

**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

David Azevedo Vieira

**Planeamento da produção e das existências  
numa fábrica de madeiras**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do(s)

**Professora Maria Leonilde Rocha Varela**

**Professor Nuno Alberto Ferreira Lopes**

Fevereiro de 2022

## **Agradecimentos**

É com bastante orgulho que termino esta dissertação, apesar de não ser o meu primeiro contacto com o mundo empresarial e profissional, consegui enfrentar novos obstáculos onde pus em prática conhecimentos adquiridos ao longo do mestrado e a minha capacidade de adaptação a novos conceitos e realidades. Contudo existiram bastantes contratempos e dificuldades que apenas foram ultrapassados graças à ajuda de várias pessoas e instituições, a quem deixo de seguida, o meu agradecimento.

À Professora Maria Varela e ao Professor Nuno Lopes por todo o conhecimento transmitido na orientação do projeto, por toda a preocupação e ajuda durante estes longos meses de projeto.

Ao Professor Marcelo Henriques por todo o auxílio e disponibilidade durante a fase de simulação do modelo.

À SimpleAxis pela oportunidade de estágio e por todo o acompanhamento durante o estágio, pela forma como fui recebido e por nunca desprezarem o meu trabalho.

Ao Engenheiro Luís Macedo e à Doutorada Catarina Leite por terem aceitado este desafio de me acolher e apadrinhar neste projeto, por nunca me fazerem sentir excluído da equipa e estarem sempre disponíveis para qualquer dúvida.

Aos meus amigos e colegas do MES, por todos os desafios colocados, por toda a ajuda, por todos os momentos passados e companhia ao longo destes dois anos académicos.

Por último, mas não menos importante, agradecimentos à minha família, por todo o apoio incondicional demonstrado desde sempre, pela oportunidade de efetuar este mestrado e por nunca duvidarem das minhas capacidades.

# Planeamento da produção e das existências numa fábrica de madeiras

## Resumo

Num mercado competitivo como o de hoje, nenhuma empresa pode ficar satisfeita com os resultados que vai obtendo, devendo ambicionar sempre mais e melhor. Inovar e melhorar continuamente o produto, impõe explorar e refletir.

Um estudo pormenorizado dos processos relacionados com a linha de produção é crucial para a evolução da organização, onde podem ser descobertas situações invisíveis ao olho do utilizador comum, que lida com os grandes obstáculos do quotidiano empresarial.

O trabalho proposto contribuiu para a melhoria do planeamento da produção e da gestão de *stocks* numa empresa de madeiras, através da aplicação de algumas abordagens e técnicas tais como, previsões, políticas de gestão de stock, análise ABC e simulação.

Tal passou pela análise das encomendas relativas aos anos 2018, 2019 e 2020, com um desmembramento dos produtos finais em componentes principais para a linha de produção, assim como uma análise às capacidades e processos da linha de produção.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, sugeriram-se medidas a adotar para incrementar a qualidade e eficiência dos processos da linha de produção tais como - dar prioridade às encomendas de produtos de largura 180 e/ou implementação da regra de despacho *Least Setup Time* na distribuição das encomendas pelas máquinas ACOSTA, implementação de um stock de subproduto de largura 180 com a sua gestão através de uma heurística de quantidade económica de encomenda e com recurso a uma previsão da procura do mesmo subproduto. Por fim é sugerido alterar o planeamento da produção para produtos de largura 90, por possuírem um dos valores de venda mais alto em relação a todos os outros produtos de larguras diferentes.

Por outro lado este estudo vai também ajudar a organização na tomada de decisão e a ganhar perceção de quais os produtos que carecem de atenção especial ou por representarem um grande volume de encomendas ou ainda por representarem uma grande carga de trabalho para a linha de produção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controlo da Atividade Produtiva, Gestão de Stocks, Previsões da Procura, Simulação.

# Production and stock planning in a wood factory

## Abstract

The present competitiveness between companies is increasing, so no one can be satisfied with the results obtained, the thoughts should be targeted to aspire better and more. Innovating and improving continuously the product, this demands exploring and reflecting.

One detailed study of the processes related with the production line is crucial for the evolution of the organization, with this study can be discovered situations invisible to the naked eye that faces the big obstacles of the daily business.

The work proposed has the main objective to contribute to improvements of the production's planning and the stock's management in a wood's company, through application of many approaches and techniques such as, predictions, stock management policies, ABC analysis and simulation.

It will go through by an analysis of the 2018, 2019 and 2020 orders, with a dismemberment of the final products in main components for the production line. Thus an analysis to the capacity and processes of the production line.

Based in these results, are suggested some measures to adopt to increment the production line processes' quality and efficiency, such as – giving priority to the products with 180 width and/or apply least setup time rule when distributing the orders by the two ACOSTA machines, implementation of a stock of a subproduct with 180 width, complemented with a demand prediction and a economic order quantity heuristic. Lastly is suggested to change the production planning to products with a 90 width, for being sale for a bigger value than the products of 180 with.

In the other hand this study will also help the organization gain a perception of which products necessitate special attention, by representing a big volume of orders or by still representing a big work volume for the production line.

**KEYWORDS:** Demand forecasts, Inventory management, Production management, Simulation

# Índice

1. Introdução .....	1
1.1 Apresentação da empresa.....	1
1.2 Empresa alvo do estudo.....	1
1.3 Objetivos do estágio curricular.....	2
1.4 <i>Software</i> utilizado .....	2
1.5 Organização do relatório.....	2
2. Revisão da literatura .....	4
2.1 Técnicas de previsão.....	5
2.1.1 Médias Móveis.....	7
2.1.2 Alisamento Exponencial .....	8
2.1.3 Modelos ARIMA .....	8
2.1.4 Regressão Linear.....	9
2.1.5 Método Prophet.....	10
2.1.6 Erros das previsões .....	10
2.2 Gestão de stocks.....	12
2.2.1 Quantidade Económica de Encomenda.....	14
2.2.2 Nível de Re-Encomenda.....	16
2.2.3 Ciclo de Encomenda.....	18
2.2.4 Heurísticas .....	19
2.3 Análise ABC .....	21
2.4 Simulação.....	21
2.5 Análise de <i>clusters</i> .....	23
2.6 Árvore de decisão.....	25
3. Desenvolvimento.....	25
3.1 Estado atual da linha de produção .....	25
3.2 Tratamento das encomendas dos últimos 3 anos.....	30
3.3 Análise de <i>clusters</i> .....	43
3.4 Diagrama de árvore de decisão .....	47
3.5 Simulação aplicada á indústria de madeiras.....	49
3.6 Análise de sensibilidade .....	59
3.7 Análise de sensibilidade no SIMIO .....	65
3.8 Previsão da largura" 180" .....	67
3.9 Política de gestão de stock .....	71
4. Conclusões.....	73
5. Bibliografia.....	74

# SIGLAS

**KPI** - Key Performance Indicator

**MAE** – Mean Absolute Error

**QEE** – Quantidade Económica de Encomenda

**WIP** – Work in Progress

# Índice de ilustrações

Figura 1. Modelo quantidade económica de encomenda. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011). .....	14
Figura 2. Custo de existência de <i>stock</i> vs. custo de passagem de encomenda. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).....	15
Figura 3. Modelo nível de reencomenda. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011). .....	17
Figura 4. Modelo ciclo de encomenda. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011). .....	19
Figura 5. Heurística da QEE exata. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011). .....	20
Figura 6. Análise ABC. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).....	21
Figura 7. Distância entre A e B no espaço X Y. Adaptado de (Pereira, 2004). .....	24
Figura 8. Processos desde a encomenda ao produto acabado. (SimpleAxis, 2020). .....	26
Figura 9. Local de trabalho da <i>Wintersteiger</i> . (SimpleAxis, 2020).....	27
Figura 10. Preparação da encomenda. (SimpleAxis, 2020).....	27
Figura 11. Secção destinada à Holzman. (SimpleAxis, 2020) .....	28
Figura 12. Colagem na Acosta. (SimpleAxis, 2020) .....	29
Figura 13. Máquina Chevron. (SimpleAxis, 2020) .....	29
Figura 14. Linha de verniz. (SimpleAxis, 2020).....	30
Figura 15. Diagrama da linha de produção.....	30
Figura 16. Proporção de volume de encomendas por ano. ....	32
Figura 17. Países que mais encomendam. ....	33
Figura 18. Espessuras mais encomendadas. ....	34
Figura 19. Tipos de madeira mais encomendados.....	35
Figura 20. Qualidades da madeira mais representadas. ....	36
Figura 21. Contra placado mais encomendado.....	37
Figura 22. Larguras mais encomendadas.....	37
Figura 23. Os 5 intervalos de comprimentos mais encomendados. ....	38
Figura 24. Espessuras nobre mais encomendadas. ....	39
Figura 25. Caixa de bigodes do valor líquido por metro quadrado. ....	40
Figura 26. Caixa de bigodes da quantidade. ....	41
Figura 27. As 10 madeiras com custo mais elevado.....	42
Figura 28. Comportamento das encomendas ao longo dos meses .....	42
Figura 29. Número ótimo de <i>clusters</i> . ....	44
Figura 30. Proximidade entre encomendas de <i>clusters</i> diferentes.....	46
Figura 31. Árvore de decisão sobre as características dos produtos.....	47
Figura 32. Ramificações dominantes.....	49
Figura 33. Representação em 3D do modelo base. ....	50
Figura 34. Símbolos diferentes para as encomendas.....	51
Figura 35. Objetos <i>Sources</i> . ....	52
Figura 36. Valores associados aos <i>sources</i> .....	52
Figura 37. Acosta no modelo de simulação. ....	53
Figura 38. Horário de trabalho da máquina Acosta.....	53
Figura 39. <i>Changeover matrices</i> .....	54
Figura 40. Análise ABC das larguras.....	59
Figura 41. Série temporal da largura180.....	60
Figura 42. Série temporal da largura90.....	61
Figura 43. Série temporal da largura140.....	61
Figura 44. Série temporal da largura120.....	62
Figura 45. Decomposição da série da largura180.....	62
Figura 46. Decomposição da série da largura90.....	63
Figura 47. Decomposição da largura140.....	63
Figura 48. Decomposição da série da largura120.....	64
Figura 49. Valores diários encomendados da largura180. ....	68



Figura 50. Previsões da largura180.....	69
Figura 51. Componentes da previsão. ....	69
Figura 52. Erro absoluto médio da validação cruzada. ....	70

# Índice de tabelas

Tabela 1. Variáveis de interesse.....	31
Tabela 2. 5 clientes que mais encomendam.....	33
Tabela 3. Estatísticas descritivas do valor líquido.....	39
Tabela 4. Estatísticas descritivas da quantidade.....	40
Tabela 5. Valores médios das características de cada <i>cluster</i> .....	44
Tabela 6. Tempos de processamento das larguras.....	51
Tabela 7. Classes para a mudança de setup.....	54
Tabela 8. Medidas de análise de desempenho.....	55
Tabela 9. Distribuições das chegadas das encomendas.....	65
Tabela 10. Comparação da previsão com valores reais.....	70
Tabela 11. Valores previstos e os respectivos intervalos de confiança.....	70
Tabela 12. Necessidades líquidas.....	72

# 1. Introdução

No âmbito do Mestrado em Engenharia de Sistemas foi realizado um estágio curricular na empresa SimpleAxis, situada na freguesia de Paranhos do distrito do Porto. O estágio iniciou-se a 4 de Janeiro de 2021 e terminou a 30 de Junho de 2021. Com esta parceria e sob a orientação dos Professores Maria Leonilde Varela, Nuno Lopes e do Engenheiro Luís Macedo, foi possível realizar o trabalho cuja dissertação consta deste documento.

## 1.1. Apresentação da Empresa

A SimpleAxis é uma *startup* tecnológica que se foca na incorporação de tecnologias de informação na indústria, contribuindo desta forma para a transformação digital das empresas e para a sua diferenciação em ambientes competitivos. A empresa foi fundada por uma equipa multidisciplinar de investigadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com competências avançadas em diversas áreas da engenharia. Com um portefólio de trabalhos inicialmente desenvolvidos na área da avaliação de risco e da otimização de soluções estruturais no domínio da engenharia civil, a SimpleAxis tem progressivamente expandido o seu campo de atuação para outros setores da indústria, através do desenvolvimento e implementação de soluções avançadas para apoio à tomada de decisão. A ligação próxima ao ambiente científico da Universidade do Porto, combinada com uma interação profunda com os seus clientes, permite à SimpleAxis desenvolver soluções funcionais, inovadoras e otimizadas baseadas na *cloud* que contribuem para ganhos de produtividade, redução de custos e aumento da quota de mercado das empresas. SimpleAxis (2020). <https://www.simplesaxis.com>.

## 1.2. Empresa alvo do estudo

Como já foi explicado acima, a SimpleAxis é uma startup tecnológica que possui um modelo de negócio caracterizado por incorporar tecnologias de informação na indústria. Por consequente a SimpleAxis trabalha sempre com clientes que representam outras organizações, neste caso em concreto o projeto de estudo foi realizado para uma empresa do setor das madeiras.

Esta empresa do setor das madeiras, Castro & Filhos, situada no distrito de Guimarães, apresenta o seu principal produto denominado CastroWoodFloors como um dos melhores pavimentos em madeira do mundo.

Castrowoodfloors é um piso 100% em madeira produzido em Portugal. Castrowoodfloors é produzido na

empresa Castro & Filhos, desde 1970. A Castro & Filhos é desde a sua origem uma empresa dedicada à madeira. Especializou-se durante décadas no tratamento de madeira dura oriunda de todo o mundo. A experiência acumulada em todos estes anos de produção de produtos em madeira permite que, atualmente a Castro & Filhos seja líder nacional de produção de pavimentos em madeira e uma das melhores empresas mundiais do setor. A gama Castrowoodfloors inclui pisos maciços, pisos compostos, e pisos de exterior (*decking*), e está presente ativamente em mais de 40 países de 4 continentes. O produto CastroWoodfloors possui a mais recente tecnologia e está sujeita a um controlo de qualidade muito exigente e restrito. O percurso da empresa Castro & Filhos pautou-se, sempre, pela seriedade no relacionamento com os seus clientes. Fazer parte da solução, privilegiando a utilidade, a comodidade e o bem-estar do consumidor final na sua relação com o pavimento em madeira, é desde sempre a missão da Castro & Filhos. Castro & Filhos (2020). <https://www.castrowoodfloors.pt>

### **1.3. Objetivos do estágio curricular**

Este projeto que é realizado com a orientação da SimpleAxis, fixa-se numa análise detalhada aos processos produtivos de uma empresa de madeiras. Serão aconselhadas melhorias assim como implementação de novos conceitos com o intuito de melhorar a eficiência, produtividade e redução de custos da organização. Sendo assim os objetivos principais passam por analisar de forma minuciosa uma base de dados relativamente às encomendas, clarificar qual o subproduto mais importante para a organização e para a sua linha de produção, simular alterações para a linha de produção, realizar uma previsão da procura do subproduto mais essencial para a organização e por fim sugerir uma política de gestão de *stock* do mesmo subproduto.

### **1.4. Software utilizado**

Nesta dissertação foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel, SIMIO, Draw.io e o *software* de estatística livre R.

### **1.5. Organização do Relatório**

Este relatório encontra-se estruturado em 3 capítulos (excluindo o introdutório e a bibliografia), organizados da seguinte forma:

No capítulo 2 apresenta-se a revisão de literatura onde são abordados conceitos importantes para o

projeto.

