da paletização e optam por fazê-lo junto à pausa de 10 minutos para o lanche da manhã, Figura 18.

Após a mudança de folha e o devido ajuste para que não se solte no decorrer do corte não é necessária qualquer afinação do equipamento.

De referir que, o intervalo entre trocas pode ser inferior quando sofre danos provocados pela presença de elementos metálicos na matéria-prima.



Figura 18 - Troca da folha de corte da serra 1

3.4.2. Serra 2

A serra 2, possui sensores e mecanismos que a possibilitam de operar de forma autónoma, posicionando os pranchões de forma a executar o corte transversal que define o seu comprimento.

Esta operação exige que o pranchão esteja imobilidade, logo este equipamento deixa de funcionar à velocidade da linha e passa a ter tempo de operação próprio. Esta operação causa, por isso, fila de espera nos transportadores que a antecedem.

Apesar de ser uma serra automática, devido à acumulação de resíduos nos sensores e mecanismos, Figura 19, necessita da atenção da operadora da serra 1 para responder prontamente a encravamentos evitando danos maiores.



Figura 19 - Acumulação de serradura na serra 2

3.4.3. Serra 3

A serra 3, também automática, centra os pranchões e apara as laterais de modo a deixar uma secção plana na lateral do pranchão. Este equipamento opera à velocidade de toda a linha, conforme vai recebendo os pranchões da serra anterior.

Como na serra anterior, a acumulação de serradura pode causar interferências nas leituras dos sensores e com isso desvios nos cortes, Figura 20.



Figura 20 - Acumulação de serradura na serra 3

3.4.4. Serra 4

A serra de disco, opera de forma automática, contudo a cada plano de produção é necessária a paragem para a afinação da distância entre os discos consoante a medida exigida para a produção das paletes, Figura 21.

É necessária especial atenção para esta serra, pois qualquer desalinhamento ou empeno dos discos pode resultar em produto não conforme e todo o processo nas etapas anteriores desperdiçado, Figura 22.



Figura 21 - Discos preparados a montar na serra 4



Figura 22 - Acumulação de serradura nos motores da serra 4

3.4.5. Transportadores

Os transportadores de rolos, representam mais de 50% do tempo do processo. Por isso deve existir uma atenção redobrada para que o processo não seja interrompido pelo transporte. Sintomas como ruído e vibrações fora do normal devem ser avaliados.

Quanto aos rolos, correntes e motores destes transportadores é evidente a acumulação de resíduos da matéria-prima junto dos componentes, Figura 23, Figura 24, Figura 25, assim como o desgaste e deformação dos materiais, Figura 26 e Figura 27.



Figura 23 - Acumulação de resíduos nas correntes



Figura 24 - Acumulação de resíduos nos transportadores



Figura 25 - Acumulação de resíduos nos motores dos transportadores



Figura 26 - Deformação dos rolos causada pelo peso dos troncos



Figura 27 - Desgaste nas correntes e engrenagens

4. Análise do Processo Produtivo

Com o processo definido e descrito, avança-se para a fase de recolha e análise de dados de produção, registo e análise de sintomas que possam influenciar o processo produtivo.

Para a simulação da linha de serragem recorreu-se à planta das instalações e recolheram-se as cotas necessárias, com a ajuda do fluxograma estão criadas as condições para começar a modelar a simulação, no software Tecnomatix® Plant Simulation da Siemens.

Tendo em conta que a linha em estudo transforma troncos em réguas, todos os parâmetros do processo foram reduzidos a mesma unidade, ou seja, em unidades de réguas.

Esta simulação usou como modelo o tipo de réguas mais processadas na linha.

4.1. Simulação Industrial da linha atual

Para modelar o *layout* real, observado na Figura 28, começa-se por inserir as serras, os transportadores e adicionar os postos de trabalho dos operadores.

São adicionadas as caixas de início e fim de processo que permitem posteriormente indicar ao software os inputs e outputs do processo. É também definido o número de operadores inerentes ao processo.

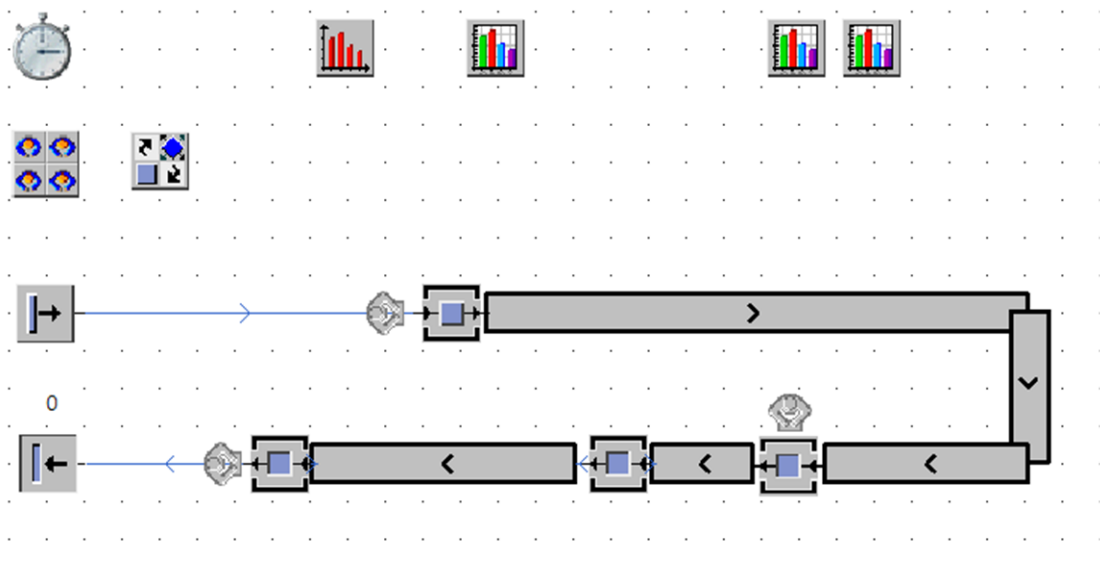


Figura 28 - *Layout* da linha de serragem

Depois dos objetos criados, é necessária a parametrização de cada um deles. Para isso foram reunidos dados junto dos responsáveis de produção, feitas filmagens do processo e recolhidos tempos de operação.

Começando pelas dimensões dos equipamentos e pelas distâncias entre si, retiraram-se as cotas da planta, representada na Figura 7 da pág. 16, e introduziram-se no *layout* de simulação.

No caso do primeiro transportador, Figura 29, na secção de atributos definiu-se o comprimento de 14,40m, para o modelo utilizado, cada pranchão dá origem a 8 réguas, portanto a velocidade de transporte do pranchão foi dividida pela unidade de réguas, resultando em 8.65 m/s e uma capacidade de acumular até 16 réguas (2 pranchões).

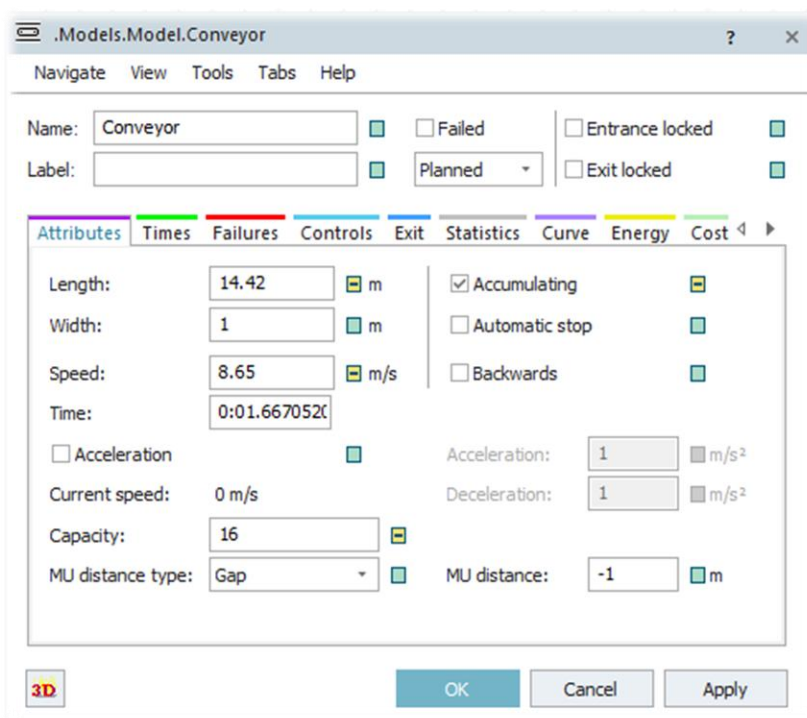


Figura 29 - Janela de atributos do transportador

Para os restantes transportadores procedeu-se da mesma forma para a atribuição dos respetivos atributos.

Passando para as serras, na janela de atributos da serra 1, preencheram-se os campos de nome e do tempo de processo, conforme a Figura 30. Ainda nesta serra foi definida a paragem para a troca da folha de serra, atribuindo um tempo de paragem de 5min. e com ocorrências a cada 10 horas com uma variação de 2 horas, descrito na Figura 31.

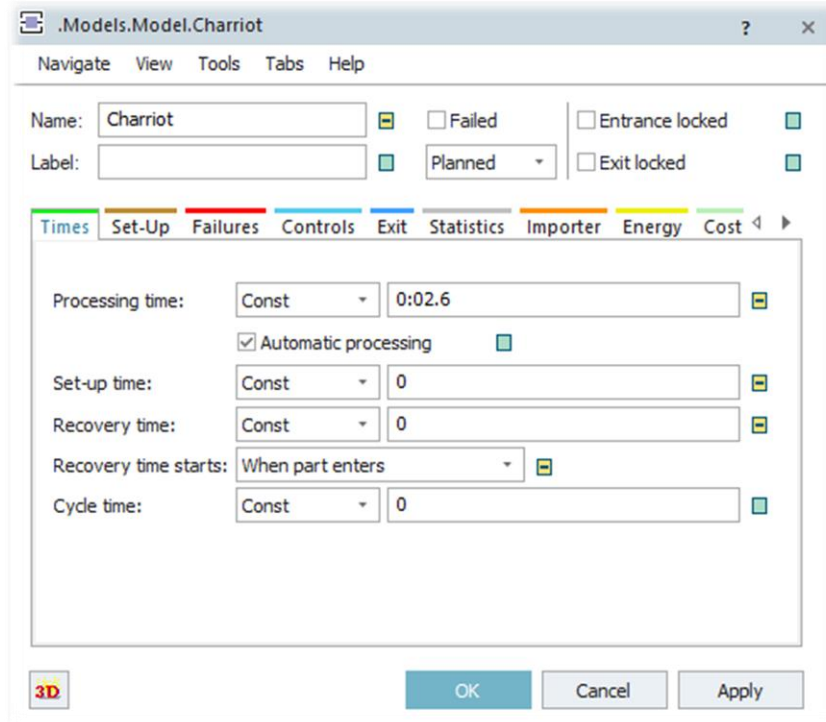


Figura 30 - Janela de atributos da serra 1

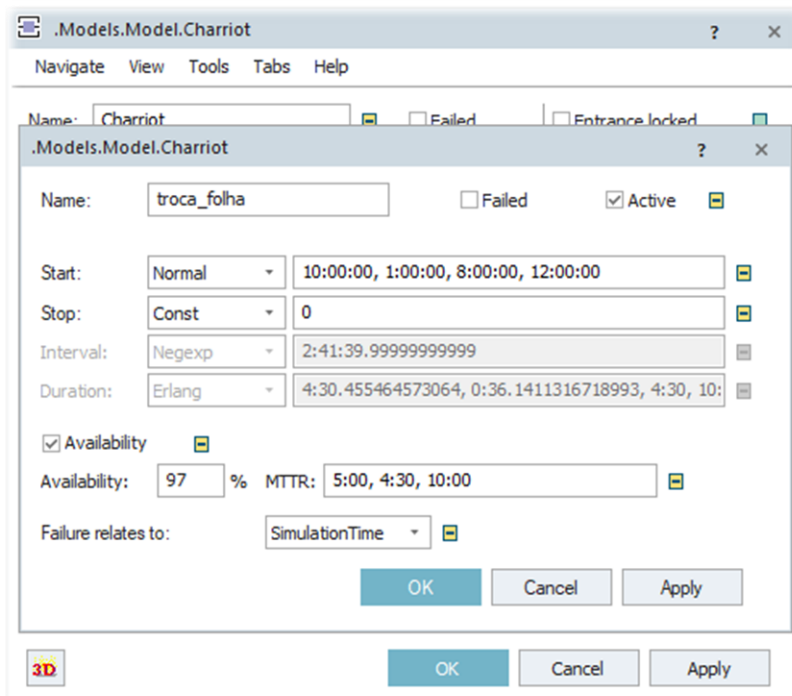


Figura 31 - Atribuição da troca de folha de serra

Para esta serra foi ainda atribuído um posto de trabalho com um operador, Figura 32.