No capítulo 3 é elaborado o desenvolvimento que começa por uma análise detalhada das encomendas assim como a ligação das mesmas à linha de produção. É feita uma análise de *clusters* de forma a criar uma ligação entre as encomendas que acaba por terminar num diagrama de árvore de decisão. É ainda realizado um escrutínio à linha de produção, onde se fica a saber os processos cruciais da organização dentro de portas, são realizados vários modelos de simulação de uma versão simplificada da linha de produção com o objetivo de encontrar melhorias e aumentos de eficiência da mesma. É ainda feita uma análise de sensibilidade tendo em conta o valor de venda de produtos diferentes de modo a aumentar os lucros associados às vendas. Por fim, é ainda realizada uma previsão das encomendas do produto com largura 180, que irá servir de apoio ao estudo da política de gestão de *stocks* sugerida dentro da linha de produção.

O capítulo 4 é relativo às conclusões das várias análises e estudos onde são apresentadas soluções de melhorias o futuro.

## 2. Revisão da literatura

Para atingir os objetivos traçados desta dissertação, foi usada uma metodologia de investigação *Action Research*. Esta metodologia é caracterizada por ser uma investigação ativa onde há um envolvimento social, tanto do investigador como de todas as pessoas envolvidas no projeto, a essência é aprender com a prática – “Learn by doing” (O’Brien 1998). Esta metodologia de investigação envolve um ciclo de cinco fases:

- Diagnóstico: identificação ou definição do problema;
- Planeamento da ação: considerar todas alternativas possíveis para a resolução do problema;
- Implementação: a partir do plano de ação sugerido na fase anterior é implementada a solução mais apropriada para a resolução do problema;
- Avaliação: análise dos resultados obtidos;
- Identificar conhecimento: saber identificar quais foram os processos essenciais para chegar à solução.

Assim segundo a metodologia *Action Research*, ocorre em primeiro lugar uma identificação do problema, em segundo lugar de um modo iterativo, consideram-se todas as alternativas possíveis para encontrar a solução. Após encontrada uma alternativa, é realizada a implementação e de seguida a sua avaliação, ou seja, se esta consegue alcançar os objetivos traçados. No final identificar os processos cruciais para a chegada à solução. É importante salientar que se trata de um processo iterativo e portanto nem sempre uma solução encontrada de forma rápida poderá ser tão eficaz.

O mercado atual é muito competitivo e portanto uma organização que não esteja sempre em desenvolvimento e a acompanhar o avanço da tecnologia, é uma empresa obsoleta e que mais tarde ou mais cedo irá ter problemas de competitividade em relação às empresas do mesmo setor.

Na indústria da madeira assim como na generalidade das indústrias atuais um bom planeamento é crucial para o sucesso. A utilização de técnicas de previsão da procura e de políticas de gestão de *stocks* contribuem para uma maior eficiência da empresa assim como para um maior sucesso da mesma (Wong and Guo 2010). Segundo Gaither and Fraizer (2005), a previsão da procura é uma ferramenta essencial para tornar o processo de decisão mais rápido e seguro. Uma boa política de gestão de *stocks* permite ter pouco investimento nos *stocks* assim como um tempo de entrega pequeno. A inexistência de previsões ou previsões demasiado irrealistas pode provocar excesso/falta de capacidade, excedentes de *stocks* e/ou perda de oportunidades de venda ou outras consequências negativas (Figueiredo 2007).

Estas duas áreas estão muito interligadas pois uma boa política de gestão de *stocks* na maioria das vezes precisa de boas previsões da procura, segundo Prak and Teunter (2019) esta ligação já tem sido estudada por alguns autores. Os autores Fildes and Beard (1992) discutem a correlação de ambas e da importância dos erros de previsões futuras de forma explícita.

Assim neste contexto foi realizada uma revisão bibliográfica que começa no ponto 2.1 por abordar as técnicas de previsão mais comuns assim como medidas de erros usadas para avaliar o desempenho das previsões, no ponto 2.2 são analisadas as várias políticas de gestão de *stocks* mais praticadas na atualidade, no ponto 2.3 é explicada o propósito de uma análise ABC, no ponto 2.4 é abordado o conceito de simulação e a sua importância para a indústria atual assim como as suas vantagens e desvantagens. Por fim no ponto 2.5 é feita uma breve explicação da análise de *clusters* e no ponto 2.6 uma pequena introdução ao diagrama e árvore de decisão.

## 2.1. Técnicas de previsão

Previsão, na estatística é o processo de estimar situações futuras de incerteza, previsões estão normalmente relacionadas à estimação de séries temporais. A previsão é habitualmente, mas nem sempre, à base da experiência e do conhecimento (Papadourakis G. 1993).

A base da modelação corresponde à construção de um modelo matemático que permita descrever, o mais adequadamente possível, a evolução da série temporal, isto é normalmente a parte mais difícil das previsões. A previsão consiste na estimação de valores futuros de uma série temporal usando o modelo que melhor se ajusta aos dados.

Segundo Menezes (2014), as grandes áreas de aplicabilidade de técnicas de previsão são:

- Agronomia – Produção anual de colheitas de preços;
- Economia e Gestão – Cotações diárias da bolsa, taxas de juro semanais, índices mensais de preços entre outras;
- Engenharia – Registo de som, sinas elétricos, voltagem;
- Meteorologia e Geofísica – Temperatura do ar, velocidade horária do vento, precipitação horária ou diária, entre outras;
- Ciências Sociais – Taxas de nascimento ou morte.

Os modelos de previsão podem ser divididos em 2 grupos, modelos qualitativos e modelos quantitativos.

Os modelos qualitativos dispensam dados quantitativos, são baseados na experiência de “especialistas”

e estabelecem cenários e paralelismos com situações semelhantes. Nestes modelos verifica-se inexistência de dados históricos. Por outro lado, os modelos quantitativos que se dividem em dois grandes grupos, modelos causais e modelos não causais, baseiam-se em dados palpáveis, ou seja, dados numéricos e pressupõe-se a existência de dados históricos que continuem válidos (Armstrong 2001).

- Modelos Não Causais ou também denominados séries temporais procuram padrões nas observações de modo a conseguir extrapolar para o futuro (Papadourakis G. 1993).
- Modelos Causais ou também denominados modelos de regressão procuram explicar ou relacionar a variável que se pretende prever com outras variáveis que possam explicar o seu comportamento. Este modelo é normalmente utilizado para previsões a curto prazo (Archer 1980).

A análise de uma série temporal consiste em identificar e classificar os fatores explicativos da ocorrência de variações no comportamento da série, isto é, variações ocorridas nos valores da variável ao longo da unidade temporal e também consiste em descobrir o modelo que melhor descreve o seu comportamento. Normalmente em situações reais, não se tem conhecimento do processo estocástico que gera a série temporal, tendo por isso que se escolher um modelo aproximado.

Numa análise de uma série temporal é possível identificar certos componentes (Kück and Freitag 2021):

- Nível – uma medida do seu valor médio num determinado período de tempo, indica-nos a escala da série temporal;
- Tendência - corresponde às variações de longo prazo que fazem com que os seus valores aumentem ou diminuam ao longo do tempo;
- Sazonalidade – quando existe variação nas observações num fator temporal bem definido;
- Ciclo – corresponde às oscilações de longo prazo relativamente ao nível da série, a sua duração é normalmente irregular e superior a um ano;
- Variações aleatórias – não têm qualquer padrão identificável e podem ser causadas por acontecimentos tais como fogo, greves, etc... .

Os métodos de decomposição baseiam-se na identificação dos componentes típicos que podemos encontrar numa série temporal, nomeadamente a tendência, a sazonalidade, o ciclo e as variações



aleatórias.

Existem vários métodos para decompor uma série temporal, a sua representação geral será da forma:

$$X_t = f(T_t, S_t, C_t, R_t) \quad (1)$$

Onde,

- $X_t$  – Valor da série no período  $t$ ;
- $T_t$  – Componente de tendência no período  $t$ ;
- $S_t$  – Componente sazonal no período  $t$ ;
- $C_t$  – Componente cíclica no período  $t$ ;
- $R_t$  – Componente aleatória no período  $t$ .

A função usada para relacionar estes quatro componentes pode tomar uma variedade de formas. Aditivo (somando simplesmente os quatro elementos) ou Multiplicativo (considerando o produto dos quatro elementos).

Métodos de alisamento consistem em modelos de previsão a partir de dados anteriores, sendo que estão divididos em dois grupos, os métodos de médias móveis e os métodos de alisamento exponencial.

### 2.1.1. Médias Móveis

Os modelos de médias móveis baseiam-se no cálculo do valor médio de um número de observações previamente escolhido e que se mantém constante ao longo do tempo (Armstrong 2001).

A designação de média móvel é usada porque à medida que um novo valor observado fica disponível, é calculada uma nova média que irá utilizar esta nova observação no lugar da observação mais antiga usada no cálculo da média anterior. O mesmo peso (importância) é atribuído a cada uma das últimas  $N$  observações disponíveis e todas as observações anteriores são ignoradas.

Assim tem-se:

$$F_{t+1} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^t X_i \quad (2)$$

Onde,

- $F_{t+1}$  – Previsão para o período  $t + 1$ .
- $X_i$  – Valor observado no período  $i$ .
- $N$  – Número de observações incluídas para o cálculo da média.

## 2.1.2. Alisamento Exponencial

O método de alisamento exponencial baseia-se no princípio de que as observações mais recentes contêm informação mais relevante sobre o que poderá acontecer no futuro e portanto deveriam ter maior peso na determinação das previsões do que observações mais antigas.

Dentro deste método os modelos mais utilizados passam pelo alisamento exponencial simples, pelo método de Holt e pelo método de Holt-Winters.

A equação matemática do método de suavização simples é dada por (Makridakis, Spyros, Wheelwright and Victor E. 1998):

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t \quad (3)$$

Onde,

- $F_{t+1}$  – Previsão para o próximo período ( $t + 1$ ).
- $X_t$  – Valor observado no período atual  $t$ .
- $F_t$  – Valor previsto para o período atual  $t$ .

Uma grande limitação deste método é a sua rigidez, sendo assim desadequado para a previsão de séries temporais que apresentem características como tendência ou a sazonalidade. Estas duas características (tendência e sazonalidade) inerentes às séries temporais podem conduzir a erros inaceitáveis na previsão.

## 2.1.3. Modelos ARIMA

Os modelos ARIMA (autorregressivo, integrado e de média móvel) foram desenvolvidos por George Box e Gwilym Jenkins, cujos nomes são frequentemente usados para designar esta classe de modelos de previsão. Estes modelos ARIMA segundo Chan et all. (1999), são dos modelos mais utilizados por terem a capacidade de representaram a generalidade das séries temporais, quer sejam estacionárias ou não,

com ou sem elementos sazonais.

A aplicação desta metodologia requer que a série temporal seja estacionária. Como normalmente isto não acontece é necessário proceder a uma transformação prévia dos dados que ajude a estabilizar a variância da série e a eliminar tendências ou variações sazonais presentes nos dados. A metodologia Box-Jenkins consiste em três fases principais - identificação do modelo, estimativa dos parâmetros e por fim validar o modelo e estimar as previsões desejadas. O modelo é representado pela notação ARIMA (p,d,q):

- p – ordem do processo autorregressivo (AR);
- d – grau de diferenciação (I);
- q – ordem do processo de média móvel (MA).

A notação dos modelos ARIMA pode ainda ser alargada de forma a incluir os aspetos sazonais:

$$ARIMA (p, d, q) (P, D, Q)^s$$

Onde os parâmetros (P,D,Q) são equivalentes mas da parte sazonal.

## 2.1.4. Regressão Linear

Para além destes modelos apresentados existem ainda os modelos de regressão linear simples e modelos de regressão linear múltipla, estes modelos tentam estabelecer relações entre as variáveis, de forma a prever uma delas (variável dependente) a partir do conhecimento das restantes.

Os modelos de regressão linear são geralmente associados à equação da reta:

$$Y = a + bX + e \quad (4)$$

Onde,

- Y – valor da variável dependente;
- a – valor da ordenada na origem;
- b – declive da reta;
- X – valor da variável independente;
- e – erro.

## 2.1.5. Método Prophet

Devido ao avanço da tecnologia e do fácil acesso a “big data”, foram sendo desenvolvidos novos modelos de previsão mais inteligentes que recorrem por vezes a inteligência artificial. Um exemplo disso é o método “Facebook Prophet” que é um procedimento open-source para efetuar previsões a séries temporais baseado num modelo aditivo onde as tendências não lineares são ajustadas conforme a sua sazonalidade sejam elas diárias, semanais, anuais ou ainda relacionadas com festividades anuais (o Natal por exemplo). Conhecido por ser bastante acessível ao utilizador comum, tem bastante potencial quando lida com alterações na tendência, valores em falta e outliers. Segundo Yenidoğan et all. (2018) o método Prophet demonstrou ser em algumas situações mais eficaz que os modelos tradicionais ARIMA. Similar a um modelo aditivo com o tempo como regressor, Prophet ajusta vários modelos lineares e não-lineares como componentes. Este modelo tem a vantagem de decompor facilmente e acomodar novos componentes caso seja necessário por exemplo, se uma nova fonte de sazonalidade for identificada. Prophet enquadra o problema de previsão como um exercício de ajustamento da curva em vez de olhar explicitamente para a dependência baseado no tempo de cada observação.

O procedimento do Prophet é caracterizado por decompor a série temporal em 3 principais componentes, tendência sazonalidade e festividades.

$$y(t) = g(t) + h(t) + e(t) \quad (5)$$

Onde:

$g(t)$  – representa a tendência em mudanças não periódicas;

$s(t)$  – representa a sazonalidade em mudanças periódicas;

$h(t)$  – representa o efeito de festividade, em potenciais irregularidade planeada maiores ou igual a um dia(s).

$e(t)$  – representa qualquer mudança que não seja representada pelo modelo.

Este método pode ser utilizado recorrendo a várias ferramentas, neste caso foi utilizado no software R.

## 2.1.6. Erros das previsões

Tendo em conta estes modelos apresentados, todos eles não conseguem fugir à possibilidade de construir previsões com erros associados. Estes erros são essenciais para a comparação de modelos,

onde o objetivo será encontrar o modelo com os erros minimizados da melhor forma possível.

Assim o erro de previsão para cada período  $i$  será dado pela diferença entre o previsto ( $\hat{X}_i$ ) e o real ( $X_i$ ).

$$e_i = \hat{X}_i - X_i \quad (6)$$

Se  $e_i$  for positivo, significa que a previsão tem um erro em excesso, o previsto é maior do que o real, por outro lado, se for negativo significa que a previsão tem um erro por defeito, onde o real é maior do que o previsto.

Quando os erros de precisão são elevados significa que o modelo de previsão deve ser revisto. Existem vários indicadores de precisão:

- Erro Absoluto Médio (MAD – “*mean absolute deviation*”)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (7)$$

O erro absoluto médio transforma todos os erros em positivos para tornar a interpretação mais intuitiva e mais acessível, para que os erros negativos não anulem os positivos

- Erro Quadrático Médio (MAD – “EQM”)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (8)$$

O erro quadrático médio tem o mesmo objetivo que o erro absoluto médio, mas neste caso não é recorrido ao absoluto do erro mas sim ao seu quadrado.

Também existem medidas com base nas percentagens, onde é necessário definir um *erro percentual* <sub>$i$</sub> .

- Erro Percentual

$$\left( \frac{\hat{X}_i - X_i}{X_i} \right) * 100 \quad (9)$$

- Erro Percentual Médio

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{erro percentual}_i \quad (10)$$

- Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE – “*mean absolute percentage error*”)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\text{erro percentual}_i| \quad (11)$$

O erro percentual absoluto médio representa a média percentual da divisão entre o erro de previsão e o valor real.

## 2.2. Gestão de *Stocks*

Inventário ou *stock* pode ser definido como a acumulação de matérias-primas, produtos semiacabados e/ou produtos acabados, bem como de sobressalentes necessários à manutenção, num sistema produtivo.

Na generalidade os inventários representam um investimento muito significativo para as organizações, quer sejam de grande ou pequena dimensão. Portanto, este capital investido nos inventários tem motivado uma tendência que aponta no sentido da racionalização dos inventários.

O inventário funciona como um fio condutor entre o fornecedor de matérias-primas e o cliente final. A gestão de inventários, uma das principais funções da logística, deve ser vista numa perspetiva integradora da gestão eficiente da cadeia de abastecimento como um todo.

Existem duas filosofias de gestão da cadeia logística:

- *Push*: onde a movimentação dos inventários é desencadeada pela empresa.
- *Pull*: onde a movimentação dos inventários é desencadeada pelo cliente, este normalmente permite uma redução significativa dos *stocks*, tempos de produção e distribuição.

As grandes vantagens da existência de *stocks* são permitir um ajustamento à procura, permitir uma estabilização do nível de produção, cumprir os prazos de entrega, controlo do produto, especulação e funcionamento do processo e do produto. Por outro lado, a existência de *stocks* também possui algumas

desvantagens, ocupar muito espaço físico e imobilizar meios financeiros importantes.

O inventário também permite esconder as vulnerabilidades de uma empresa, muitas organizações refugiam-se um nível de inventário muito elevado pois permite ocultar os pontos fracos de uma empresa, tais como um mau planeamento ou má manutenção das máquinas, entre outros.

Os modelos de gestão de inventários podem ser classificados em três categorias:

- Modelos Determinísticos – onde o prazo de entrega e a procura são aproximadamente constantes, requerem modelos bastante simples mas com bastante aplicabilidade, um exemplo é o modelo da Quantidade Económica de Encomenda (QEE);
- Modelos estocásticos ou probabilísticos - onde o prazo de entrega e a procura apresentam variabilidade aleatória significativa, é necessário criar um “stock de segurança”, exemplos são as Políticas Nível de Encomenda e o Ciclo de Encomenda;
- Modelos para procura dependente – normalmente em situações de stocks hierárquicos e procura irregular, por exemplo quando a procura depende do plano de produção adotado. Alguns exemplos são no contexto do sistema de gestão “material Requirements Planning” (MRP), ou no sistema “Just in Time”.

A importância dos inventários tem vindo a mudar ao longo das gerações, enquanto no início do século devido à grande procura de produtos predominava a produção em massa, e abundantes quantidades em *stock*. Atualmente é precisamente o contrário, apenas possuir *stock* em quantidades mínimas necessárias e de artigos essenciais ou que sirvam de base para outros artigos finais. Em todos os setores do mundo empresarial, fruto em grande parte da pressão feita pela sociedade, pode-se começar a ver uma maior preocupação com a poluição assim como no desperdício dos recursos, as políticas de gestão de *stocks* permitem isto mesmo, uma melhor gestão dos recursos podendo de certa forma ser ligada à diminuição do desperdício e conseqüentemente à preservação do planeta.

Hoje em dia a produção é superior à procura e por isso são necessárias técnicas de marketing e gestão para que uma organização se mantenha competitiva no seu setor. Uma das estratégias adotadas pelas organizações é a “*mass customisation*”, estratégia de diferenciação de produto de grande consumo, ou seja, os produtos são produzidos em massa mas ao mesmo tempo orientados ao cliente final. Nesta estratégia os produtos são fabricados em grandes quantidades até determinado nível e assim armazenados em *stock*WIP – work in progress, logo que se receba um encomenda o produto é terminado tendo em conta as especificações do cliente. Desta forma o *stock* tem um papel igualmente importante

e tem que ser bem gerido com base nas previsões do consumo.

Os modelos de gestão de *stocks* permitem ao utilizador responder a questões fundamentais - quando deve encomendar ao fornecedor, quanto encomendar e o quê. No entanto estes sistemas também têm as suas restrições, quer seja, limitação de capital, limitação de espaço de armazenamento, limitação do número de encomendas por unidade de tempo ou até limitação do tempo de preparação. Por norma, os sistemas de gestão de *stock* possuem como objetivo principal a redução do custo variável total.

Todos os modelos possuem alguns fatores em comum, quer sejam eles, custos, quantidades de encomenda, *stocks* máximos, níveis de serviço, *stocks* segurança, procura, etc... . Ao longo da explicação de cada modelo é feita também uma introdução a estas novas variáveis assim que elas são necessárias nos modelos.

## 2.2.1. Modelo Quantidade Económica de Encomenda

O modelo de Quantidade Económica de Encomenda, cuja representação gráfica pode ser observada na Figura 1, é um modelo de procura independente onde o objetivo é determinar a quantidade a encomendar ao fornecedor e com que frequência se tornarão fixas as encomendas para o futuro (modelo de quantidade fixa de encomenda). Este modelo possui alguns pressupostos para poder ser aplicado, tais como: procura constante, inexistência de rutura de stock, prazo de entrega nulo e taxa de reaprovisionamento infinita ou seja, instantânea.

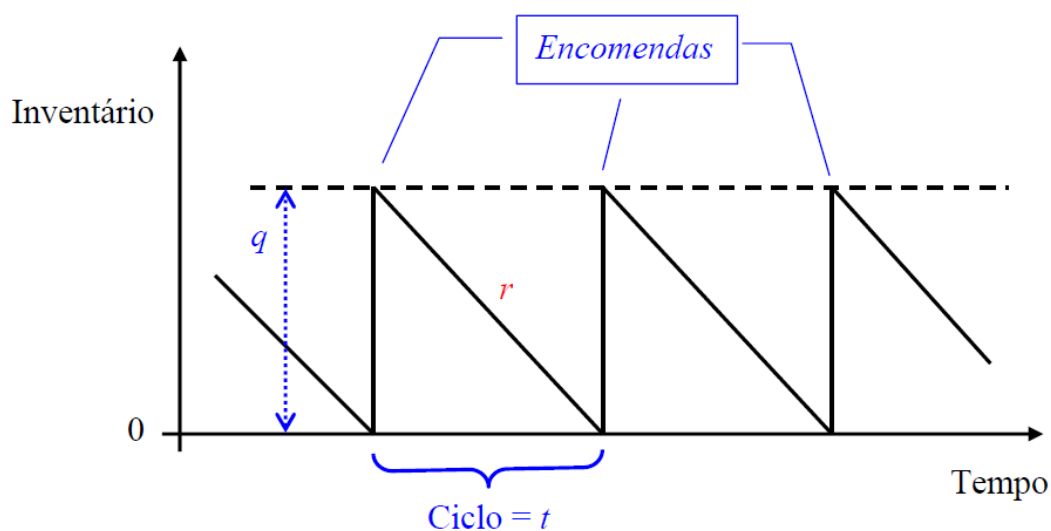


Figura 1. Modelo quantidade económica de encomenda. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).



Onde o custo total variável de operação é dado pela expressão:

$$C = c_1 \frac{q}{2} + c_3 \frac{r}{q} \quad (12)$$

Onde a primeira parcela representa o custo de existência de *stock* e a segunda parcela o custo de passagem de encomenda, para ser mais específico:

- $c_1$  – Representa o custo de posse de inventário ou custo de existência;
- $c_3$  – Representa o custo de encomenda;
- $q$  – Representa a quantidade fixa a encomendar;
- $r$  – Representa a procura do produto.

A quantidade fixa de encomenda é obtida pela forma:

$$q = \sqrt{\frac{2rc_3}{c_1}} \quad (13)$$

Como se pode verificar na Figura 2, a quantidade ótima de encomenda é quando o custo de existência de *stock* é igual ao custo de passagem de encomenda.

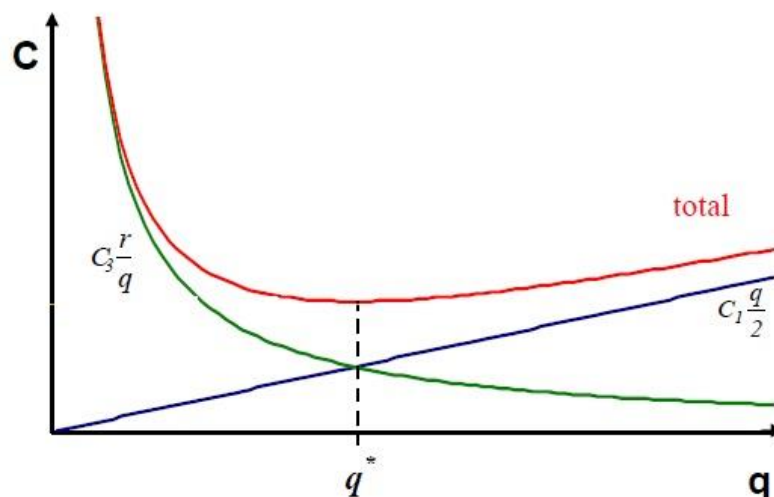


Figura 2. Custo de existência de *stock* vs. custo de passagem de encomenda. Adaptado de Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).

São descritos também os modelos estocásticos, modelos que possuem incerteza no prazo de entrega e na procura, também conhecidos por modelos probabilísticos. Estes modelos contêm medidas de nível de serviço, que se entende por probabilidade de ocorrência de quebra de inventário, ou seja, frequência de situações de quebra por número de reaprovisionamentos, ou frequência de situações de quebra por unidade de tempo, de uma forma resumida – número de artigos em quebra, duração da situação de quebra e proporção da procura satisfeita “*ex-stock*”. A possibilidade de rutura de *stock* vem do período de tempo desde que se faz a encomenda até ela chegar efetivamente, pois durante este período a procura mantém-se.

### **2.2.2. Nível de Re-Encomenda**

A política de Nível de Re-Encomenda, cuja representação gráfica encontra-se na Figura 3, consiste em lançar uma ordem de encomenda sempre que o nível de *stock* desce de um nível pré-definido, no entanto as quantidades de encomenda são sempre pré-definidas nas mesmas quantidades. Pressupõe-se então que quando um pedido de reaprovisionamento é lançado, o nível de inventário é exatamente conhecido, exigindo pois que o sistema seja monitorizado de forma contínua. O reaprovisionamento ocorre uma unidade de tempo após o pedido, sendo este “prazo de entrega” variável ou não, no entanto pressupõe-se também que existe incerteza no volume da procura durante este prazo de entrega. A respetiva variável, “Esperança da Procura Durante o Prazo de Entrega” é representada por  $E[DDLT]$ . Para garantir um determinado nível de serviço torna-se necessário manter um inventário adicional (*Stock Segurança*) que irá servir para proteger o sistema contra eventuais situações de quebra de procura durante o prazo de entrega e/ou prazos de entrega superiores ao normal.

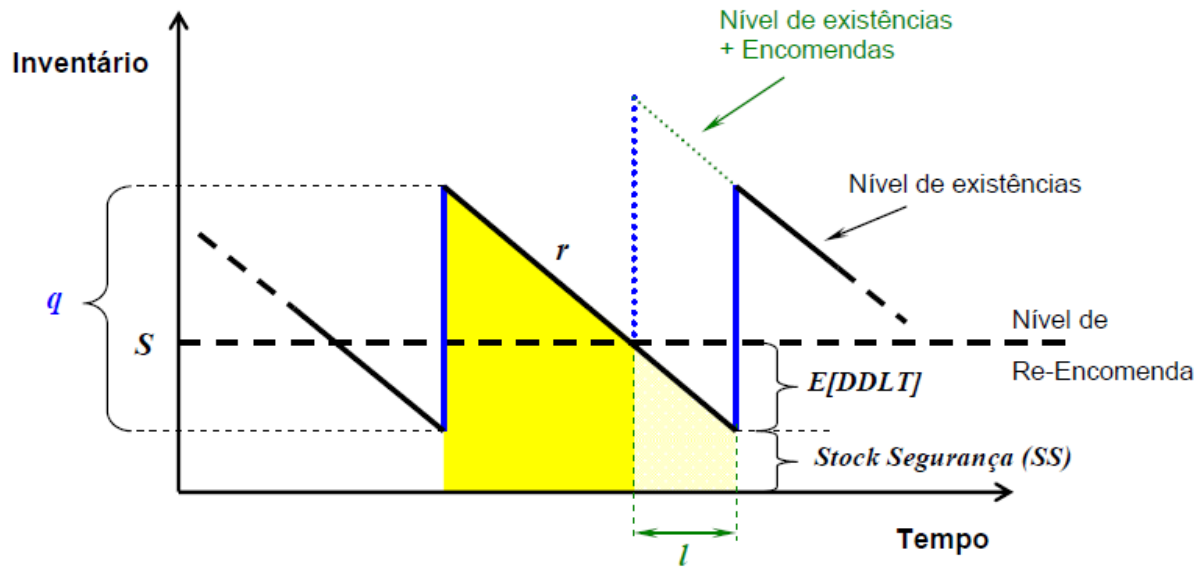


Figura 3. Modelo nível de re-encomenda. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).

Para este modelo e para a determinação do *stock* de segurança é crucial conhecer a natureza estatística da procura durante o prazo de entrega, pois pode ser de procura discreta ou procura contínua. Para modelos com procura discreta, é necessário calcular este valor através das respetivas probabilidades e valores de procura por unidade de tempo.

Esperança do volume em quebra durante prazo de entrega é dado por:

$$E[DDLT > S] = P[DDLT > S] + E[DDLT > S + 1] \quad (14)$$

Para a procura discreta aplicam-se as seguintes fórmulas:

$$\text{Stock Segurança:} \quad S - E[DDLT] \quad (15)$$

$$\text{Custo Total:} \quad c_1 \left( \frac{q}{2} + S - E[DDLT] \right) + c_2 \frac{r}{q} E[DDLT > S] + c_3 \frac{r}{q} \quad (16)$$

$$\text{Quantidade ótima de encomenda:} \quad q^* = \sqrt{\frac{2r(c_2 E[DDLT > S] + c_3)}{c_1}} \quad (17)$$

$$\text{Risco ótimo de quebra:} \quad P^* [DDLT] = \frac{c_1 q^*}{c_2 r} \quad (18)$$

Onde o  $c_2$  representa o custo associado à quebra/ruptura de *stock*.

Em relação à procura discreta é possível demonstrar que a média e a variância da procura durante o prazo de entrega são dadas pelas equações:

$$\begin{cases} \mu_{DDL T} = rl & (19) \\ \sigma_{DDL T}^2 = l \sigma_r^2 + r^2 \sigma_l^2 & (20) \end{cases}$$

Onde o  $r$  significa a procura e o  $l$  o prazo de entrega.