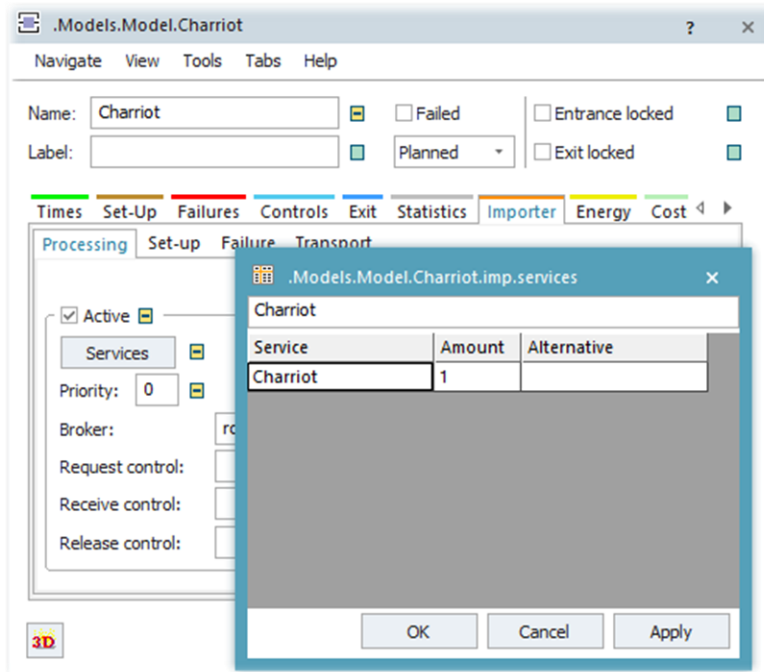


Figura 32 - Atribuição de um operador à serra 1

Na serra 2, para além de definir o nome e tempo de processamento, foi atribuída a falha relativa aos constantes encravamentos responsáveis pelas paragens do processo e definido o posto que alberga um operador responsável por voltar a colocar a serra em funcionamento, conforme Figura 33.

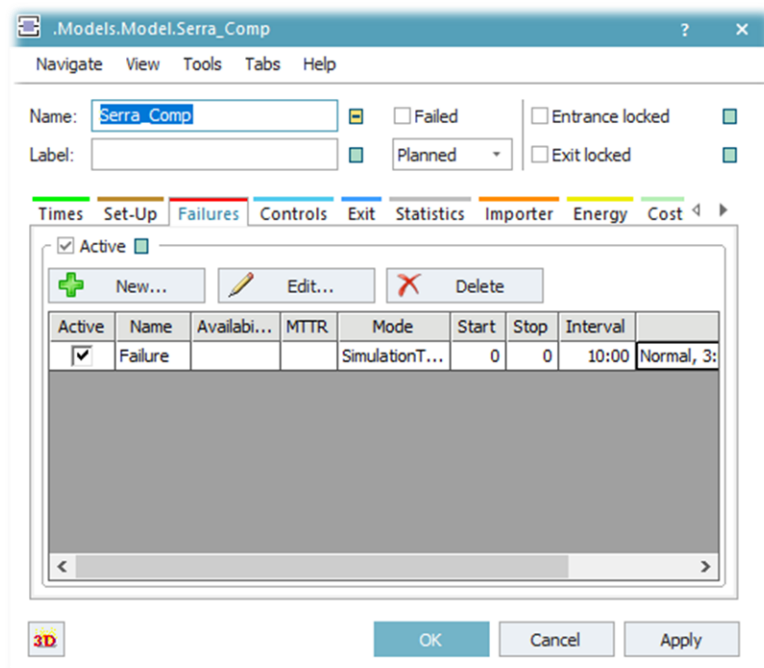


Figura 33 - Atribuição de falhas na serra 2

Por estar no campo de visão do operador da serra 1 é, por norma, este que se desloca até à serra 2 para resolver a falha, Figura 34.

Esta parametrização permite simular a deslocação dos operadores para resolver as paragens causadas por este equipamento.

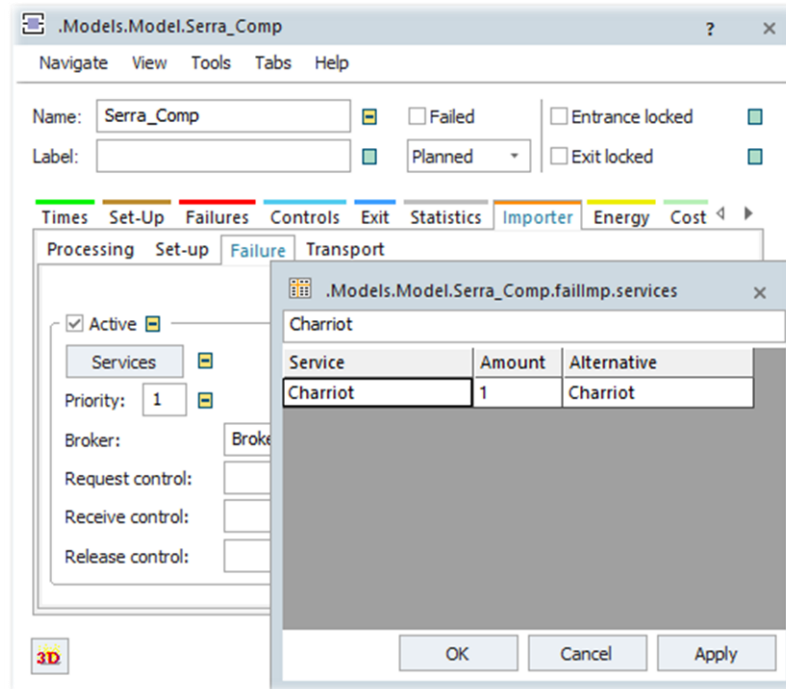


Figura 34 - Atribuição de operador à serra 2

Procedeu-se à parametrização das restantes serras de igual forma, atribuindo o nome, tempo de processo, falhas, setups e operadores.

Com a modelação dos equipamentos completa, passou-se à atribuição de operadores inerentes aos equipamentos e respetivas funções. Assim, foram introduzidos 3 operadores, um ligado à serra 1 e os restantes ligados à serra 4, de onde retiram as réguas e fazem a paletização, conforme Figura 35.

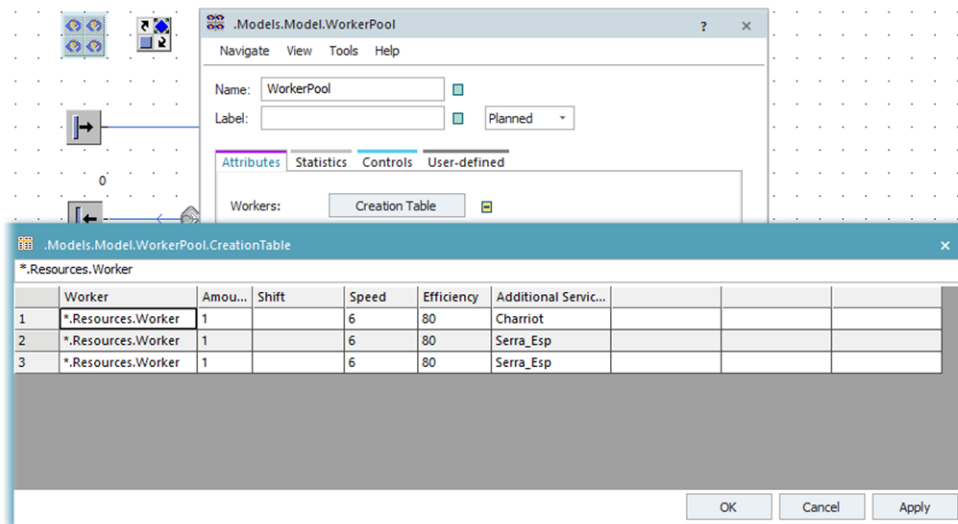


Figura 35 - Atributos dos operadores

Para monitorizar a simulação foram também criados gráficos, ligados aos equipamentos e aos operadores, que permitem analisar o seu estado no decorrer na simulação ou após. Sendo possível analisar a taxa de ocupação de cada equipamento e operador individualmente e detetar em que fase da operação se encontram, isto é, em processo, em espera, com falha, bloqueado ou em setups.

4.2. Resultados da simulação da linha atual

Com a modelação da linha em estudo completa, segue-se a realização da simulação. Para isso, recorre-se ao *Event-Controller*, onde se define o tempo de simulação e a velocidade a que se pretende visualizar a animação dos objetos, Figura 36.

Para a primeira simulação, foi definido 8h, igual a um dia de operação.

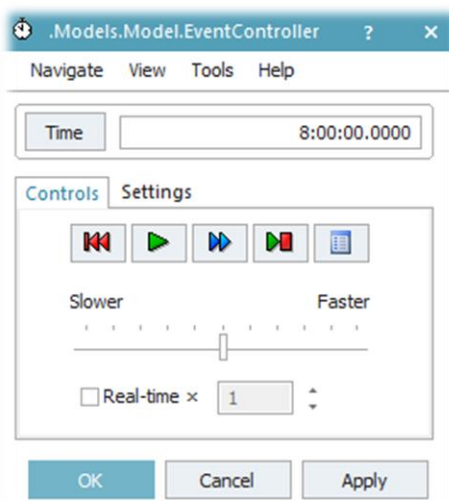



Figura 36 - *Event-Controller* da simulação da linha atual

Após a conclusão da simulação é apresentado um relatório, que nos indica o total de unidades produzidas, a quantidade produzida por hora, o tempo ciclo e em valores percentuais monitoriza o tempo em que as peças estão em produção, transporte ou stock intermédio.

No final faz uma correlação destes valores apresentados e devolve em percentagem o valor acrescento que foi criado no processo.

Simulation time:8:00:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Part	25.7259	7259	907	51.77%	48.23%	0.00%	30.77%	

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Figura 37 - Relatório da simulação da linha atual

Conforme a Figura 37, em 8 horas de simulação, foram produzidas 7.259 réguas, sendo em média 907 réguas por hora, tendo um tempo de ciclo de aproximadamente 25 segundos. Nesta simulação, as réguas estiveram 51,77% do tempo em produção e 48,23% do tempo em transporte, isto traduz-se numa eficiência do processo apenas de 30,77%.

Note-se que, os dados apresentados neste relatório quando comparados com os dados reais fornecidos, provam a proximidade que a simulação industrial é capaz de obter com a realidade.

Com os dados aqui indicados podemos afirmar que no decorrer do processo de serragem, as réguas estão praticamente o mesmo tempo em produção como em transporte, o que leva a uma diminuição da eficiência da linha.

Sendo assim possível identificar o excesso de transporte como um sintoma do processo e sinalizar como oportunidade de melhoria.

Quando analisado em detalhe, podem ser observados os gráficos de taxa de ocupação dos equipamentos, Figura 38, e o seu estado de operação na Figura 39, assim como a ocupação dos 3 operadores da linha, Figura 40.