Assumindo agora que a procura durante o prazo de entrega segue uma distribuição Normal, pode-se determinar o nível de encomenda a partir da redução deste parâmetro à correspondente variável  $z$  da distribuição Normal Standard, Normal (0,1):

$$Z = \frac{S - \mu_{DDL T}}{\sigma_{DDL T}} \quad (21)$$

Obtidas a partir da consulta da Tabela Normal, para um dado valor de probabilidade de quebra de inventário. Onde  $Z$  é denominado “fator de segurança” contra a possibilidade de quebra.

$$\text{Nível de encomenda:} \quad S = Z \sigma_{DDL T} + \mu_{DDL T} \quad (22)$$

$$\text{Stock segurança:} \quad SS = Z \sigma_{DDL T} \quad (23)$$

### 2.2.3. Ciclo de Encomenda

A política Ciclo de Encomenda, cuja representação gráfica pode ser observada na Figura 4, é caracterizada por revisões e encomendas a intervalos de tempo regulares, estas de quantidade variável sendo que são iguais à diferença entre o stock “dentro de portas” e um nível de referência máximo ( $S$ ) pré-definido

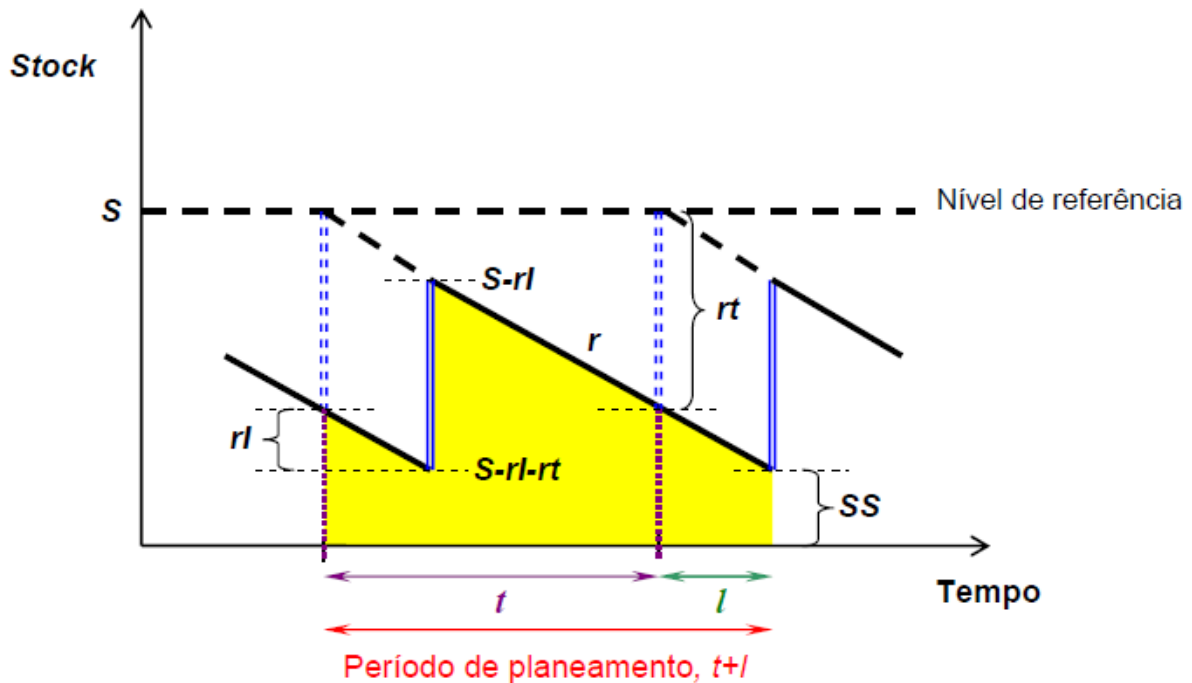


Figura 4. Modelo ciclo de encomenda. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).

Nesta política a incerteza acontece durante um período de tempo que compreende um período de revisão ( $t$ ) e um prazo de entrega ( $l$ ). Esta variável aleatória é denominada Procura durante o período de planeamento (DDPP “*Demand During Planning Period*”).

$$\text{Stock Segurança:} \quad SS = S - rl - rt \quad (24)$$

$$\text{Custo Total:} \quad c_1 \left( S - rl - \frac{rt}{2} \right) + c_2 \left( \frac{1}{t} \right) E[DDP > S] + c_3 \left( \frac{1}{t} \right) \quad (25)$$

Esta política em relação às outras é diferenciada pelos seus maiores níveis de *stock*.

## 2.2.4. Heurísticas

Existem ainda outras abordagens aos modelos de procura discreta (determinísticos) para além da quantidade económica de encomenda, temos ainda abordagens optimizadoras – através da resolução de problemas matemáticos adequadamente formulados (normalmente recorrendo à programação dinâmica) e recorrendo a heurísticas – não garantem soluções ótimas, mas permitem, em geral obter boas soluções, são relativamente fácil de resolver e compreender. Estas abordagens possuem alguns pressupostos, a procura é requerida no período  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ ), o período de planeamento vai até ao final do período  $T$  e todos os valores da procura são conhecidos, prazo de entrega é determinístico, não

há descontos de quantidades nem efeitos de inflação, não são permitidas quebras de inventário, as ordens de encomenda são respostas na sua totalidade, a procura requerida em cada período tem de estar disponível na totalidade no início desse período e o custo de posse é apenas aplicável ao inventário que transita de um período para o seguinte.

Explicando agora melhor o caso da heurística com um exemplo prático, onde a sua resolução pode ser visualizada na Figura 5, onde uma organização possui um custo de posse de inventário de 1€/unidade/mês, um custo de encomenda de 10€/encomenda e uma procura média de 10 unidades/mês. Com estes dados é possível calcular que a quantidade económica de encomenda é de 14 unidades e então o planeamento das necessidades líquidas será da seguinte forma:

<b><u>Mês</u>, <math>t</math></b>	<b><u>1</u></b>	<b><u>2</u></b>	<b><u>3</u></b>	<b><u>4</u></b>	<b><u>5</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>Procura</u>, <math>R_t</math></b>	4	12	8	12	16	8
$Q_t$	14	14	---	14	14	14
$I_t$	10	12	4	6	4	10

$$\text{Custo com reaprovisionamentos} = 5 \times 10\text{€} = 50 \text{€}$$

$$\text{Custo de posse} = (10+12+4+6+4+10) \times 1\text{€} = \underline{46 \text{€}}$$

$$\text{CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO} = 96 \text{€}$$

Figura 5. Heurística da QEE exata. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).

O objetivo é encomendar para conseguir corresponder à procura do próprio dia e as quantidades que fiquem em excesso serem armazenadas para a procura do dia seguinte. Neste exemplo houve um custo associada às 5 encomendas feitas de 50€ e um custo de posse de *stock* de 46€ resultando num custo total de 96€.

Existem vários tipos de planeamento de necessidades líquidas, este acima explicado é o de quantidade económica exata, existem ainda os de quantidade económica ajustada, *Heurística de Silver-Meal*, Lote-por-Lote, Custo Unitário Mínimo *Part-Period Balancing* e Custo Total Mínimo, cada um com as suas características específicas. Segundo Baciarello et al. (2013) estas heurísticas foram criadas especificamente para resolver o problema tradicional “Lot Sizing” e têm vindo a ser melhoradas desde

1913, nos dias de hoje estas heurísticas são encontradas nos sistemas de informação ligados à gestão de produção.

## 2.3. Análise ABC

A análise ABC ou também conhecido por Análise de Pareto, é um método de categorização de *stocks*. Atualmente é comum as organizações possuírem uma grande variedade de artigos no inventário e por isso torna-se necessário fazer uma gestão mais cuidada aos artigos com maior importância financeira. A análise ABC torna-se assim crítica pois consegue destacar os artigos pela sua importância financeira, esta análise categoriza os artigos em 3 classes, conforme Figura 6, uma primeira classe normalmente denominada A onde estão situados 10% dos artigos dos quais representam 75% do volume de utilização, uma classe intermédia B onde estão 15% dos artigos que representam 20% do volume de utilização e por último a classe C onde estão 75% dos artigos que representam 5% do volume de utilização.

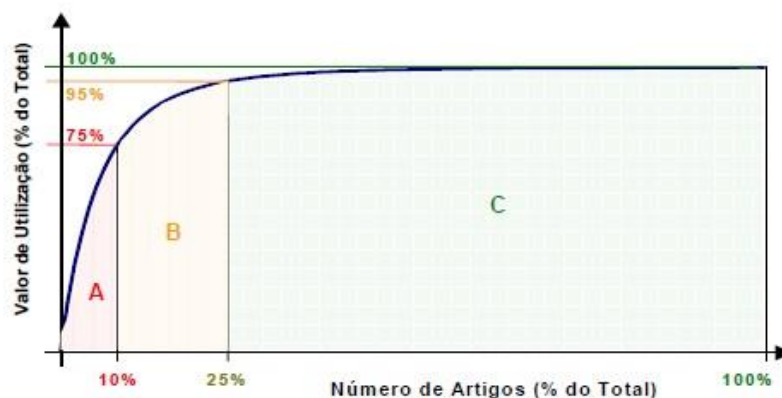


Figura 6. Análise ABC. Adaptado de (OIO-DPS, EE, Univ. Minho, 2011).

## 2.4. Simulação

A simulação como ferramenta de modelação de sistemas e a possibilidade infinita de realização de experiências (Shannon, 1998) tem-se tornado numa abordagem cada vez mais popular e crucial para a resolução dos mais variados problemas que atualmente retratam o mundo competitivo profissional, mais propriamente o mundo industrial. Apesar de já serem conhecidas as capacidades desta técnica na resolução de problemas, a sua utilização, quando comparada com o seu potencial, ainda se encontra espantosamente baixa (Mourtzis et al., 2014). Caracteriza-se por ser uma ferramenta poderosíssima, que permite às empresas reduzir custos, aumentar a qualidade, produtividade assim como testar novas

possibilidades para os seus modelos de negócio (Zhou et all. 2004).

Shannon (1998) define a simulação como o processo de modelação de sistemas reais e da condução de experiências, com o objetivo de entender o comportamento de um sistema, ou de avaliar estratégias para a sua operacionalização.

A simulação é também um meio privilegiado para a observação de sistemas em operação, uma vez que nos permite estudar situações, mesmo que não sejamos capazes de as experimentar diretamente no sistema real (Shannon, 1998), por este ainda não existir; por ser difícil, moroso ou dispendioso; por questões de segurança, ou até mesmo de legalidade (Preston, 2009).

A simulação como ferramenta de análise de sistemas, apresenta várias vantagens, contudo não está livre de desvantagens. Chase et all. (2005), apresentam uma lista de razões pelas quais se pode ponderar a utilização deste conceito. As vantagens e as desvantagens são as seguintes:

#### Vantagens:

- A modelação por norma leva a uma melhor compreensão do sistema.
- O tempo na simulação é bastante relativo, anos de operações podem ser simulados em alguns instantes de processamento.
- A simulação não entra em conflito com nenhuma atividade em execução no sistema real.
- A simulação é bastante mais simples que os modelos matemáticos, podendo ser utilizada quando estes não se adequem.
- A simulação pode ser usada como ferramenta de ensino para formar gestores, supervisores, engenheiros e colaboradores.
- Os modelos de simulação representam melhor a realidade do que os modelos matemáticos.
- A simulação pode ser usada para analisar condições transientes, algo que as análises matemáticas raramente permitem.
- Existem várias ferramentas de simulação preparadas para lidar com vários tipos de problemas.
- A simulação responde a questões do tipo “e se...?”.

#### Desvantagens

- Apesar do tempo e dedicação despendida na elaboração do modelo de simulação, nada garante que o modelo devolva respostas viáveis.
- Dependendo do sistema a simular, a construção do modelo pode demorar desde uma hora até cem anos de trabalho. A modelação de sistemas mais complexos pode ser altamente



dispendiosa e demorar bastante tempo.

- Uma vez que a simulação envolve a repetição de várias sequências cuja ocorrência é definida aleatoriamente, não existe forma de provar que a performance de um modelo seja totalmente sólida. Apesar de ser uma possibilidade remota, um modelo visualmente bem definido e estável pode rebentar.
- Por se basear na aleatoriedade, a simulação pode ser menos exata que os modelos matemáticos. A execução de modelos de simulação mais complexos pode exigir bastante tempo de processamento.

A simulação caracteriza-se principalmente por ser uma ferramenta essencial no apoio à tomada de decisão.

## 2.5. Análise de *Clusters*

A análise de *clusters* é um procedimento estatístico multivariado que serve para identificar grupos homogêneos, com base nas observações. O objetivo é poder classificar as observações em grupos, para que as observações do mesmo grupo sejam similares entre si o máximo possível e ao mesmo tempo os grupos sejam diferentes o suficiente entre si. Isto é possível com base na observação das semelhanças e das dissemelhanças: dado um conjunto de  $n$  observações, sobre as quais existe informação de  $p$  variáveis.

Neste procedimento de análise, a escolha das variáveis a incluir na análise de *clusters* é crítica, porque a inclusão ou a exclusão de uma determinada variável pode significar resultados inconclusivos e/ou incompletos. A análise de *clusters* aplica-se tanto a variáveis quantitativas, como a dados binários, mas não se aplica a dados qualitativos.

Esta proximidade dos objetos entre si é normalmente calculada através da distância Euclidiana que pode ser observada na Figura 7, embora existam outras distâncias (Distância de Manhattan, a Distância de Correlação de Pearson, a Distância de Correlação de Eisen, a Distância de Correlação de Spearman e a Distância de Correlação de Kendal).

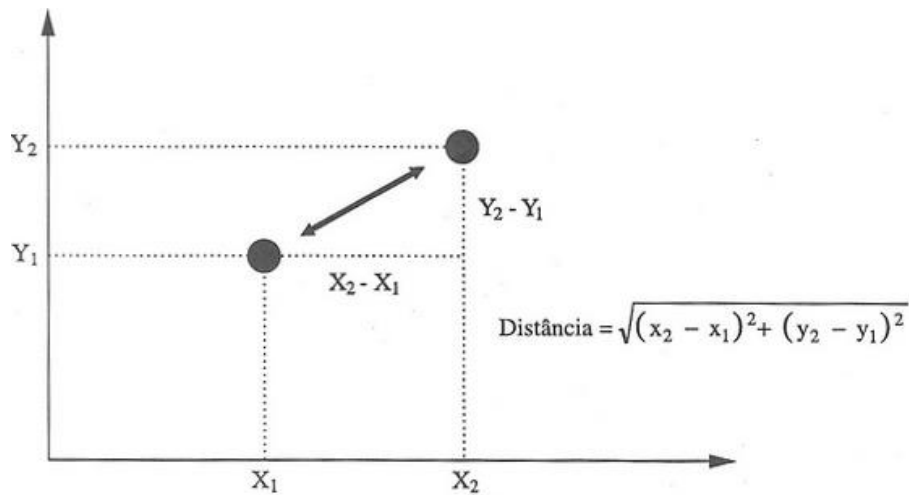


Figura 7. Distância entre A e B no espaço X Y. Adaptado de (Pereira, 2004).

Segundo Kassambara (2017) existem várias formas de *clusterização* - hierárquicas e não hierárquicas - o algoritmo que é utilizado neste documento, K-Means, é um método não hierárquico. O algoritmo de *clusterização* K-Means estabelece a presença de *clusters* com base na identificação dos seus centróides. O ponto centróide é o ponto médio de todos os pontos dentro do mesmo cluster. K-Means classifica os objetos dentro de múltiplos grupos, de forma que a variação intra-*cluster* seja minimizada pela soma dos quadrados das distâncias Euclidianas entre os objetos e seus centróides. De forma iterativa o algoritmo calcula a distância euclidiana para todos os pares de pontos na base de dados, para que a todos os pontos lhes sejam atribuídos um *cluster*.

$$W(C_k) = \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_k)^2 \quad (26)$$

Desta forma  $\mu_k$  é o ponto que pertence ao *cluster*  $C_k$  e  $\mu_k$  representa a média do valor atribuído ao *cluster*  $C_k$ . Cada observação ( $x_i$ ) é designada a um *cluster* de forma que a soma dos quadrados da distância da observação em relação ao seu *cluster* central ( $\mu_k$ ) é mínima. Ainda, para definir a variação intra-*cluster* é utilizada a seguinte fórmula, que deve ser o mais baixa possível (Kassambara 2017).

$$var\_intracluster = \sum_{k=1}^k W(C_k) = \sum_{k=1}^k \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_k)^2 \quad (27)$$

Uma limitação deste algoritmo é que apenas é utilizado com dados escalares (S. Sinharay, 2010).

## 2.6. Árvores de Decisão

A árvore de decisão é uma ferramenta de ajuda na tomada de decisão, um mapa com os possíveis resultados e probabilidade de cada ação realizada, chama-se árvore de decisão pois o mapa tem o aspeto de uma árvore. Permite analisar o benefício, custo e a probabilidade de uma determinada ação. Uma árvore de decisão começa com um único nó, que se divide em vários ramos que significam possíveis resultados. Cada um desses resultados leva a nós adicionais, que se ramificam em outras possibilidades. As árvores de decisão são normalmente utilizadas em casos de pesquisa operacional, mais especificamente em análises de tomadas de decisão, ajudam a identificar uma estratégia para atingir um objetivo, contudo também são populares por serem uma ferramenta de apoio ao *machine learning*. (Larouse and Larouse, 2014).

A utilização de árvores de decisão tem as suas vantagens: fácil de compreensão, bastante eficazes mesmo com dados imprecisos, não requer tratamento dos dados, podem ser sempre adicionadas novas situações à árvore. Uma das únicas desvantagens das árvores de decisão é que em alguns casos podem ficar demasiadas complexas e difíceis de ler.

## 3. Desenvolvimento

Neste capítulo são desenvolvidos vários estudos e análises com base nos dados fornecidos pela Castro & Filhos. Inicia-se com uma descrição da linha de produção, as suas máquinas e procedimentos meticulosos que transformam a madeira num pavimento *Castrowood*, é explicado também o fluxo de informação das encomendas dentro da empresa. É realizado um tratamento e análise aos dados relativos às encomendas dos últimos 3 anos (2018,2019 e 2020). De seguida recorre-se à simulação para justificar o porquê da criação de um stock de WIP e a alteração das regras de despacho trazem eficiência à linha de produção, assim como delinear um trajeto para uma produção mais lucrativa. Por fim é realizada uma previsão da procura de um produto específico que vai servir de apoio à política de gestão do stock da linha de produção.

### 3.1. Estado atual da linha de produção

Antes de ser explicada a linha de produção e também para ser dado um pouco de contexto é explicado o trajeto de uma encomenda dentro da empresa Castro & Filho, que pode ser observado na Figura 8. No primeiro momento após ser recebida a encomenda por meios digitais, o departamento comercial executa

o lançamento da encomenda no sistema informático da empresa. De seguida o departamento de planeamento é responsável por verificar se existe em stock o produto acabado ou o produto semi-acabado capaz de satisfazer por completo a encomenda. Se caso não acontecer o próximo passo é verificar se existe matéria-prima para produzir esse produto acabado ou semi-acabado senão adquirir matéria-prima para que possa ser produzido o produto em questão. Por fim o departamento de expedição é responsável pelo controlo de qualidade do produto assim como o envio da encomenda para o cliente



Figura 8. Processos desde a encomenda ao produto acabado. (SimpleAxis, 2020).

Em relação à linha de produção pertinente para o estudo em questão, a fase inicial começa pela aquisição de matéria-prima que pode ser dividida em 2 grupos, aquisição de réguas de madeira e a aquisição de contraplacado. A fase seguinte passa por transformar as réguas de madeira no sub-produto S4S, logo de seguida a máquina *Wintersteiger* transforma o S4S em lamela, mediante espessura e qualidade pretendida. Com três máquinas em funcionamento paralelo, o processo de produção baseia-se em ter duas máquinas a produzir a mesma encomenda e outra a produzir outra encomenda, como se pode observar na Figura 9. Nesta secção faz-se escolhas de qualidade e defeito e tem-se por princípio produzir por espessura de lamela sendo aconselhado também ter em conta a largura. A *Wintersteiger* produz lamela com 4 espessuras, 2,5 milímetros, 3,5 milímetros, 4,5 milímetros e 6,5 milímetros.



Figura 9. Local de trabalho da *Wintersteiger*. (SimpleAxis, 2020)

O próximo processo bastante simples na teoria mas bastante rigorosa na prática, consiste em executar uma preparação da encomenda, ou seja, consiste em juntar as lamelas com os contraplacados específicos consoante medidas, de maneira a que fiquem na situação ideal para a próxima fase de transformação, este posto de trabalho pode ser visualizado na Figura 10.



Figura 10. Preparação da encomenda. (SimpleAxis, 2020)

O próximo processo com recurso à máquina *Holzman*, que pode ser observada na Figura 11, traça as placas (lamela e contraplacado) pelo critério espessura do contraplacado. O planeamento deve ter sempre em conta o que vai ser executado na fase seguinte, de cada conjunto de placas existe uma sobrança (placa que não é utilizada de imediato no processo seguinte) que é guardada para *stock*.



Figura 11. Secção destinada à Holzman. (SimpleAxis, 2020)

A fase seguinte, a mais importante e sensível de toda a linha de produção por várias razões explicadas a seguir, consiste na colagem do contraplacado com a lamela. Esta colagem é realizada na máquina Acosta onde o critério de seleção é a largura, na linha de produção existem duas máquinas Acosta contudo ainda não existe regra para a distribuição das encomendas pelas duas máquinas.

Esta máquina possui tempos de mudança de *setup* bastantes significativos e sensíveis às dimensões do produto, isto origina a que as encomendas sejam agregadas durante 10 dias para que as mudanças de *setup* sejam otimizadas. Numa forma mais simples as encomendas de uma largura específica ficam à espera de mais encomendas da mesma largura durante 10 dias, para que quando sejam efetuada a mudança de *setup* para essas mesmas dimensões, esse tempo “perdido” para o *setup* seja melhor rentabilizado.

Um outro ponto de vista que torna esta máquina crucial é que daqui para a frente os processos da linha de produção são contínuos, ou seja, não permitem paragens nem permitem acelerar o processo de produção. Se a encomenda entrar já atrasada na máquina *Acosta* já é assegurado que vai sair atrasada no fim da linha de produção.



Figura 12. Colagem na Acosta. (SimpleAxis, 2020)

Após a colagem conforme Figura 12, as encomendas necessitam de um período de 24 horas de repouso para que a cola seque e o produto fique pronto para a próxima secção.

As fases seguintes incluem aplicação de massa e desbaste do material, a aplicação de massa é efetuada na máquina *Parfiller* e o desbaste na *Lixadora*.

A partir destes processos começa a fase de acabamento do produto, onde se inicia com a Escovadora, que permite aplicar um escovado forte ou fraco. De seguida vai para o macheiamento na Homag, com três tipos de macheiamento, depois o processo passa para a Chevron que topeja a madeira no ângulo de 45<sup>a</sup>, como pode ser observado na Figura 13.



Figura 13. Máquina Chevron. (SimpleAxis, 2020)

A fase final consiste na entrada na linha de cores e óleo e na linha de verniz. Na linha de cores e óleo ocorre o alisamento da madeira para tirar as pequenas marcas, dá-se a cor final no poro e faz-se o acabamento em óleo, conforme Figura 14. Na linha de verniz é aplicado o acabamento final na face do produto com vários valores de intensidade, entre eles, 5%, 10%, 20%, 40% e 80%



Figura 14. Linha de verniz. (SimpleAxis, 2020)

No final do processo produtivo o produto acabado é embalado para expedição ou levantado pelo cliente na fábrica. Na Figura 15 encontra-se um diagrama bastante simples que representa todos os processos de produção para que seja atingido o objetivo final, que é a expedição para o cliente.

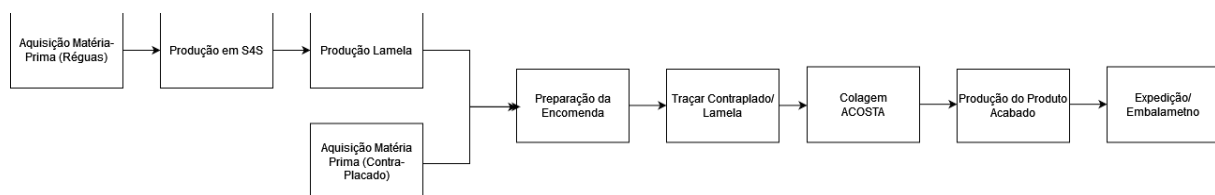


Figura 15. Diagrama da linha de produção.

## 3.2. Tratamento das encomendas dos últimos 3 anos

O estudo inicial deste projeto consiste numa análise detalhada às encomendas da Castro & Filhos dos últimos 3 anos (2018, 2019, 2020), não só para ficar com um conhecimento dos seus produtos e componentes mas também para encontrar possíveis respostas a problemas que possam surgir no futuro, para isso foi necessário ter acesso a uma base de dados com os dados relativos às encomendas.

Esta base de dados inicial é retratada por 23 variáveis e 9156 observações, contudo logo à partida foi



efetuada uma filtragem de várias variáveis e observações quer por dados em falta ou dados incorretos quer por retratarem dados já repetidos ou códigos internos que não puderam ser decifrados. Portanto após esta primeira filtragem a base de dados foi comprimida a 7904 observações e 13 variáveis. A Tabela 1 apresenta uma descrição assim como uma enumeração das variáveis de interesse.

Tabela 1. Variáveis de interesse.

<b>Nome da variável</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>
Data	Data de entrada da encomenda no sistema	Data
País	País de onde a encomenda é realizada	Catagórica
Entidade	Entidade (Cliente) que efetuou a encomenda	Catagórica
Quantidade	Quantidade encomendada em metros quadrados	Numérica
Largura	Largura do produto em milímetros	Catagórica
Comprimento	Comprimento do produto em milímetros	Catagórica
Espessura	Espessura do produto em milímetros	Catagórica
Espessura Madeira Nobre	Espessura relativa à madeira nobre em milímetros	Catagórica
Madeira	Tipo de madeira	Catagórica
Descrição Qualidade	Descrição da qualidade da madeira	Catagórica
Valor Líquido	Valor líquido relativo ao produto encomendado	Numérica
Artigo	Código interno do artigo encomendado	Catagórica
Contra Placado	Categoria do contra placado do produto	Catagórica

Aparentemente algumas variáveis numa primeira perspetiva podem ser consideradas variáveis numéricas, contudo como o produto não pode sofrer alterações aleatórias essas mesmas variáveis têm de ser consideradas do tipo catagórica, por exemplo as variáveis relacionadas com as dimensões dos produtos não podem sofrer alterações aleatórias, estas alterações têm que colocar o produto sempre dentro de uma categoria existente.

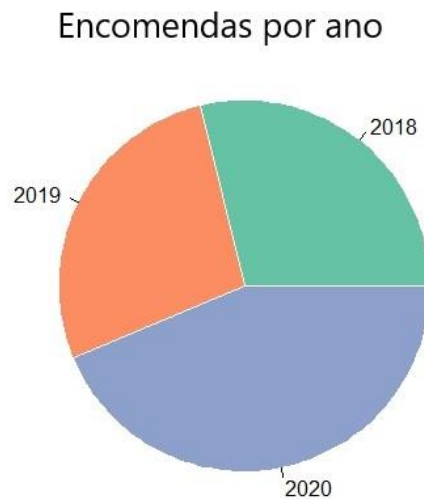


Figura 16. Proporção de volume de encomendas por ano.

Como já foi relatado anteriormente as encomendas encontram-se entre os anos de 2018 e 2020 onde se pode observar na Figura 16, o ano de 2020 representa a maior fatia dos metros quadrados encomendados com uma percentagem de 43,66%, enquanto os anos 2018 e 2019 apresentam fatias um pouco mais pequenas, 28,78% e 27,56% respetivamente. Nesta análise entenda-se metros encomendados por quantidades o que neste projeto é o mais relevante, ou seja, pouco importa receber muitas encomendas de poucos metros quadrado, quando existem encomendas com menos frequência mas com muitos quadrados encomendados, portanto dá-se importância às quantidades encomendadas e não ao número de encomendas efetuadas.

Em relação aos países presentes nesta base de dados é possível indicar que estão representados 50 países, onde podemos ver na Figura 17, os dez países mais representados, ou seja, que mais encomendaram. O gráfico apresenta no eixo do y a frequência relativa das quantidades encomendadas de cada país. O país que mais encomenda é Portugal com uma percentagem de quase 18%, onde logo de seguida se apresentam países como Holanda e Canadá com percentagens muito idênticas, um pouco acima dos 10%. Com base nesta informação é possível comprovar que a Castro & Filhos é uma organização que exporta bastante os seus produtos, apesar de o seu país mais forte ser Portugal apresenta um valor de exportação de 82% das suas encomendas. Sendo curioso que Portugal apesar de ser o país que mais encomenda, não tem um grande cliente que a represente, por isso as encomendas portuguesas são distribuídas por vários clientes de pequena dimensão e não um só forte cliente como acontece com outros países, como vai ser demonstrado mais posteriormente.

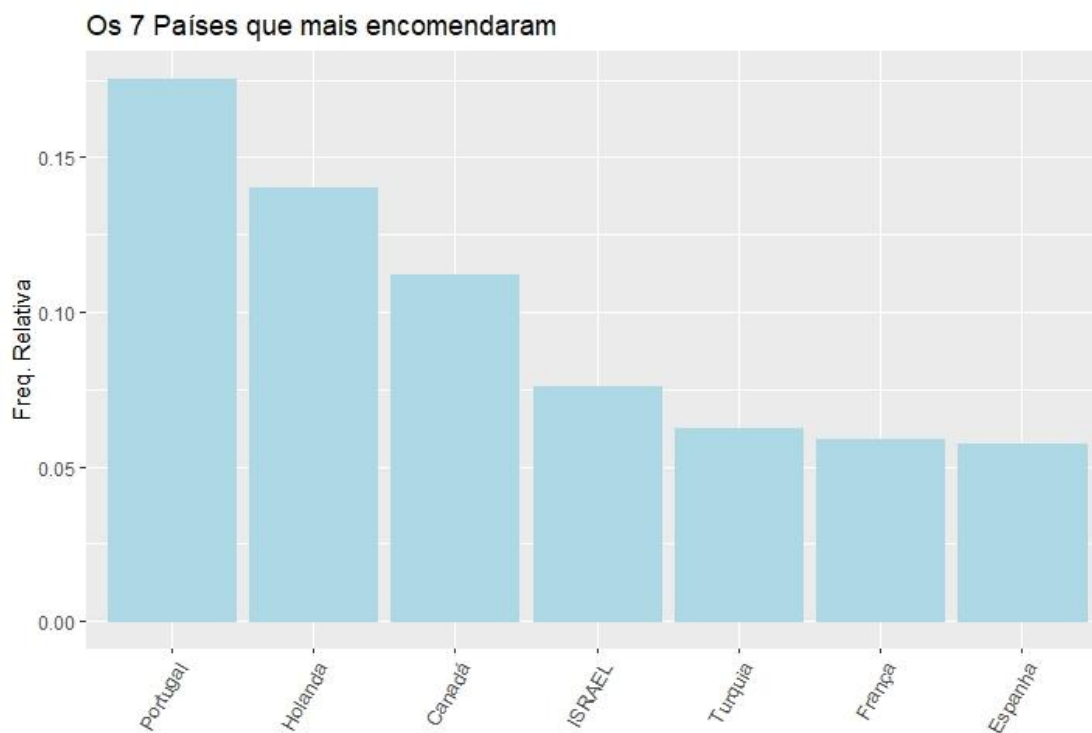


Figura 17. Países que mais encomendam.