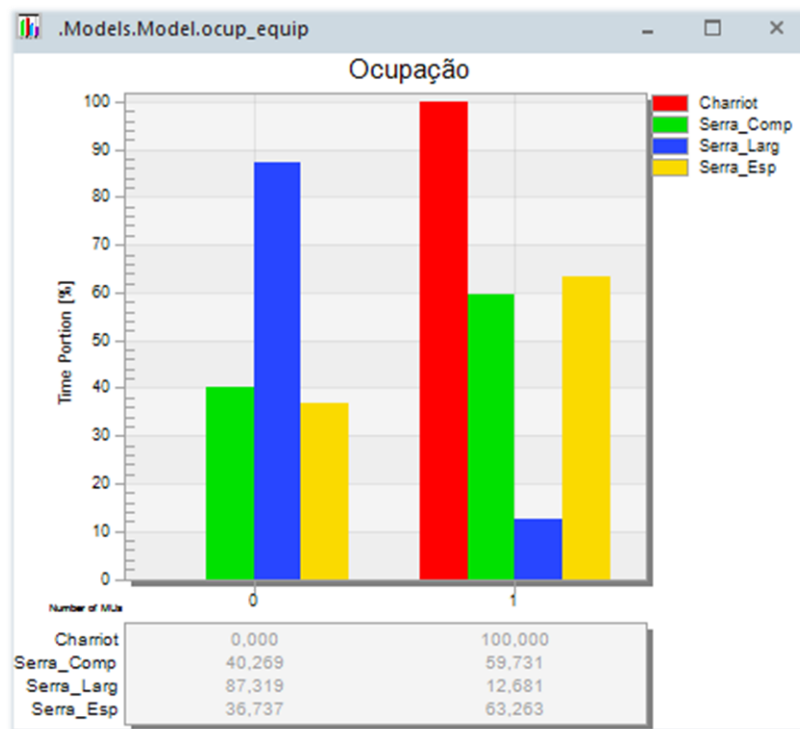


Figura 38 - Taxa de ocupação dos equipamentos

Começando pela serra 1 “*Charriot*”, que apresenta uma taxa de ocupação de 100%, resulta da constante alimentação da linha por parte do operador que coloca os troncos no primeiro transportador.

Apesar desta taxa de ocupação, o gráfico da Figura 39, indica-nos que apenas 82% do tempo está a operar e 18% em espera, que quando cruzado com os outros equipamentos é consequência das constantes falhas da serra 2, que exige a deslocação do operador da serra 1 para resolver a paragem, visível a vermelho no gráfico da Figura 40.

A Serra 2, apresenta uma ocupação de 59%, sendo que apenas 42% dessa ocupação é relativa à operação e quase 18% relativo às falhas que ocorrem. O restante tempo, 40%, está a aguardar que os pranchões sejam cortados pela serra 1 e que percorram todos os transportadores até à serra 2.

A Serra 3 é o equipamento que apresenta menor taxa de ocupação 12%, esta serra não influencia no tempo de ciclo, visto que efetua os cortes enquanto os pranchões estão em transporte entre as serras 2 e 4, à velocidade que os transportadores estiverem a operar.

Com 63% de ocupação, a Serra 4 efetua o corte dos pranchões em réguas, passando 37% do tempo a aguardar que as peças cheguem até aqui.

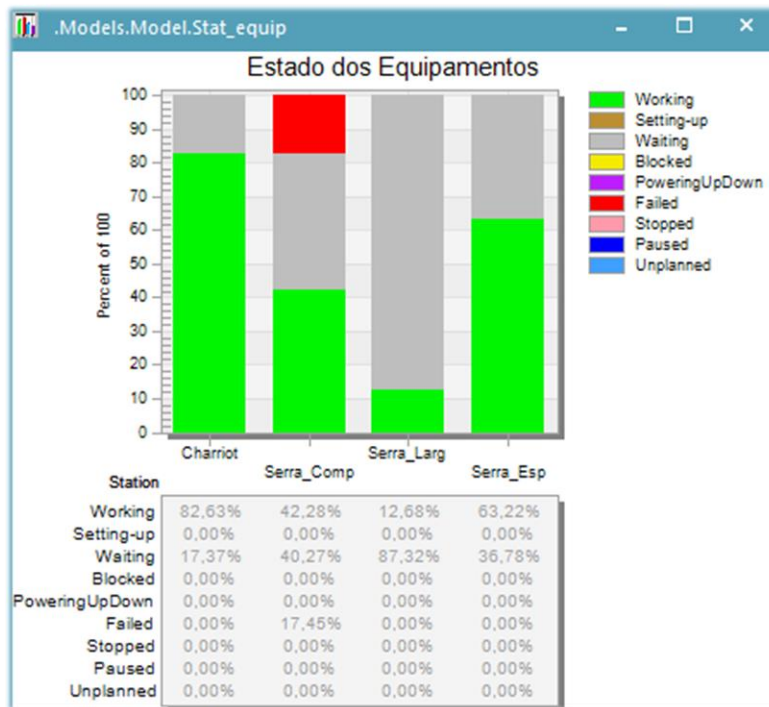


Figura 39 - Estado do Equipamentos

Como consequência do estado de operação dos equipamentos, temos o primeiro operador 100% ocupado, entre a operação da Serra 1 e a assistência às falhas da Serra 2.

Por outro lado, existem dois operadores no final da linha a recolher as réguas para a palete com taxa de operação de 63% cada, conforme indica o gráfico da Figura 40.

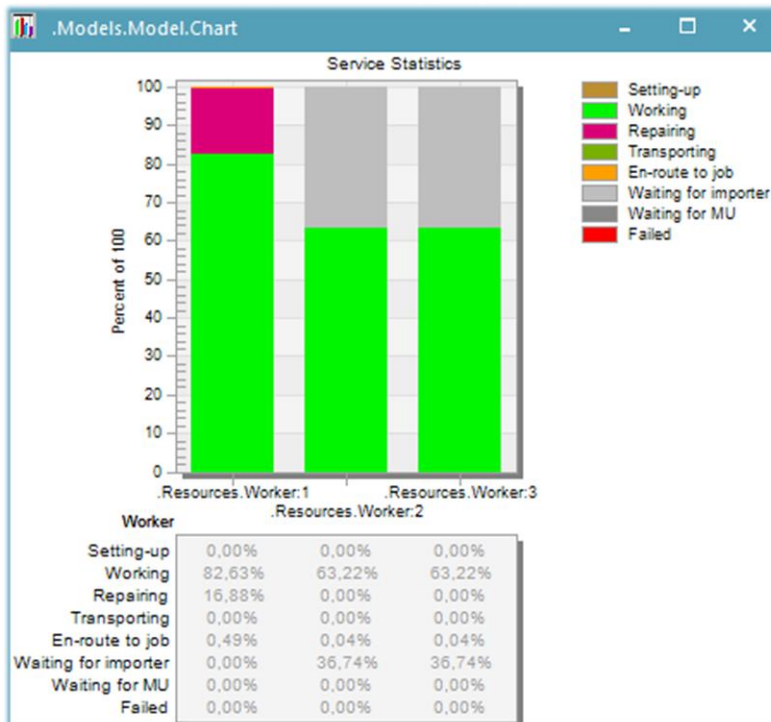


Figura 40 - Estado dos Operadores

4.3. Análise de sintomas do processo

São agora analisados alguns sintomas do processo que foram sendo enunciados nos pontos anteriores e que devem ser registados, analisados e vistos como oportunidades de melhoria.

1. O equipamento “*Charriot*” exige um nível elevado de experiência, que até ao momento da visita às instalações, apenas uma pessoa é capaz de operar o equipamento. Esta pessoa para além de experiente, mostra bastante dedicação, falta esporadicamente e utiliza dias de férias para melhorar a capacidade produtiva.
2. Dificuldades em determinar o número de pranchões possíveis de obter a partir dos troncos. Fatores como as irregularidades das laterais, diâmetro e concentricidade do tronco e cotas necessárias para produção das paletes.
3. A presença de elementos metálicos nos troncos provenientes da exploração florestal, como pregos e chapas, causam danos nos dentes das serras, resultando em mudanças prematuras da serra e consequente aumento de tempos de paragem da linha, elevando o nível de risco de acidentes.
4. Na serra 2 a acumulação de serradura em torno dos motores e dos sensores causa encravamentos, erros de centragem, avanço e paragem dos pranchões. Consequentemente danifica o equipamento e implica a paragem da linha e a deslocação de operadores para resolver a paragem.
5. A linha de aproveitamento de subprodutos para a produção de pellets é comum a duas linhas de serragem, quando chega ao seu limite cria estrangulamentos e obriga à paragem de ambas, causando atrasos de produção da secção de serragem em relação à secção de montagem das paletes. Podendo criar um défice de tal ordem que obrigue à paragem da linha de montagem.
6. Na serra 4, surgem desalinhamentos, empenos nos discos e descentramento das serras quando as medidas de corte ultrapassam os 100 milímetros, pois é necessário utilizar discos em cima e em baixo. Estas ocorrências causam defeitos nas réguas que terão de ser corrigidos quando possível ou seguem para a linha de aproveitamento de subprodutos. Esta situação pode causar também paragens obrigatórias não planeadas para fazer o ajuste dos discos levando à acumulação de pranchões na linha e eminente probabilidade de paragem. Traduzindo tudo isto em perdas de produção, atrasos em responder à secção de montagem das paletes e cria uma sensação de pressão para acelerar o processo. Aumenta também o risco de acidentes.

7. Evidências de fraca aspiração, o que leva à acumulação de resíduos junto aos rolos, rolamentos, correntes, serras e motores causando sobreaquecimentos e consumos energéticos inesperados, encravamentos, perda de cadência e avarias, e partículas atmosféricas prejudiciais para a saúde dos operadores.
8. Resíduos acumulados por baixo dos transportadores, provenientes do descascador e das aparas que caem fora da linha de aproveitamento causam quebras ou encravamentos nas correntes e rolamentos resultando em paragens não planeadas.
9. Sempre que existe um encravamento dos pranchões ou das serras de corte, é a operadora do “*Charriot*” que vai desobstruir a linha, esta operação obriga a paragem do “*Charriot*” deixando de alimentar o resto da linha, para além do tempo para reiniciar o processo, ainda existe o tempo que o primeiro pranchão após a paragem demora a chegar ao final do processo. O gabinete de produção tem noção que esta situação é a maior causadora de paragens do processo, tendo sido já estimado que representa 25% do tempo de trabalho diário.
10. Plano de manutenção diminuto, muitas vezes são os próprios operadores que fazem a manutenção corretiva de forma a minimizar a paragem da linha.
11. Falta de registo de serviços de manutenção, o que dificulta o tratamento de dados relativos à manutenção da linha em estudo.
12. Para colmatar todas as paragens de produção ao longo do dia e face às necessidades de produção, a linha de serragem em estudo opera 10 horas diárias regularmente. Esta solução não é viável a longo prazo, apesar de minimizar as perdas face à secção de montagem das paletes, não está a resolver os problemas existentes, mas sim, a sobrecarregar os operadores e equipamentos, negligenciando o descanso das operadoras e a manutenção dos recursos.

4.4. Soluções existentes no mercado

Para obter melhorias no processo de serragem de madeira, procurou-se no mercado por soluções em equipamentos. A pesquisa centrou-se em novas tecnologias, novos métodos de processar as madeiras, na forma como as empresas fornecedoras destes equipamentos resolveram questões como encravamentos e acumulação de resíduos e de que modo a tecnologia veio facilitar a execução das tarefas dos operadores.

No mercado, existem inúmeras empresas fornecedoras deste tipo de equipamentos, tanto em Portugal como no estrangeiro surgiram opções sem fim, marcas que oferecem catálogos robustos. Desde equipamentos de pequeno porte e móveis, equipamentos para média ou grande produtividade, equipamentos com capacidade para madeiras de maior dimensão, alimentadores, linhas de transporte, paletizadoras e mesmo soluções de linhas completas e equipamentos à medida do cliente.

Assim, viu-se a necessidade de restringir esta pesquisa. Enumerou-se uma lista de marcas indicadas pela empresa e selecionaram-se outras quatro:

- Jocar – Fábrica de Máquina de José Oliveira Carlos & Filhos, Lda, Portugal; ^[14]
- STORTI S.P.A., Itália; ^[15]
- SAB - SÄGEWERKSANLAGEN GMBH, Alemanha; ^[16]
- Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH, Alemanha; ^[17]
- Barton Maquinaria S.L., Espanha; ^[18]
- Mendes – Máquinas, Brasil; ^[19]
- Mill Indústria de Serras Ltda, Brasil; ^[20]
- MEBOR Company, Eslovénia; ^[21]

Com esta pesquisa encontrou-se um grande desenvolvimento tecnológico nas ofertas de mercado relativamente ao existente na linha em estudo. As melhorias mais evidentes respondem às dificuldades de proteger os componentes essenciais dos equipamentos.

No caso do alimentador de linha, deixa de utilizar correntes e possui agora um sistema de biela-manivela ligado a um motor elétrico que faz subir os troncos entre os patamares (a verde na Figura 41) do transportador até caírem na linha. Estes patamares são fechados para que os resíduos não se depositem diretamente no mecanismo.



Figura 41 - LSF – Alimentador toro a toro para linhas de serragem de alta velocidade [21]

No caso do alimentador da Figura 42, mantem as correntes para elevar os troncos e adiciona proteções nas engrenagens, correntes e motores.



Figura 42 - PLD – Tapete robusto de alta velocidade para troncos [21]

No caso dos transportadores da Figura 43, possuem uma passadeira de correntes ao centro da linha e umas abas nas extremidades para conter os resíduos e os rolos estão cobertos por uma proteção no lado oposto ao contacto com os troncos e a zona dos rolamentos selados.



Figura 43 - Transportador de Correntes [21]

Nos transportadores de rolos, Figura 44, saltam à vista 3 modificações, temos entre os rolos placas que evitam que os resíduos desçam para os mecanismos, surge uma aba lateral que apara a serradura e a zona da transmissão (corrente, engrenagens e rolamentos) coberta pela própria estrutura.

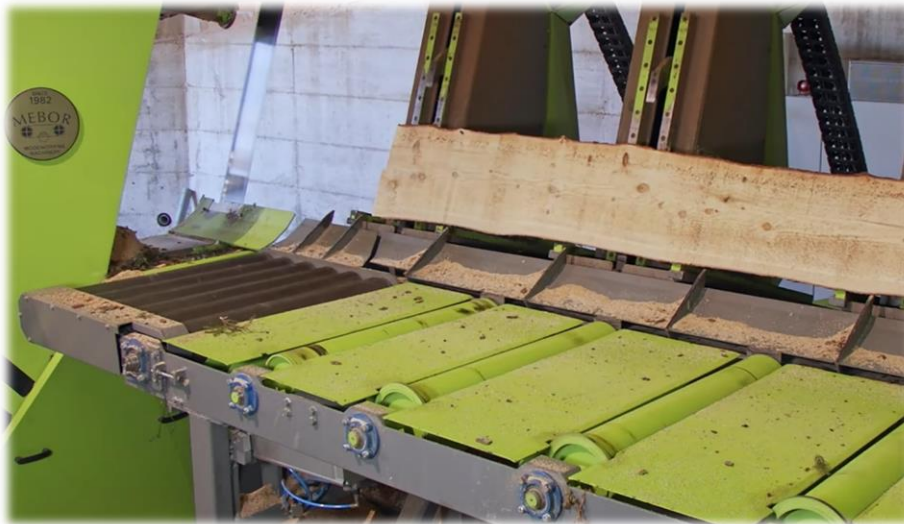


Figura 44 - Transportador de rolos [21]

Na Figura 45, uma possível alternativa à serra 1 “Charriot”, em que todo o equipamento se encontra devidamente protegido apenas com a zona de corte fora das chapas de proteção. E o carro de fixação do tronco também com os mecanismos blindados. Este equipamento tem uma capacidade de produção entre 7,5-18,75 m³/h, conforme as configurações do equipamento e o estado dos troncos, assim o equipamento é ajustado à capacidade global da linha.



Figura 45 - VTZ 1400 – serras de fita verticais [21]

Encontrou-se uma solução ligeiramente diferente, com a serra de corte orientada horizontalmente, Figura 46, estes equipamentos, possuem a vantagem de admitir troncos de maior dimensão, contudo têm uma baixa produtividade, não excedendo os 60 m³/h.



Figura 46 - HTZ 1000 – serras de fita horizontal [21]

A linha de multi serras, Figura 47, é uma solução que esta marca apresenta, podendo encadear até 5 serras que efetuam cortes em diversas posições, permitindo que entre o tronco no início da linha e que no final seja possível obter as régua com as dimensões pretendidas.

Esta linha efetua o corte dos costeiros do tronco, corta o tronco em pranchões com a altura necessária e efetua o corte do pranchão com a espessura necessária para as régua. Permite ainda, o aproveitamento do costeiro, cortando à espessura das régua e aparando as laterais ainda curvas.

Esta solução pode substituir as serras 3 e 4, no corte das régua e também a serra 1, cortando os pranchões e permitindo aproveitar de melhor forma os costeiros.



Figura 47 - Linha de multi serras [21]

Todas as soluções apresentadas até ao momento podem ser controladas remotamente, para isso existe um software com o modelo virtual da produção vinculado aos PLC's reais dos equipamentos, Figura 48, assim através de uma interface amigável é possível consultar e controlar o estado dos equipamentos, sensores, atuadores e motores à distância de cliques num ecrã.

Para além do controlo remoto, o sistema de *scanner* permite definir o diâmetro dos troncos aproveitáveis e distribuir os cortes a efetuar para obter as régua como o melhor aproveitamento possível do tronco, reduzindo o desperdício de matéria-prima e simplificando as tarefas dos operadores. Este sistema permite aproveitar o tronco para várias dimensões, permitindo produzir mais do que um produto em simultâneo.

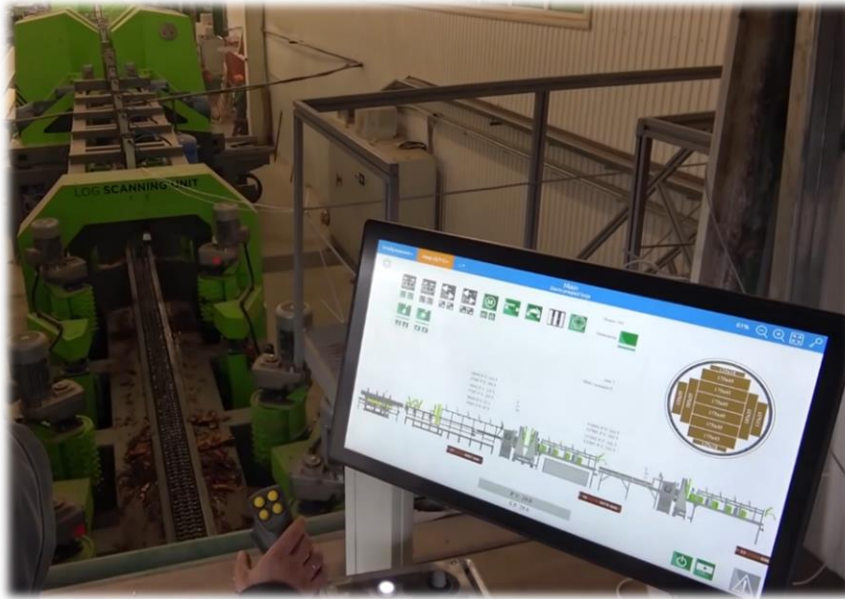


Figura 48 - Sistema de scanner e controlo digital [21]

4.4.1. Proposta de Layout

Na Figura 49, é apresentado um exemplo de uma linha de serragem com algumas das soluções apresentadas anteriormente, onde sobressai a limpeza do chão de fábrica e a ausência de poeiras.



Figura 49 - Plano geral de uma linha de serragem [21]

Porém, com esta pesquisa, não foram encontrados equipamentos que efetuassem o corte em comprimento dos troncos, pranchões ou réguas, para substituir a serra 2 da linha de serragem em estudo.

Este corte poderá ser efetuado antes do processo e os troncos entram na linha já com o comprimento final, ou as réguas poderão ser cortadas num processo seguinte conforme as especificações para a montagem das paletes. Ficamos aqui com uma sugestão de mudança no processo.

De um modo geral, todas as soluções aqui apresentadas permitem:

- Manter um processo fluído;
- Incrementam a capacidade produtiva;
- Simplificar tarefas dos operadores;
- Formação inicial para os colaboradores;
- Conservam a limpeza do chão de fábrica;
- Reduzir as poeiras atmosféricas;
- Diminuição de desperdício gerado pelo processo;
- Redução de custos de manutenção corretiva;

Projetar uma linha com a renovação dos equipamentos pode ter um custo de investimento inicial elevado, contudo, pelos benefícios anteriormente apresentados trará retorno financeiro a médio/longo prazo para a empresa.

Desta forma, devem ser considerados vários cenários antes de se tomar a decisão de investir em equipamentos.

4.5. Simulação de vários cenários

Neste ponto, serão simulados possíveis cenários de melhoria na linha em estudo, tendo em conta os sintomas que o processo apresenta e aplicando-lhe algumas sugestões de ações.

4.5.1. Cenário 1

Nesta simulação, mantem-se os 3 operadores e 30% do tempo diário correspondente às falhas na serra 2. Sem proceder a qualquer alteração física à linha de serragem, apenas passando toda a responsabilidade relativa às paragens da linha para um dos operadores que recolhem as régua no final do processo.

Com esta alteração, o segundo operador está 17% do seu tempo ocupado com as falhas na linha, permitindo que o operador da serra 1 deixe de estar em sobre carga, passando a ter 7% do tempo em espera e ainda assim permite aumentar o seu tempo em processo em 10%, de 82% para 92%, como mostra a Figura 50.

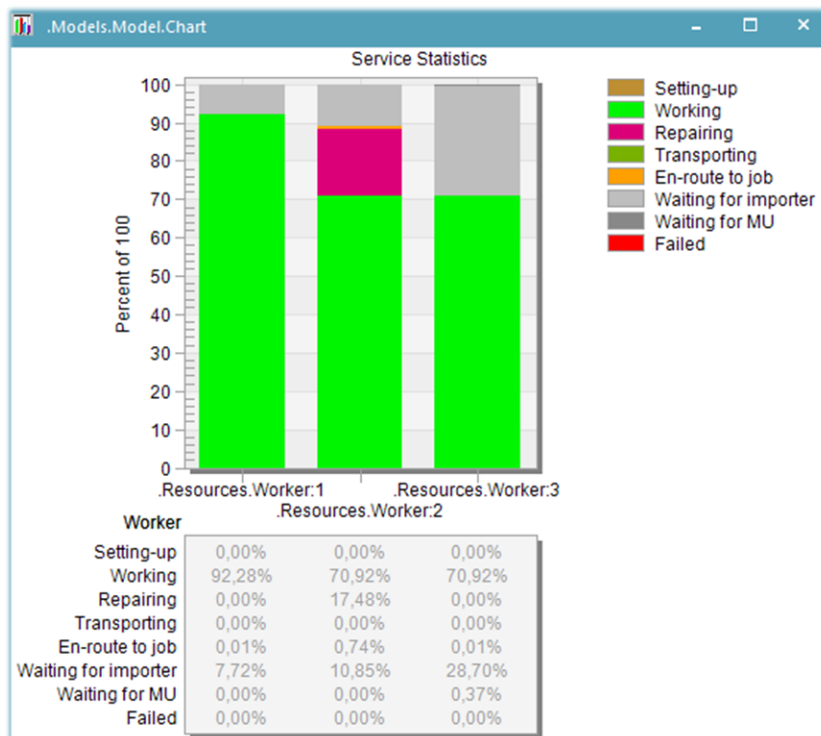


Figura 50 – Estado dos operadores no cenário 1

Mesmo com esta alteração, o tempo que os 2 operadores da serra 4 estão em processo sobe de 63% para 71%, aumentando em 8% o tempo de operação.