No que toca aos clientes a base de dados contém 420 clientes e na Tabela 2 podem ser observados os 5 clientes mais representados na base de dados. Onde nesta tabela, apesar de Portugal ser o país que mais encomenda, não possui nenhum cliente português nos clientes que mais encomendam.

Tabela 2. 5 clientes que mais encomendam.

<b>Nome da Entidade</b>	<b>Percentagem da totalidade das encomendas</b>
<i>Bekey Agencies</i>	12,6%
<i>Parati Woods Inc</i>	10,8%
<i>Mody Ceramic</i>	7,49%
<i>Renk Fleks Tlic.A.S.</i>	6,25%
<i>Pantim Wood Products</i>	3,11%

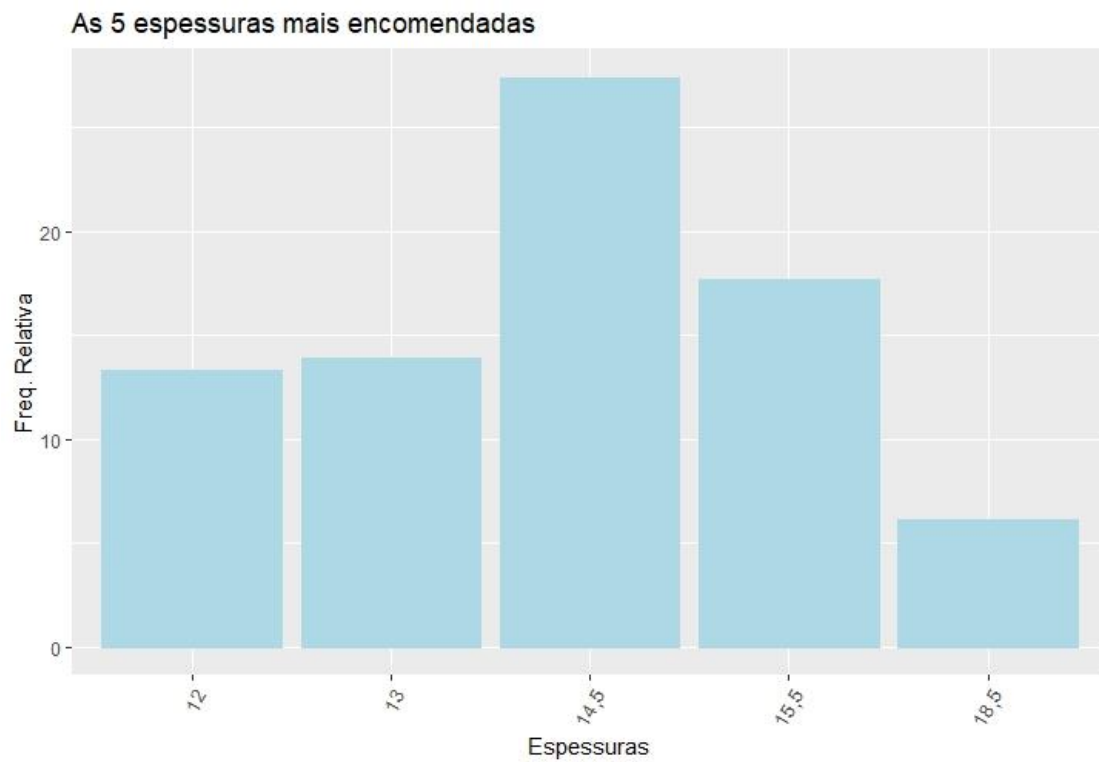


Figura 18. Espessuras mais encomendadas.

Na

Figura 18 observa-se as 5 espessuras mais encomendadas, entre elas destacam-se apenas as espessuras “14,5”, “15,5”, “13” e “12”, apesar de a base de dados conter 14 espessuras diferentes. A espessura “14,5” apresenta uma percentagem de 27,4%, a espessura “15,5” uma percentagem de 17,17%, a espessura “13” com uma percentagem de 13,9% e a espessura “12” com uma percentagem de 13,3%, onde as restantes apresentam todas com uma percentagem abaixo dos 10%.

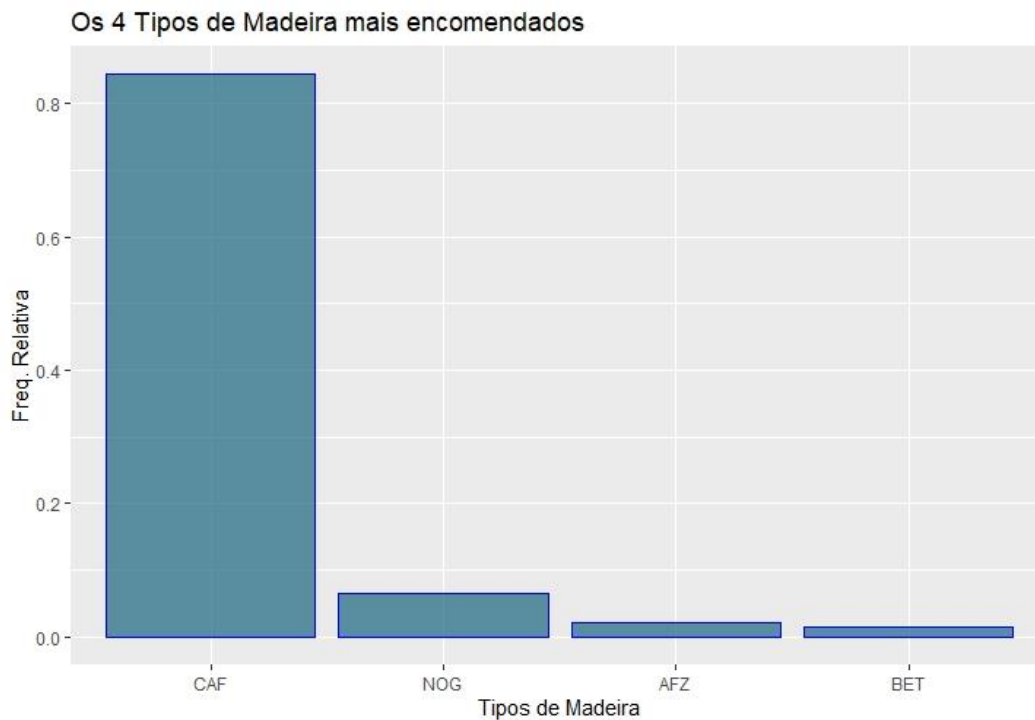


Figura 19. Tipos de madeira mais encomendados.

Em relação às madeiras, a base de dados apresenta 19 tipos de madeira diferente onde logo à partida é possível compreender que o tipo de madeira Carvalho Francês – CAF, como se pode verificar na Figura 19, domina por completo as encomendas com uma percentagem superior a 80%.

Ainda é possível verificar a variável qualidade da madeira, ou seja, o produto pertence a um tipo de madeira e ainda a uma qualidade de madeira. Esta qualidade de madeira é determinada pelo número de nós que a mesma apresenta onde, já como curiosidade, os nós são consequência da existência de ramos.

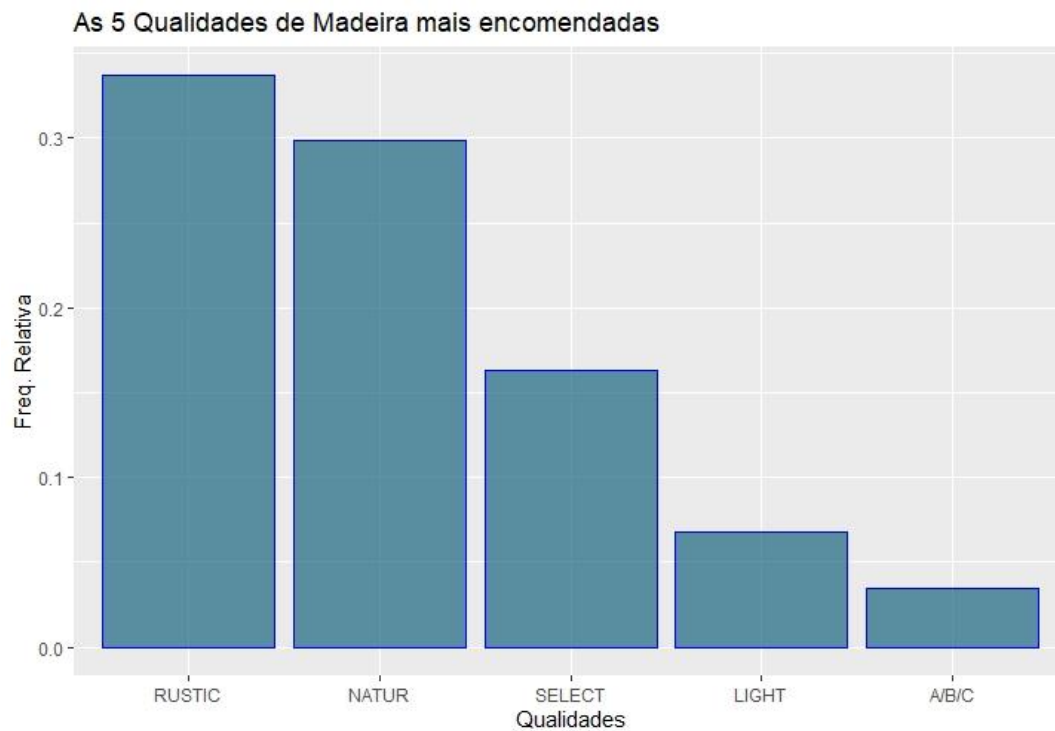


Figura 20. Qualidades da madeira mais representadas.

Existem 17 qualidades de madeira diferentes, contudo apenas 3 se destacam das outras pelas suas quantidades encomendadas, como se pode verificar na Figura 20. As qualidades “Rustic”, “Natur” e “Select” apresentam uma percentagem superior a 15% (33,7%, 29,9% e 16,4%, respetivamente), facto que não acontece com mais nenhuma qualidade.

Outra variável categórica é o Contra Placado, possui 9 categorias diferentes onde mais uma vez apenas alguma se destacam pelas suas quantidades encomendadas, como se pode observar na Figura 21. Neste caso o contra placado “12” é responsável por mais de 53% das encomendas e o contra placado “9” é responsável por mais de 25% das encomendas.

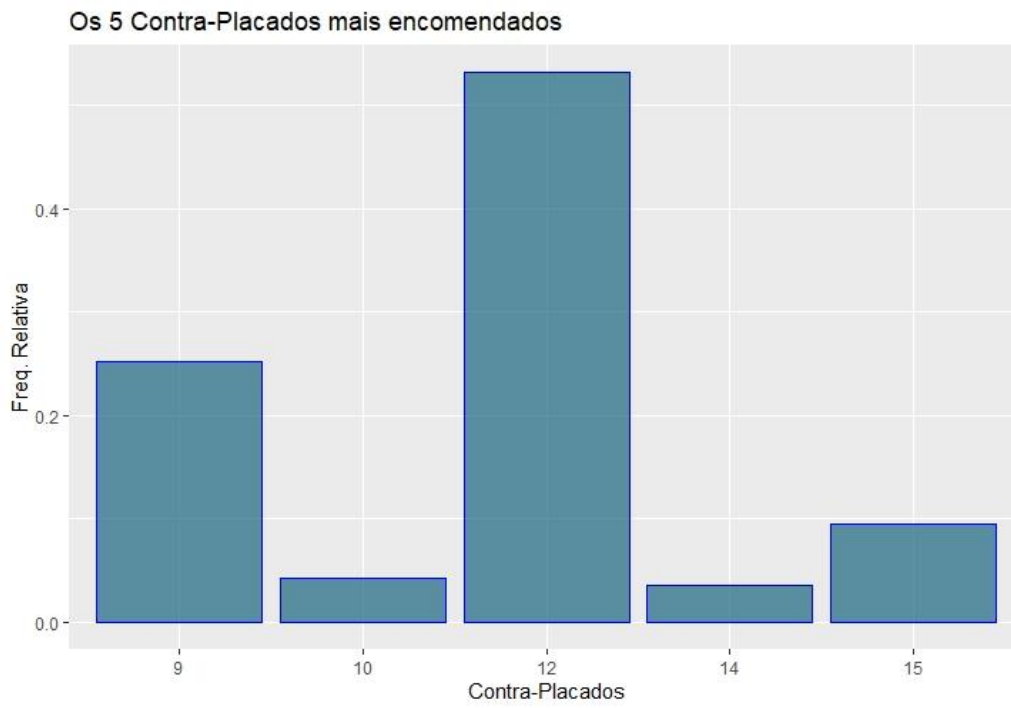


Figura 21. Contra placado mais encomendado.

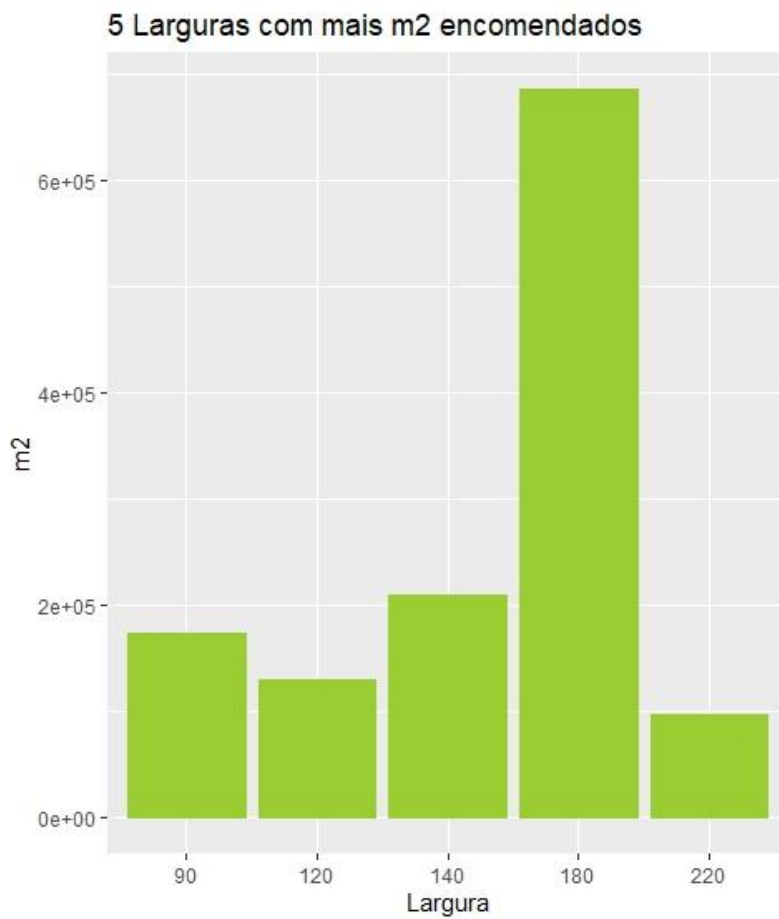


Figura 22. Larguras mais encomendadas.