Esta modificação traduzida em capacidade produtiva, representa um ganho de 12,5%, passando em média de 907 uni. /h para 1021 uni. /h, apresentada na Figura 51.

Simulation time:8:00:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Part	49.0705	8170	1021	27.02%	72.98%	0.00%	16.13%	

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Figura 51 - Relatório da simulação do cenário 1

4.5.2. Cenário 2

Para o cenário 2, mantém-se os 3 operadores e a tarefa de resolver as falhas na serra 2 nas mãos de um dos operadores da serra 4.

Varia-se, nesta simulação, o tempo de paragem representando intervenções de manutenção e limpeza na serra 2, para que o tempo de paragem passe de 30% para 20% do tempo de trabalho diário.

Conforme a Figura 52, de modo geral todos os equipamentos apresentaram aumento no tempo em processo, face à situação inicial.

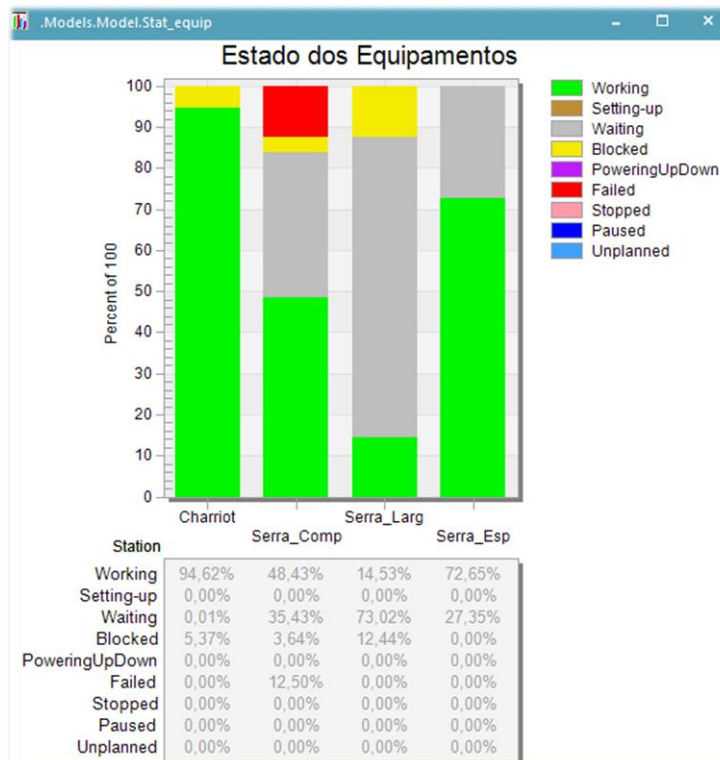


Figura 52 - Estado dos equipamentos no cenário 2

Comparativamente ao cenário 1, o operador responsável pelas paragens passa menos 5% do seu tempo afeto à tarefa de reparação, isto é, reduziu de 17% para 12% como nos confirma o gráfico da Figura 53.



Figura 53 - Estado dos operadores no cenário 2

No que diz respeito à capacidade produtiva, esta alteração representa um ganho de 25 unidades por hora face ao cenário 1, ou seja 2,4%.

Quando comparado com a simulação inicial, representa um aumento da produtividade em 15,3%, conforme o relatório da Figura 54.

Simulation time:8:00:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Part	40.3547	8369	1046	31.10%	68.90%	0.00%	19.62%	

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Figura 54 - Relatório da simulação do cenário 2

4.5.3. Cenário 3

No cenário 3, mantém-se os 3 operadores e a redução do tempo de paragem em 20% do tempo de trabalho diário.

Desta forma, apenas o operador do “Charriot” e um dos operadores da serra 4 ficam inerentes ao processo, o terceiro operador fica livre para tarefas de manutenção, reparação, limpeza e organização nos equipamentos da linha de serragem e meio envolvente.

Apesar de se libertar um operador do processo principal e permitir que os restantes possam estar dedicados à tarefa prioritária, provado no gráfico da Figura 55, em termos produtivos não se verificou alterações na capacidade do processo, como indica a Figura 56.

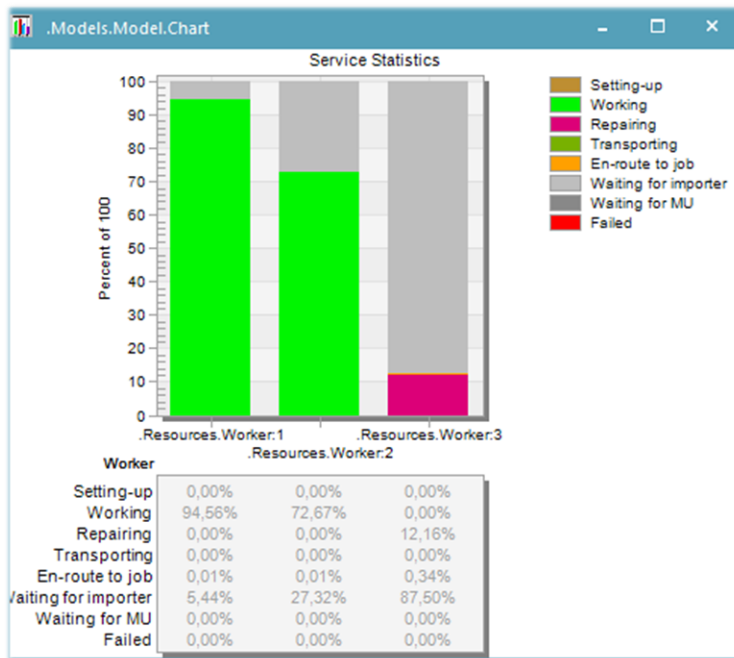


Figura 55 - Estado dos operadores no cenário 3

Este resultado prova que o balanceamento de tarefas entre os 2 operadores da serra 4 não influencia a capacidade de resposta da linha.

Simulation time:8:00:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Part	39.0338	8372	1046	31.01%	68.99%	0.00%	20.28%	<div style="width: 20.28%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Figura 56 - Relatório da simulação do cenário 3

4.5.4. Cenário 4

Na quarta simulação, apenas se variou o tempo de paragem face ao cenário anterior. Ou seja, 15% do tempo de trabalho diário a linha está parada. Mantendo-se os mesmos 3 operadores, com a mesma distribuição de tarefas.

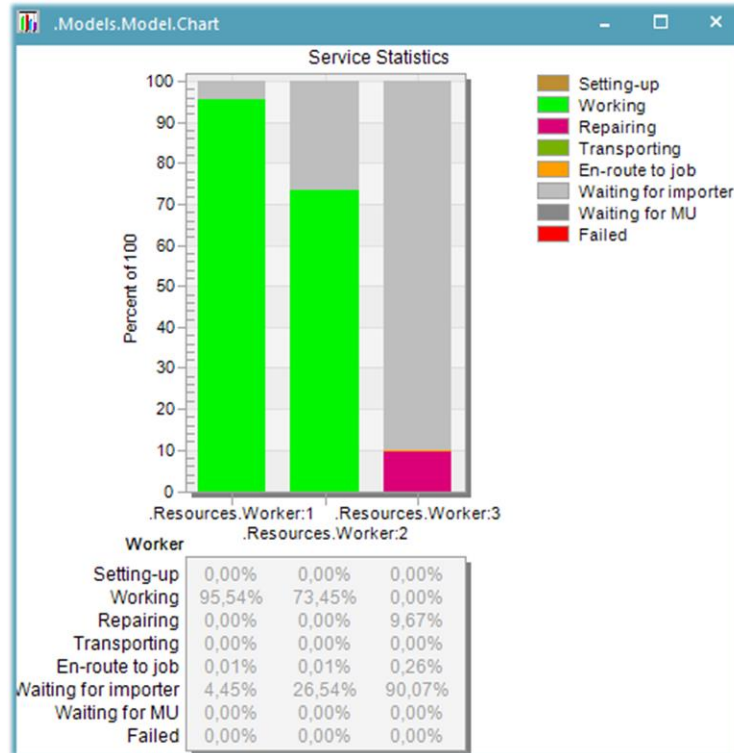


Figura 57 - Estado dos operadores no cenário 4

Relativamente à capacidade de produção, esta redução de 5% de tempo de paragem apenas se traduz num ganho de 1%, como indica a Figura 58.

Face ao estado atual da linha é um aumento de 16,6% de 907 uni. /h para 1058 uni. /h.

Simulation time:8:00:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Part	35.5652	8461	1058	33.94%	66.06%	0.00%	22.26%	

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Figura 58 - Relatório da simulação do cenário 4

4.5.5. Cenário 5

No cenário 5, manteve-se os 15% de tempos de paragem e reduziu-se de 3 para 2 operadores. Neste caso, fica o operador da serra 4 responsável pelas avarias e encravamentos da linha, conforme Figura 59.

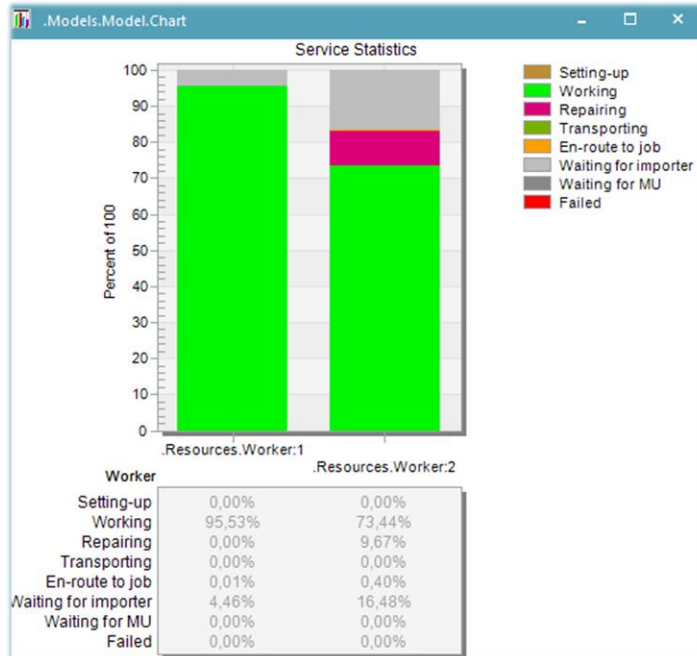


Figura 59 - Estado dos operadores no cenário 5

Nesta simulação, não é verificada nenhuma melhoria em termos de capacidade produtiva, conforme se observa na Figura 60.

Para além disso, a redução de um posto de trabalho leva a que exista uma menor capacidade de escoamento das réguas à saída da serra 4 por parte do operador, dado o aumento das suas tarefas. Um dado que esta simulação não tem em conta e, por isso, a capacidade produtiva pode até baixar face às simulações anteriores.

Simulation time:8:00:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Part	36.4618	8460	1058	34.03%	65.97%	0.00%	21.71%	

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Figura 60 - Relatório da simulação do cenário 5

4.5.6. Cenário 6

Na simulação 6, mantém-se os 2 operadores e substitui-se a serra 2 por um equipamento alternativo sem falhas, que permita a linha operar de forma contínua e evite que o operador da serra 4 se desloque para resolver encravamentos e avarias.

Mantendo o tempo de ciclo do equipamento, note-se que a taxa de ocupação em processamento não ultrapassa os 50%, enquanto o “*Charriot*” apresenta uma carga de 100%, na Figura 61.

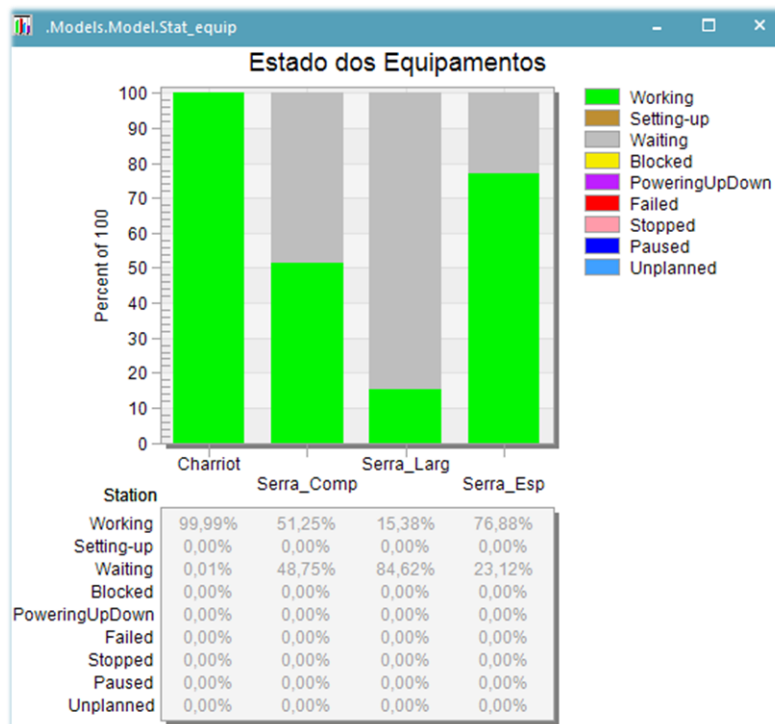


Figura 61 - Estado dos equipamentos no cenário 6

Assim como, nos operadores na Figura 62, também se nota uma sobre carga nas tarefas do operador do “*Charriot*”.

Perante este cenário, podemos estar a descobrir um novo recurso limitador de processo.

Com isto, é necessário avaliar a real necessidade de investir num equipamento totalmente novo, colocando em análise os prós e contras deste investimento. Ou seja, custo (investimento) VS benefício (capacidade produtiva).

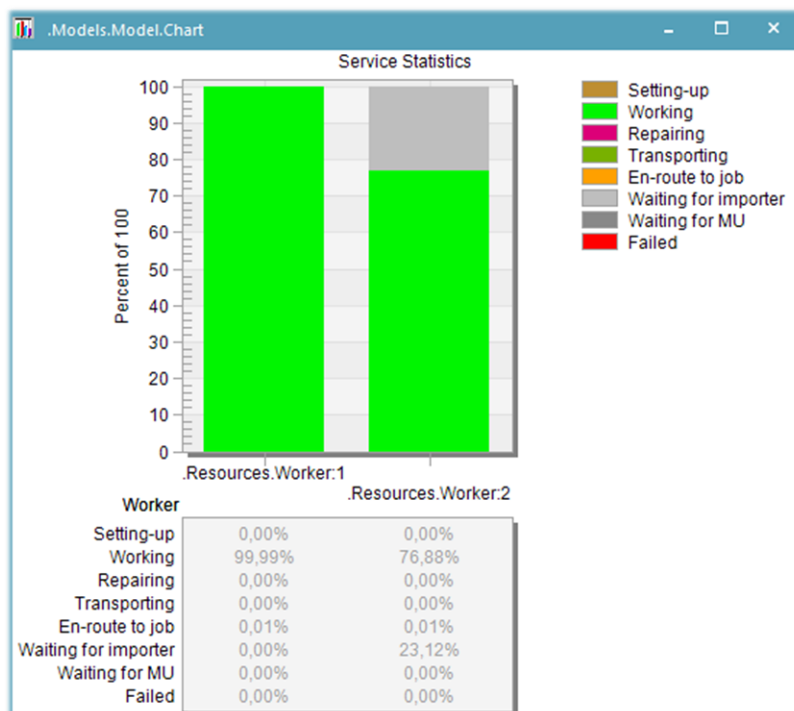


Figura 62 - Estado dos operadores no cenário 6

Como se observa na Figura 63, o ganho que se obteve em termos de capacidade de produção foi de 22% relativo à simulação da linha atualmente instalada. Passando de 907 uni. /h para 1107uni. /h.

Quando comparado com os cenários anteriores, este investimento apenas incrementa entre 6% a 8% da produtividade da linha.

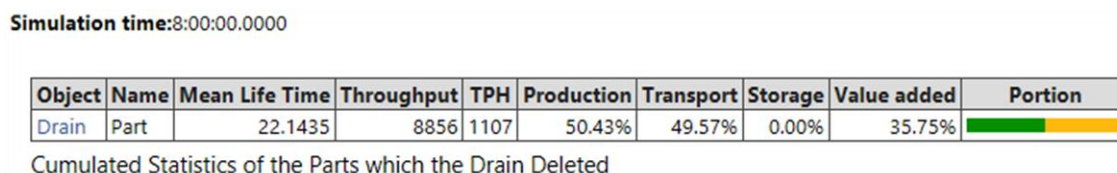


Figura 63 - Relatório da simulação do cenário 6

4.5.7. Cenário 7

Seguindo o exemplo de várias linhas que surgiram durante o trabalho de pesquisa, para o sétimo e último cenário simulado foi retirada a serra 2, que efetua os cortes em comprimento dos pranchões.

Assumindo que, esta tarefa é realizada antes dos troncos entrarem na linha, vindo estes já com o comprimento final, ou que, a tarefa é realizada posteriormente num novo posto de corte, o que leva a que as réguas cheguem com o dobro ou até mesmo o triplo do comprimento às serras 3 e 4.

Esta sugestão, apesar de reduzir um passo na linha de serragem, leva à criação de um posto independente colocado à entrada ou à saída do processo, levando assim a um aumento do tempo necessário para obter as réguas com as especificações exigidas. Assim como ao investimento num novo posto de trabalho com operador e equipamentos dedicados a esta tarefa.

Por outro lado, permite eliminar uma variante das réguas para o planeamento de necessidades de produção da linha e assim as réguas podem ser cortadas à medida que for necessária no momento da montagem da palete.

Contudo, o facto de os pranchões chegarem com mais comprimento às serras 3 e 4 pode levar a mais falhas, avarias e produto não conforme.

Com esta modificação na linha, verifica-se que o “*Charriot*” é o recurso limitador da capacidade de produção da linha, conforme a Figura 65.

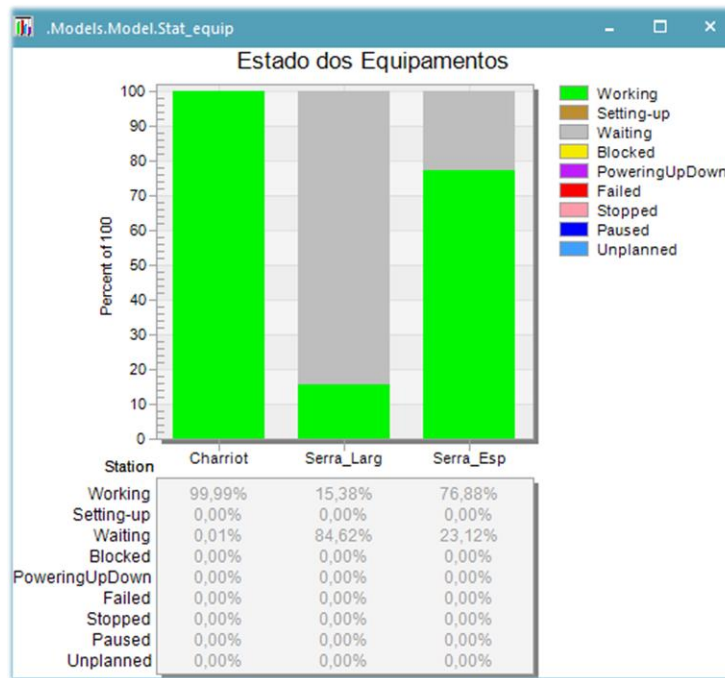


Figura 65 - Estado dos equipamentos no cenário 7

Da mesma forma, na Figura 64, o operador do “*Charriot*” é também o mais sobrecarregado, não podendo abandonar o seu posto de trabalho, para evitar perdas de produtividade da linha. Este operador está sujeito a pressão, tanto física como psicológica, pois sente que a capacidade de resposta depende dele, deixando de ser uma solução viável.

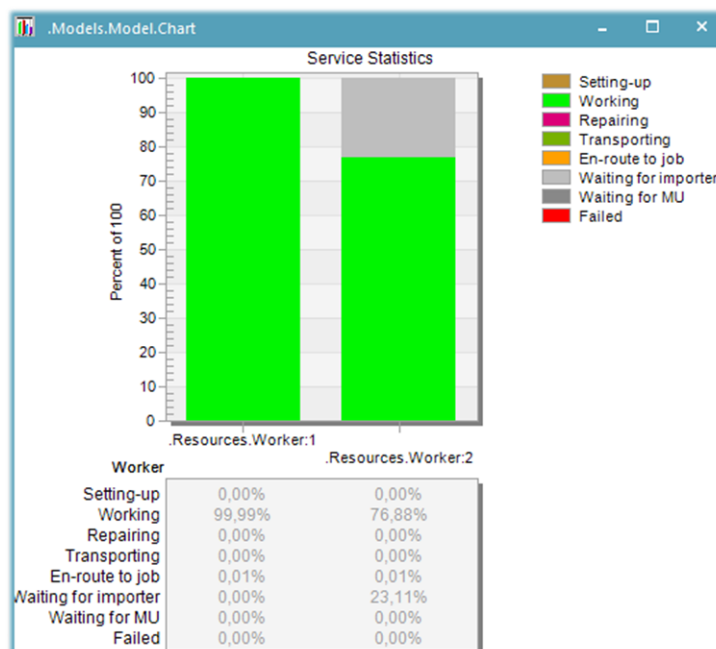



Figura 64 - Estado dos operadores no cenário 7

Como se observa no relatório da Figura 66, apesar de se ter eliminado uma operação na linha, não foi possível melhorar a capacidade produtiva, mantendo-se com 1107 uni. /h.

como no cenário anterior ou mesmo representar apenas um crescimento de 10% face ao cenário 1, que necessitará de menor investimento por parte da empresa e trará mais benefícios para a linha de serragem.

Simulation time:8:00:00.0000

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Drain	Part	19.4967	8857	1107	48.73%	51.27%	0.00%	32.06%	

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Figura 66 - Relatório da simulação do cenário 7

4.5.8. Análise das simulações realizadas

Depois de simulados e analisados os 7 cenários, conclui-se que o cenário 2 é o mais vantajoso.

O cenário 2, é o que permite ter mais benefícios em termos de produtividade sem custo de investimento.

Apresenta um aumento da produtividade de 15,3% face ao cenário inicial, apenas colocando o operador do “*Charriot*” dedicado 100% a esta tarefa, mantendo-o continuamente a alimentar o resto da linha.

Um dos operadores da serra 4 fica responsável pela manutenção e limpeza da linha, fica também responsável por resolver as falhas e paragens, de forma a diminuir o número e o tempo de paragens indesejadas do processo.

Estas ações permitem:

- Aumentar a capacidade produtiva;
- Reduzir o desperdício gerado pelo processo;
- Focar os colaboradores em tarefas mais específicas;
- Otimizar a produtividade dos colaboradores e da linha;
- Tomar fiabilidade e controlo do processo;
- Melhorar a credibilidade dos registos de produção e manutenção da linha;
- Conservar o espaço de trabalho limpo e organizado.

Para colocar este cenário em prática é necessário:

- Formar os operadores de forma uniforme;
- Implementar uma cultura organizacional;

- Criar rotatividade entre os postos de trabalho;
- Fornecer utensílios adequados para a limpeza da linha;
- Fornecer ferramentas adequadas para realizar a manutenção dos equipamentos;
- Analisar e melhorar a forma como são efetuados os registos de produção e manutenção.

Com a implementação destas ações, a empresa consegue garantir fiabilidade e consistência da linha, tendo total controlo do processo de serragem de madeira. Com isto, certifica-se que possui condições para dar o próximo passo, de investir em novos equipamentos.

4.6. Análise do desperdício de material

Como já foi mencionado anteriormente, ao longo do processo, existem vários momentos em que são separados os desperdícios de matéria-prima, desde a primeira serra que separa os costeiros para aproveitamento de subprodutos, Figura 67, e dos pranchões que não possuem a espessura pretendida para a produção e são colocados de parte para produção de outros constituintes das paletes, Figura 68.