Conforme a Figura 22 é possível concluir que as larguras “180”, “140” e “90” são as mais representadas nas encomendas apesar de haver 27 larguras distintas, onde a largura “180” é encomendada em quantidades acima dos 6 milhões de metros quadrados durante os 3 anos das encomendas incluídas na base de dados.

Em relação à variável comprimento pode-se afirmar que possui algumas características pouco comuns, no sentido em que o comprimento do produto encomendado deve estar compreendido num intervalo de valores, contudo a proporção de quantidade de cada medida dentro do intervalo não é indicada na base de dados. Veja-se por exemplo num comprimento “0600-2400”, todos os metros quadrados encomendados devem ter comprimento entre 600 a 2400 milímetros, onde normalmente está pré estabelecido a proporção de metros quadrados e que milímetros têm.

Na Figura 23 são apresentados os intervalos de comprimento mais encomendados, consegue-se entender que o intervalo mais encomendado é o “0500-2400” onde logo de seguida aparece o intervalo “2400-2400”. Contudo a base de dados contém 113 intervalos de comprimento.

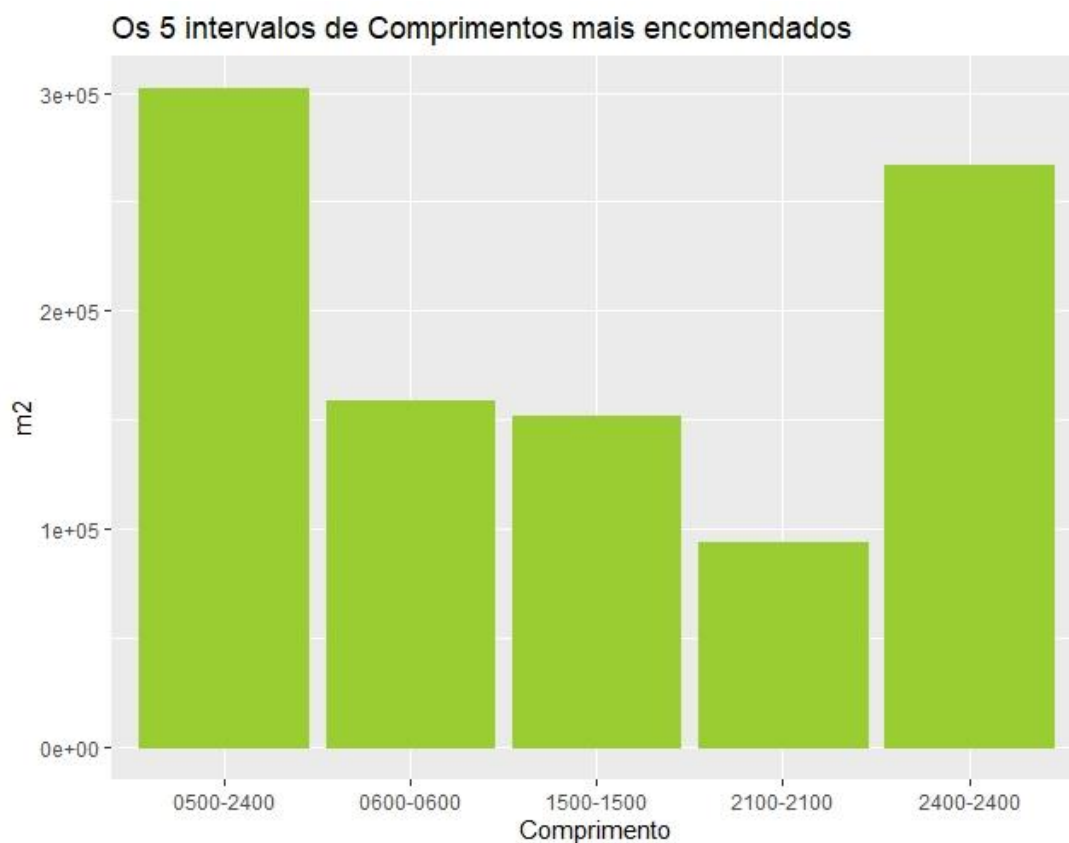


Figura 23. Os 5 intervalos de comprimentos mais encomendados.



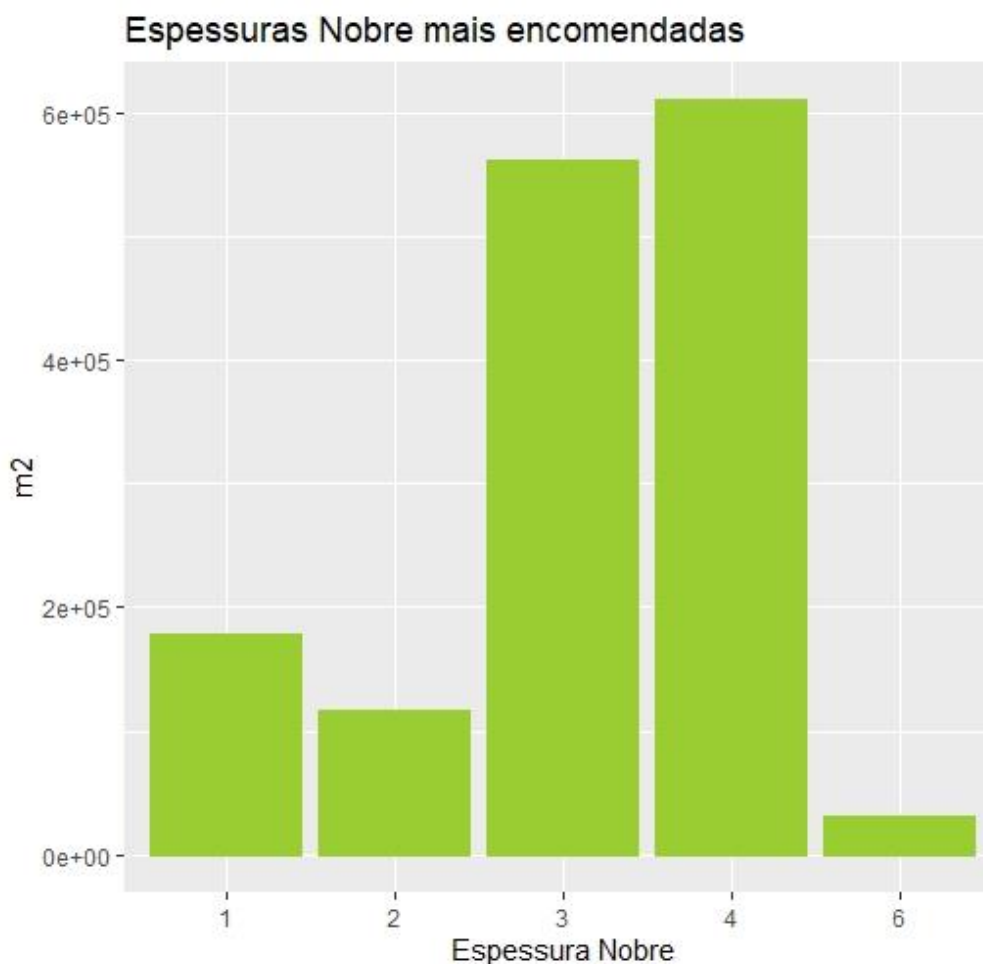


Figura 24. Espessuras nobre mais encomendadas.

De todas as espessuras nobres da base de dados representadas na Figura 24, as espessuras que se destacam são as espessuras “3” e “4” com mais de 500000 metros quadrados encomendados.

Analisando agora as variáveis numéricas e avaliando o valor líquido associado a cada produto por metro quadrado pode-se ver as estatísticas na Tabela 3. Para acrescentar algo mais a estas estatísticas descritivas foi ainda adicionada a Figura 25, onde é possível concluir que existem muitos potenciais *outliers*, assim como afirmar que o valor médio líquido é de 29,28€.

Tabela 3. Estatísticas descritivas do valor líquido.

<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>
1,0€	24,5€	28€	29,28€	34,73€	78,50€



Figura 25. Caixa de bigodes do valor líquido por metro quadrado.

Outra variável numérica é a quantidade, na Figura 26 e na Tabela 4 é possível observar as mesmas estatísticas descritivas vistas acima mas neste caso referentes às quantidades. Neste caso em concreto pode-se entender que dado o contexto deste projeto, os outliers são associados a encomendas especiais, ou seja, uma encomenda de quantidade muito pequena pode ser denominada como uma amostra e uma encomenda muito grande uma encomenda “excecional” ou de “projeto/obra”.

Tabela 4. Estatísticas descritivas da quantidade.

<b>Mínimo</b>	<b>1º Quartil</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>3º Quartil</b>	<b>Máximo</b>
1,0	40	100	189,6	220	4000

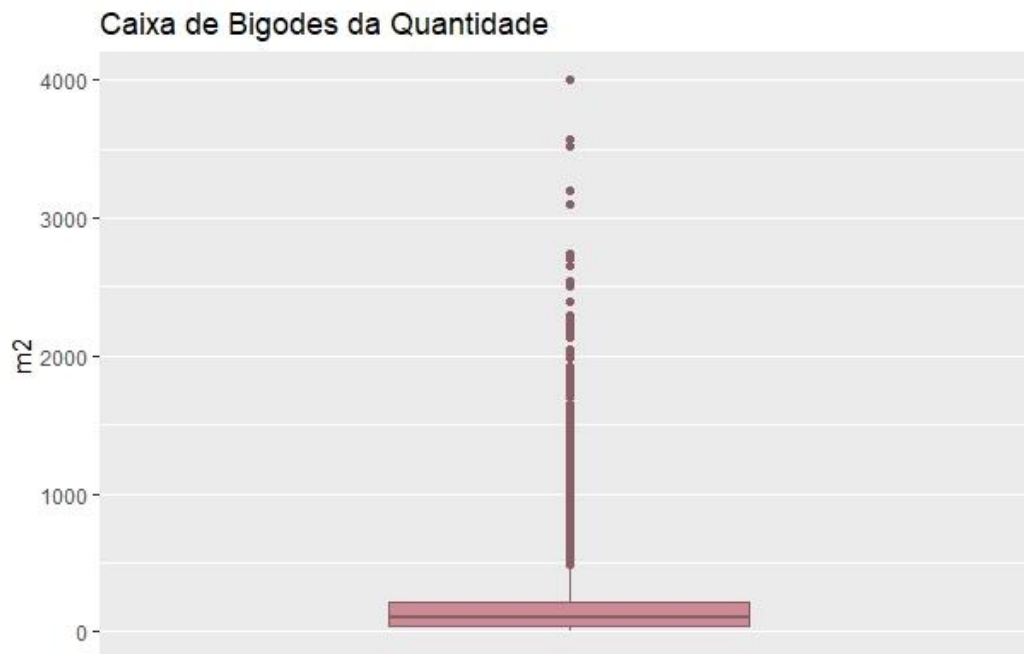


Figura 26. Caixa de bigodes da quantidade.

Na Figura 27 estão representadas as madeiras em média mais dispendiosas para o cliente, é claro que a madeira denominada “TEK” destaca-se por ser a mais cara com um valor muito próximo dos 50€ por metro quadrado, por outro lado quase todas as outras madeiras deste gráfico andam à volta dos 35€ por metro quadrado. É curioso que a madeira mais vendida por esta organização apenas aparece em 10º lugar com um valor médio líquido inferior a 30€ por metro quadrado.

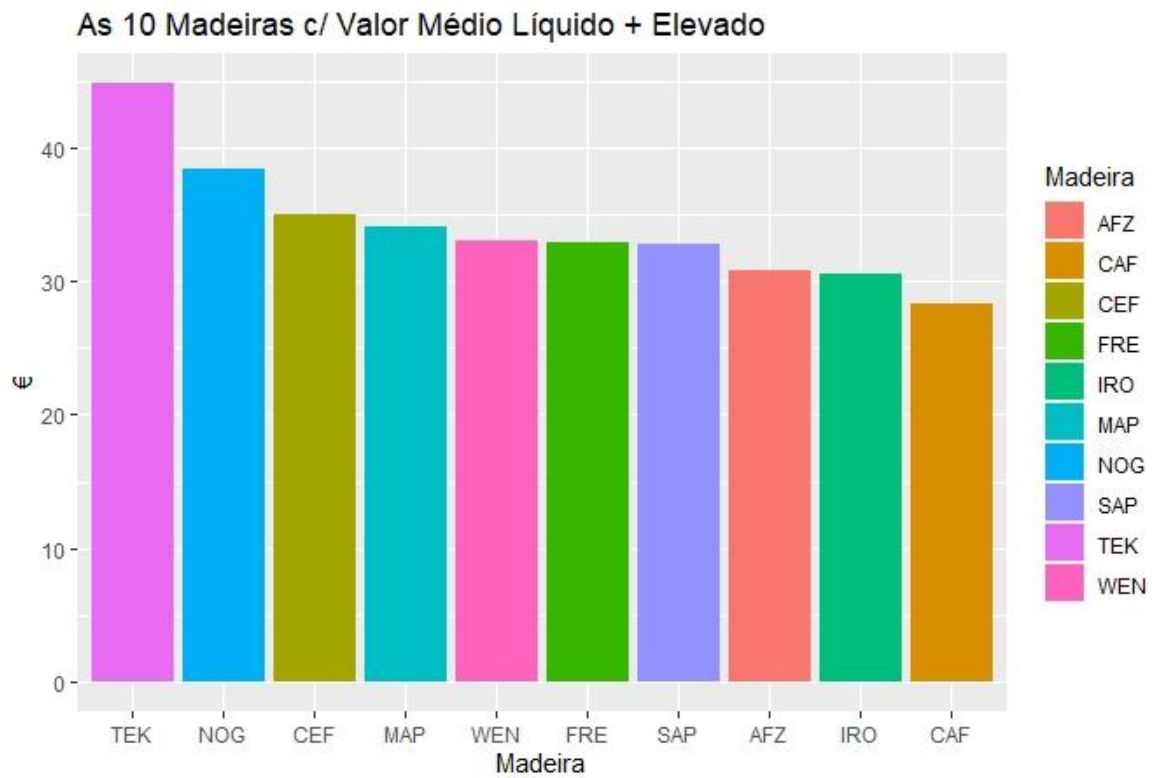


Figura 27. As 10 madeiras com custo mais elevado.