Figura 67 - Separação de costeiros



Figura 68 - Separação de pranchões fora de cota

A linha de aproveitamento de subprodutos surge a partir da serra 2 e acompanha a linha principal até ao fim do processo, o desperdício segue para a produção de *pellets* e aglomerados, Figura 69.



Figura 69 - Linha de aproveitamento de subprodutos

No final da linha existem ainda duas operadoras que, ao recolherem as réguas da linha para a palete, efetuam o controlo de qualidade.

Separam as réguas não conformes de duas formas, sem aproveitamento enviam para a linha de subprodutos, com aproveitamento para outras medidas colocam num serrote, Figura 70, que posteriormente corta as réguas à medida que seja possível aproveitar para outra produção.



Figura 70 - Serrote de aproveitamento de réguas

O desperdício gerado no processo não é contabilizado, apenas a quantidade aproveitada das réguas no serrote. Em 2021, as réguas aproveitadas representam cerca de 9,7% da produção anual da linha, em 2022 existiu uma redução para 7,5%.

O restante desperdício é junto ao de todas as linhas de serragem e montagem de paletes e apenas é pesado quando vai para as instalações de produção de *pellets*, não sendo assim possível apurar o desperdício gerado pela linha em estudo.

4.7. Análise de Produção

Por questões de confidencialidade, os valores de produção foram ocultados neste relatório.

A linha de serragem em estudo, normalmente, opera com 1 turno de 8 horas diárias durante 5 dias da semana. Atualmente, para colmatar os tempos de paragem os operadores estão a realizar horas extra diariamente e ao sábado de manhã. A empresa encerra alguns dias para férias em agosto e em dezembro.

Na Figura 71, referente à produção de 2021, são evidentes as pausas para férias. Aqui verifica-se também uma tendência descendente da produção do início do ano até o final.

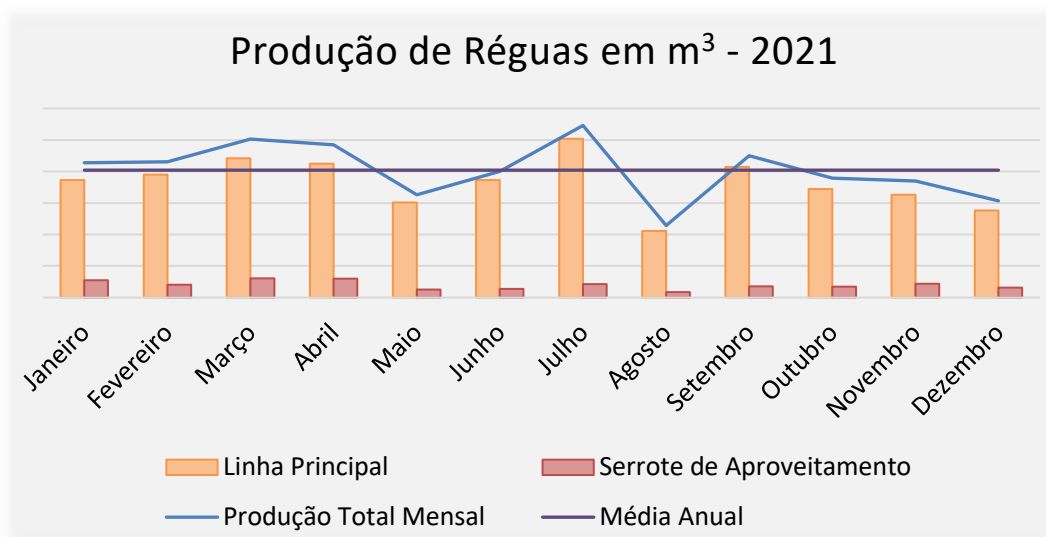


Figura 71 - Produção mensal de réguas em 2021

Em 2022, Figura 72, verifica-se a mesma tendência decrescente e o pico mínimo de produção em agosto relativo à pausa para férias.

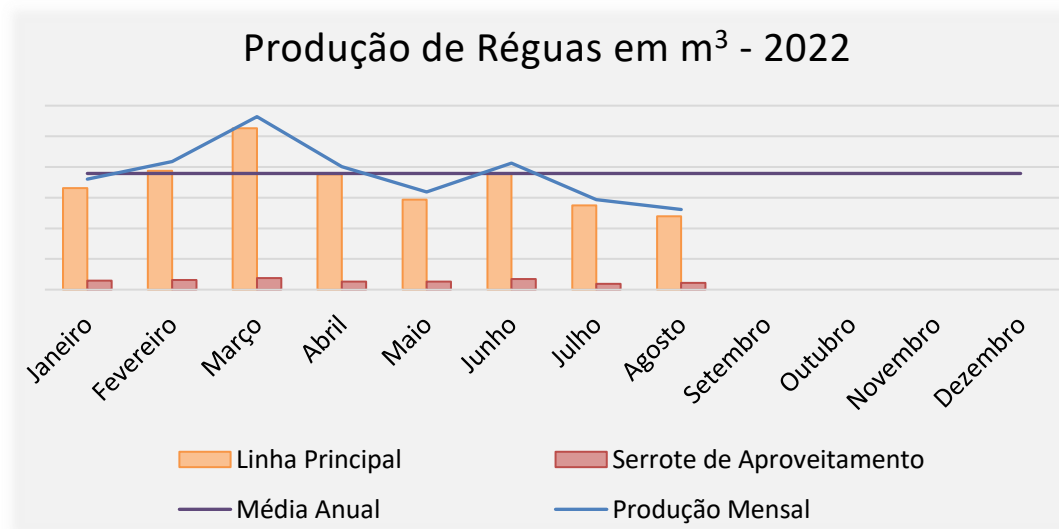


Figura 72 - Produção mensal de réguas em 2022

Com a Figura 73, é possível entender o progresso ao longo do tempo.

Mesmo com um pico máximo em março de 2022 a média desceu de um ano para o outro. A prova disso é a linha de tendência com declive negativo, com uma cadência de 1,4% da produção por mês.

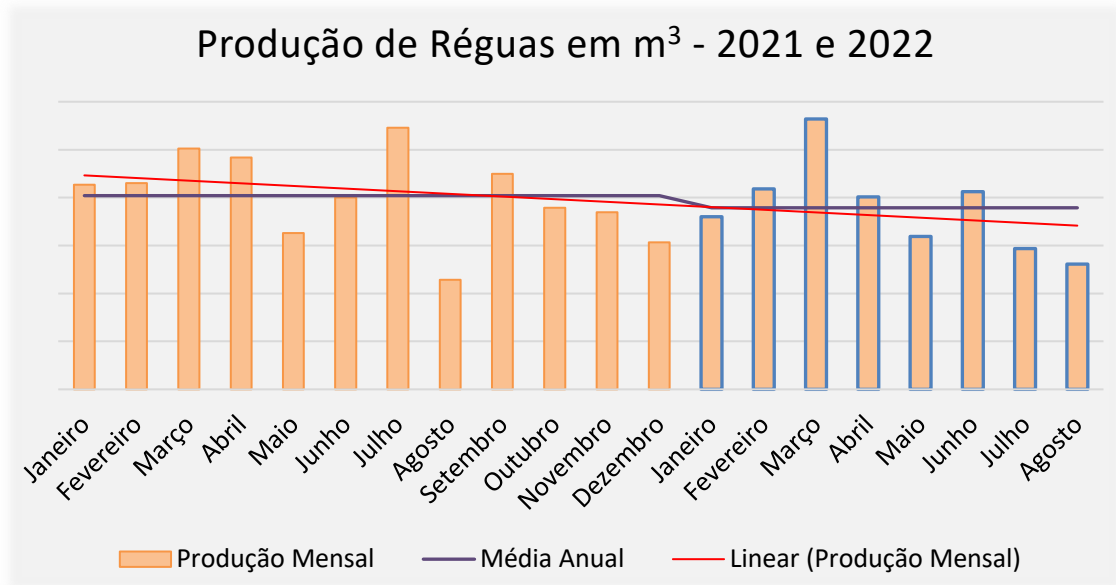


Figura 73 - Produção de Réguas 2021 e 2022

Comparando os mesmos meses de cada ano, na Figura 74, nota-se a existência de um padrão de produção, ligado a vários fatores, como as pausas para férias, relacionados com as estações do ano, as condições da matéria-prima ou volume de encomendas.

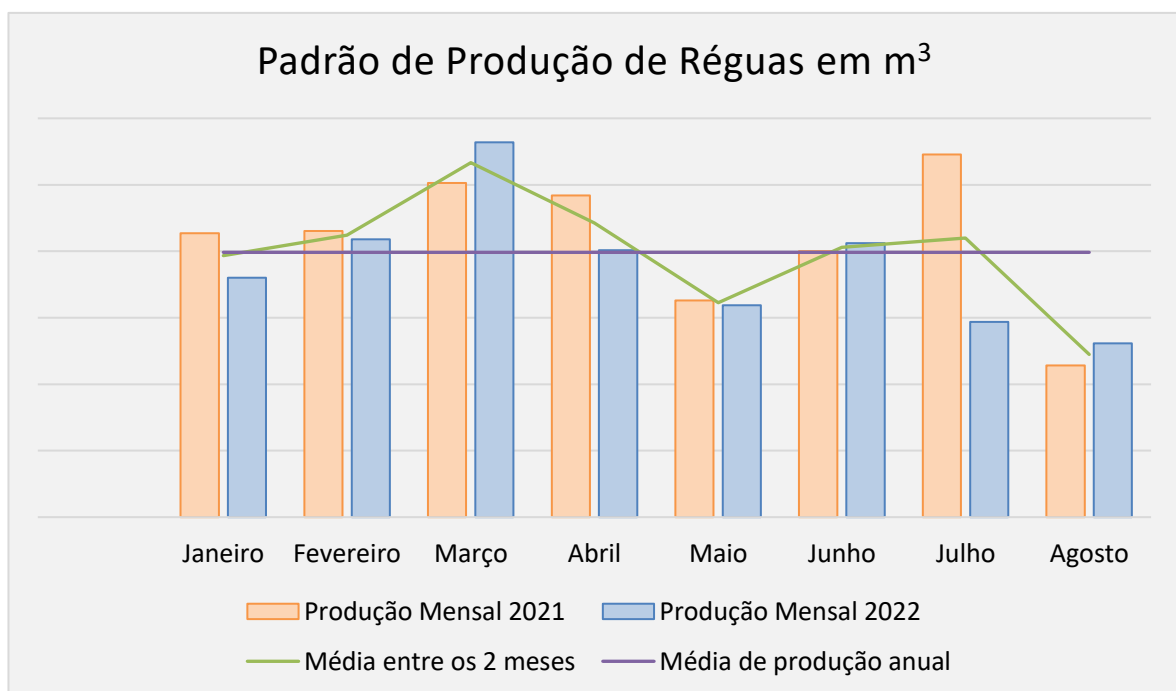


Figura 74 – Padrão de Produção de Réguas nos meses homólogos de 2021 e 2022

Ainda na Figura 74, temos informação que permite comparar a média de produção entre os 2 meses homólogos de cada ano com a média de produção anual referente aos meses comparados.

Assim, é possível determinar o diferencial entre as médias de cada mês e a média anual. Conforme a Figura 75, verifica-se que os meses de março ficam 34% acima da média de produção, enquanto os meses de maio e agosto ficam abaixo 19% e 39%, respetivamente.

Diferencial entre média de produção anual e média de produção dos meses homólogos							
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto
-1%	7%	34%	11%	-19%	2%	5%	-39%

Figura 75 - Diferencial entre média de produção anual e média de produção dos meses homólogos

Os restantes meses estão próximos da média anual.

Nota importante, relativa ao mês de julho, apesar da média dos 2 meses estar próxima da média anual, 2% acima, entre estes 2 meses existe um decréscimo de 46% de 2021 para 2022. Será importante para a empresa entender a causa desta diferença.

Dada a carência de registos de produção, à data da recolha de dados, não foi possível nesta análise incluir resultados de produtividade que permitissem retirar conclusões importantes para o este projeto.

5. Plano de Ações

Com a descrição e análise do processo concluídos, com a análise da produtividade e enumeração de sintomas do processo, com a simulação da linha e com soluções no mercado apresentadas, está-se agora em condições de apresentar algumas sugestões de ações de melhoria:

1. Investir na formação de todos os colaboradores, afetos à linha, de como operar a serra 1 “*Charriot*”, de forma a tornar a equipa mais coesa e multifacetada, permitindo assim ter alternativas em caso de ausência de algum operador.
2. Tornar o processo de armazenagem dos troncos, após o descascador, mais seletivo quanto ao diâmetro e concentricidade. Por exemplo, criar uma gama de produtos para o processo de descascar, conforme o plano de necessidades para a linha de serragem.
3. Estudar a viabilidade de implementar um sistema de scanner que permita determinar o diâmetro dos troncos e que auxilie os operadores a definir os cortes a efetuar no tronco para obter o máximo aproveitamento.
4. Por sugestão de um colaborador, introduzir um sistema de deteção de metais à entrada da linha, para evitar danos nos dentes das serras, na tentativa de eliminar mudanças prematuras das serras, reduzindo os tempos de paragem da linha e o risco de acidentes.
5. Analisar a posição de todos os sensores dos equipamentos, procurar formas de os proteger dos resíduos inerentes ao processo, com o objetivo de tornar as suas leituras mais eficientes, reduzindo os encravamentos e os erros de centragem, avanço e paragem dos pranchões.
6. Quanto à linha de aproveitamento de subprodutos, em primeiro lugar deve-se maximizar o aproveitamento dos pranchões na linha, o que reduz a quantidade de matéria-prima enviada para reaproveitamento, em segundo aumentar a capacidade desta linha secundária, em terceiro encontrar um sistema mais eficaz na recolha dos resíduos, por exemplo um transportador automático até ao processamento de pellets ou aproximar o início da produção de pellets ao final desta linha. Reduzindo os constrangimentos que obrigam à paragem das duas linhas de serragem.
7. Reconfigurar o sistema e rede de aspiração, torná-los mais eficazes e eficientes, em especial em torno dos motores e serras, evitando a acumulação de serradura que

cause sobreaquecimentos, encravamentos, perdas de cadência e avarias, de forma também a reduzir os custos energéticos e partículas prejudiciais para a saúde.

8. Instalar proteções sobre os mecanismos dos transportadores e serras, como correntes e rolamentos, evitando a queda de aparas e resíduos e conseqüentemente avarias e paragens indesejadas.
9. Redistribuir tarefas e responsabilidades entre os operadores, isto é, realizar um balanceamento entre a ocupação destes. Por exemplo, um dos operadores que está no final pode executar tarefas de controlo do processo, manutenção e limpeza da linha durante o processo. Prevenindo a acumulação de resíduos, avarias e paragens indesejadas e diminuir o tempo das paragens do processo.
10. Criar um plano de manutenção, documentar as intervenções da manutenção, implementar KPI's de manutenção.
11. Melhorar a eficácia das intervenções da manutenção, priorizando a resolução das causas dos problemas em vez de resolver temporariamente os problemas.
12. Desvincular a teoria de realizar horas extra para conseguir responder à carga de produção e adotar políticas que permitam a eficiência da linha nas 8 horas de trabalho diário. Permitindo que os operadores não se sintam sobrecarregados e melhorando a sua motivação, dia após dia.
13. Analisar a possibilidade de retirar a serra 2 do processo, isto é, o tronco já vem com o comprimento das réguas, ou o corte do comprimento das réguas é executado posteriormente conforme a necessidade da secção da montagem.

6. Conclusões

No decorrer deste projeto surgiram diversas barreiras, as quais foi necessário contornar.

Como a modelação no Tecnomatix® Plant Simulation, em que foi necessário algum trabalho de aprendizagem de utilização de ferramentas avançadas. Tentando sempre representar o mais real possível o processo, em termos de quantidades e tempos, procurando sempre que possível introduzir as variáveis que surgiram no decorrer das visitas à empresa.

O facto de a própria gestão da produção ter dificuldades em definir alguns parâmetros, como o diâmetro dos troncos ou a quantidade exata de réguas possíveis de obter de um tronco, dificultou na definição da capacidade produtiva, nos tempos de ciclo, desperdício gerado entre outros fatores influenciadores do processo das simulações pretendidas.

De forma a não perder o foco, alguns destes parâmetros tiveram de ser simplificados.

Em todos os projetos, não há uma forma única de os abordar ou uma solução ótima. Numa situação em que é necessário conhecer a empresa, o mercado, o processo, dominar as ferramentas *LEAN*, bem como o software de simulação, há sempre aspetos a melhorar.

Como, as visitas às instalações da empresa e o acompanhamento do processo que deveriam ter sido mais recorrentes, tal como o tratamento de dados poderia ser mais aprofundado.

Nas simulações, existem funcionalidades do software importantes que poderiam ser aplicadas de forma a melhorar a qualidade dos resultados obtidos.

Este projeto permitiu aplicar e consolidar conhecimentos adquiridos no decorrer do Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, em especial como abordar este tipo de projetos e liderar projetos de melhoria contínua.

O principal objetivo, de reduzir custos de produção através da análise e proposta de melhorias no processo de processamento de madeiras, foi atingido ao responder aos objetivos intermédios:

- O processo foi definido com recurso à planta da empresa e fluxograma, e analisando o produto e matéria-prima em estudo;

- Descrito o processo geral, assim como, os equipamentos que compõem a linha de serragem de madeira;
- Posteriormente, o processo foi analisado recorrendo à simulação virtual, foram também analisados os sintomas, o desperdício gerado e os dados de produção do processo;
- Foram encontradas soluções tecnológicas no mercado que possibilitam a troca de equipamentos na linha de serragem, trazendo com isso, vantagens competitivas para a empresa;
- Como plano de ações, foram apresentadas propostas de melhoria de baixo custo de investimento para a empresa.

Com a simulação de vários cenários, foi possível concluir que, com pequenas ações de melhoria é possível aumentar a produtividade da linha em 15,3%, antes de investir em equipamentos tecnológicos, reduzindo assim os custos de produção.

Ao realizar as simulações dos vários cenários foi possível demonstrar o impacto e benefícios que a Simulação Industrial apresenta ao ser utilizada como ferramenta de engenharia para projetos de melhoria contínua, este, o segundo objetivo proposto para este projeto.

De modo geral, este projeto possibilita à empresa ter uma visão renovada do processo de serragem, dos tempos de ciclo, da capacidade do processo, das necessidades de manutenção. Permite assim uma análise pormenorizada dos custos associados.

Este projeto deixa também uma nota importante:

- Na gestão de uma empresa, antes de investir em soluções no mercado para aumentar a capacidade da produção, deve-se analisar o processo e otimizar os recursos já existentes. Evitando investimentos desnecessários, que poderão não satisfazer as necessidades da produção se o recurso limitador permanecer no processo.

7. Trabalhos Futuros

Uma vez que a filosofia Lean tem em conta a melhoria contínua, não existe um ponto final para as melhorias nos processos.

Não tendo sido aplicada nenhuma sugestão de ação descrita neste documento, é sugerido que se aplique futuramente. A par da criação de um Plano de Ações para acompanhar a evolução das implementações realizadas, registadas e monitorizadas modificações e melhorias que surjam durante esse processo.

Numa perspetiva de melhoria contínua sugere-se, também, que sejam aplicadas novas ferramentas de melhoria, como a criação de KPI's, ferramentas da Qualidade, ferramentas de gestão de Manutenção, gestão visual, formação em Metodologia *Lean* com foco nas equipas de trabalho.

A empresa deve focar-se nas sugestões mencionadas no capítulo 5, nomeadamente:

- Melhorar a qualidade dos registos de produção, qualidade e manutenção;
- Plano e Ações de manutenção;
- Cultura organizacional e formação dos colaboradores, com vista a obter equipas homogéneas e focadas nos mesmos objetivos.

Referências Bibliográficas

- 1 Martos & Companhia Lda., (2022, 16 de fevereiro), [Em linha]. Disponível em: <https://www.martos.pt/>
- 2 Womack, J., Jones, D, *A mentalidade enxuta nas empresas (Lean Thinking)*, Editora Campus, 1ª Edição, 2004.
- 3 Costa R.S. e Jardim E.G.M., *Os cinco passos do pensamento enxuto*, Rio de Janeiro, 2010. [Em linha]. Disponível em: <http://www.trilhaobjetos.com.br>
- 4 James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos, *A Máquina que mudou o mundo*, 10ª Edição
- 5 Ribeiro, Vera, et al., *Implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade numa empresa de manutenção preventiva*, 2019. [Em linha]. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/61066>
- 6 Pauline Balabuch (Organizadora), *Princípios e Filosofia Lean*, Atena Editora, 2017
- 7 RANDON, Gabriel; CECCONELLO, Ivandro. *Simulação como Tecnologia Habilitadora da Indústria 4.0: Uma Revisão da Literatura. Scientia cum Industria*, 2019, 7.2: 117-125.
- 8 Fundação CERTI, (2022, 17 de junho), [Em linha]. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/otimizacao-de-processos-industriais/>
- 9 ABREU, Cleyde Evangelista Maia, et al., *Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro*, Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, 2017, 12.12: 49-53.
- 10 Siemens Digital Industries Software, (2022, 25 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html>
- 11 SOKOVIC, Mirko; PAVLETIC, Dusko; PIPAN, K. Kern. *Quality improvement methodologies– PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS*. Journal of achievements in materials and manufacturing engineering, 2010, 43.1: 476-483.
- 12 Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal (2023, 22 de março), [Em linha]. Disponível em: <https://pt.epal-pallets.org/plataformas-de-carga/euro-paleta-epal>
- 13 Master Caixa Lda., (2022, 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://mastercaixa.com.br/Pagina/o-que-e-o-paleta-e-para-que-serve>
- 14 Jocar – Fábrica de Máquinas de José Oliveira Carlos & Filhos, Lda. (2022, 17 de junho), [Em linha]. Disponível em: <https://www.jocar-lda.com/>
- 15 Storti S.P.A., (2022, 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://www.storti.it/>
- 16 SAB – Sägewerksanlagen GmbH, (2022, 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://www.sab-aue.de/>
- 17 Linck Holzverarbeitungstechnik GmbH, (2022, 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://www.linck.com/en/>
- 18 Barton Maquinaria S.L., (2022, 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <http://barton.es/sawmill.php/>

- 19 Mendes Máquinas, (2022, 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://mendesmaquinas.com.br/>
- 20 Mill Indústria de Serras Lda., (2022 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://www.mill.com.br/>
- 21 MEBOR d.o.o, (2022, 5 de setembro), [Em linha]. Disponível em: <https://www.mebor.eu/>

Glossário

<i>Just-in-time</i>	Ferramenta que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora certa.
<i>Lean Manufacturing</i>	É uma filosofia de gestão oriunda do Sistema Toyota de Produção focada na redução dos oito tipos de desperdícios.
MUDA	Significa resíduos em japonês e há 8 deles, que o <i>Lean Manufacturing</i> procura eliminar.
<i>Takt time</i>	É o tempo disponível que a produção possui para responder à procura do mercado.
<i>Lead time</i>	É o tempo entre o momento de pedido do cliente até a chegada do produto a ele.
Diagramas Sankey	Diagrama de fluxo em que a largura das setas é proporcional à taxa de fluxo.
Gráficos de Gantt	Gráfico usado para ilustrar o avanço das diferentes etapas de um projeto.
Gráficos de Pareto	Gráfico de colunas que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas, procurando levar a cabo o princípio de Pareto (80% das consequências advêm de 20% das causas).
<i>Charriot</i>	Nome dado à serra 1 pelos colaboradores da empresa.
Costeiros	Laterais curvas provenientes do corte dos troncos em pranchões.
Pranchões	Parte central do tronco após corte dos costeiros.