Figura 28. Comportamento das encomendas ao longo dos meses

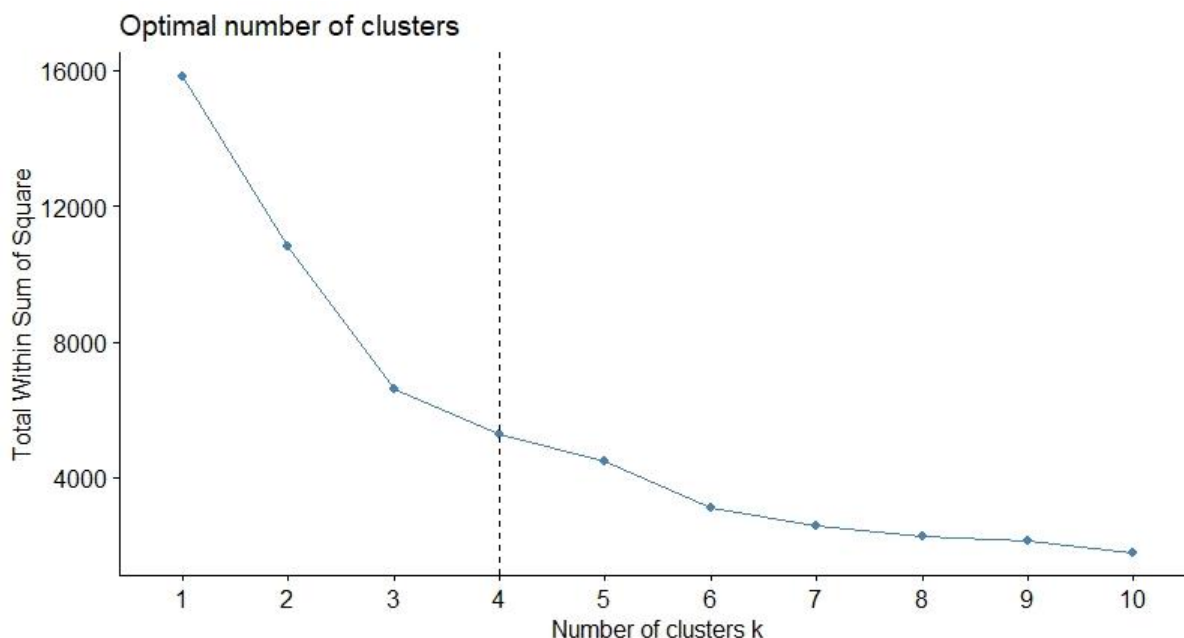
Para terminar é realizada uma análise ao comportamento das encomendas ao longo dos meses deste 3 anos conforme Figura 28. A primeira coisa que é possível destacar é o mês de Agosto possuir um valor muito mais baixo em relação aos outros meses, isto é possivelmente explicado pelo facto da organização fechar para férias alguns dias no mês de Agosto. Os meses que se destacam pela positiva são Janeiro Abril Maio e Julho sempre com mais de 145000 metros quadrados encomendados, o último trimestre do ano não é tão forte e outro aspeto a salientar é a grande decadência de Janeiro para Fevereiro.

### 3.3. Análise de *Clusters*

Devido ao facto de a base de dados das encomendas ser dominada pela característica “CAF” (Carvalho Francês) da variável Madeira (aproximadamente 85%), a partir deste capítulo todas as análises serão realizadas sobre a base de dados filtrada por esta mesma característica pois quaisquer estudos ou conclusões realizadas sobre os outros sensivelmente 15% teriam um impacto muito reduzido até mesmo nulo ou de pouca importância para a organização.

Numa tentativa de entender se os dados estariam dispostos em grupos, ou seja, identificar grupos homogêneos, foi realizada uma análise de *clusters* aos dados. A análise de *clusters* pretende organizar um conjunto de observações em grupos homogêneos, para toda esta análise foi utilizado o software *R Studio* devido às suas capacidades computacionais.

O primeiro passo para a *clusterização* pelo método K-Means é remover da base de dados as variáveis categóricas, ou seja, limpar a base de dados de modo a ficar só com as variáveis Quantidade e Valor Líquido. Em seguida é necessário normalizar os dados neste caso com a função *scale*, estes dois últimos passos (remover variáveis categóricas e normalizar os dados) são pressupostos da análise de *clusters*. De seguida de modo a encontrar o número ótimo de *clusters*, com a função *fviz\_nbclust()* é elaborada a Figura 29, onde é utilizado conceito da soma dos quadrados intra-*cluster*, que permite concluir que o número ótimo de *clusters* serão 4 pois o aumento de mais *clusters* não traz ganhos significativos.

Figura 29. Número ótimo de *clusters*.

Após encontrar o número ótimo de *clusters* e com a função *kmeans*, é possível obter algumas características acerca dos *clusters*. É possível concluir o tamanho dos *clusters*, neste caso em concreto - o *cluster 1* possui 3978 encomendas, o *cluster 2* possui 878 encomendas, o *cluster 3* possui 2948 encomendas e o último *cluster* possui 100 encomendas. Ainda é possível graças ao comando *aggregate*, obter os valores médios quer da quantidade quer do valor líquido para cada *cluster*.

Tabela 5. Valores médios das características de cada *cluster*.

<b>Cluster</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Líquido</b>
<b>1</b>	120,70	23,38
<b>2</b>	622,55	25,90
<b>3</b>	96,46	37,84
<b>4</b>	1876,72	24,46

De acordo com a Tabela 5 é possível afirmar que o *cluster 4* tem as encomendas com o valor médio mais alto para as quantidades e o *cluster 3* contém as encomendas com o valor médio mais alto para o valor líquido.

É importante ainda verificar a similaridade dos *clusters* das encomendas calculados neste exemplo de forma visual. Para isto recorre-se à função *fviz\_cluster()* do pacote *factoextra*. Esta função utiliza os dados originais e os *clusters* encontrados para representar graficamente os resultados, utilizando a técnica de

componentes principais, como segue na Figura 30. Desta forma deveria ser nitida a proximidade entre as encomendas e os seus *clusters*, contudo devido à complexidade da base de dados (7904 observações) fica bastante difícil de visualizar esta proximidade no gráfico, ainda que de uma certa perspetiva seja possível ver uma proximidade entre os *clusters* 1, 2 e 3. Outro aspeto negativo a salientar é a diferença de objetos incluídos em cada *cluster*, onde o *cluster* 4 inclui apenas 100 observações, o ideal seria ter os 4 *clusters* nivelados em termos de observações incluídas em cada um deles.

Pelo facto de ser difícil concluir alguma coisa útil deste estudo e também pelo facto de esta análise de *clusters* não incluir as variáveis categóricas e portanto ser um estudo inconclusivo, adotou-se uma nova estratégia para conseguir retirar informação útil dos dados.

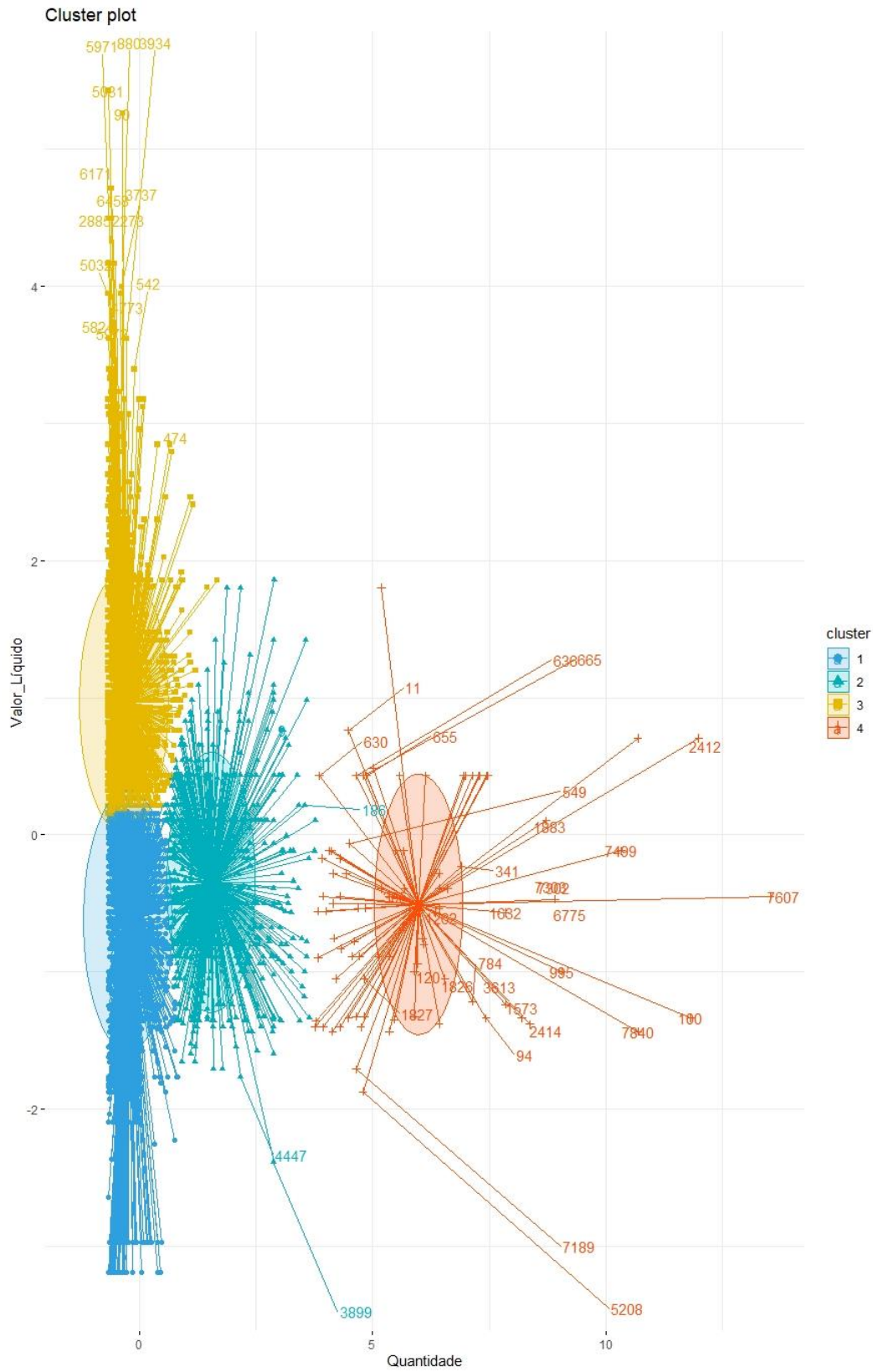


Figura 30. Proximidade entre encomendas de *clusters* diferentes.



### 3.4. Diagrama de árvore de decisão

Esta nova estratégia baseou-se em ramificar as variáveis dos produtos tendo em conta as suas características para a linha de produção, ou seja, se no *input* de matéria-prima nas máquinas da produção é considerado o primeiro critério o comprimento e em segundo a largura, neste caso a ramificação do comprimento irá surgir num nível superior do que as ramificações da largura. Todas estas ramificações criaram numa uma árvore de decisão, este processo também pode ser descrito como engenharia reversa (Reverse engineering), pois estas características foram analisadas tendo em conta o movimento inverso do produto na linha de produção.

Uma árvore de decisão geralmente começa com um único nó, que se divide em possíveis resultados. Cada um desses resultados leva a nós adicionais, que se ramificam em outras possibilidades. Assim, cria-se uma árvore de decisão com recurso ao *software draw.io*, conforme Figura 31.

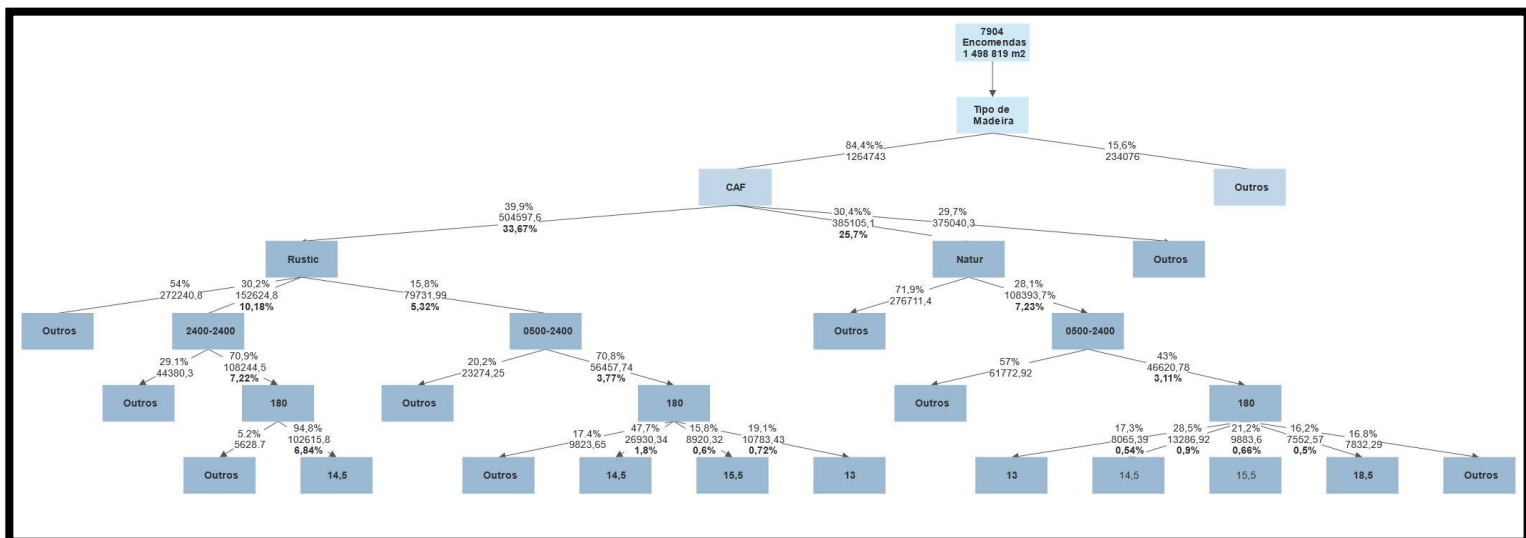


Figura 31. Árvore de decisão sobre as características dos produtos.

Esta árvore de decisão é caracterizada pelos seus 5 níveis de ramificação, que representam as características dos produtos encomendados, estão representados 1 498 819 metros quadrados encomendados entre 2018 e 2020. No primeiro nível encontram-se os tipos de madeira, que possui 2 ramificações, uma para o “Carvalho Francês” (CAF), que representa aproximadamente 84,4% dos metros quadrados encomendados e a outra para todos os outros tipos de madeira que representam os restantes 15,6% distribuídos por 18 tipos de madeira diferentes, apenas foram desenvolvidas as ramificações com características significativas, ou seja, neste caso como os 15,6% estão distribuídos por 18 tipos de madeira o respetivo ramo não é desenvolvido.

No segundo nível onde todos os produtos são filtrados pelo tipo de madeira “Carvalho Francês” consequência do desenvolvimento do respetivo ramo, este ramo contém aproximadamente 1264743 metro quadrados, encontram-se as qualidades da madeira “Rústica” que representam 39,9% dos dados, “Natural” com 30,4% e todas as outras 15 qualidades juntas com 29,7% num só ramo.

No terceiro nível encontram-se os intervalos de comprimento, para o desenvolvimento da qualidade “Rústica”, obteve-se 2 intervalos de comprimento relevantes, o intervalo “2400-2400” com 30,2% e o intervalo “0500-2400” com 15,8%, todos os outros 111 intervalos representam 54%. Para o desenvolvimento da qualidade “Natural”, obteve-se apenas um intervalo de comprimento relevante, “0500-2400” com 28,1%, ou seja, todos os outros 110 intervalos com 71,9%.

No quarto nível encontram-se as larguras, para o desenvolvimento de todos os ramos do nível 3, apenas a largura “180” se destacou. Para o desenvolvimento do intervalo de comprimento “2400-2400” da qualidade “Rústica” a largura “180” tem 70,9% dos metros quadrados encomendados sendo que todas as outras 26 larguras com 29,1%. Para o desenvolvimento do intervalo “0500-2400” da qualidade “Rústica” a largura “180” tem 70,8% dos metros quadrados encomendados sendo que todas as outras 26 larguras com 29,2%. E para o desenvolvimento do intervalo “0500-2400” da qualidade natural a largura “180” tem 43% dos metros quadrados encomendados sendo que todas as outras 26 larguras com 57%.

No último nível é possível encontrar as espessuras dos produtos, no desenvolvimento da qualidade “Rústica” com intervalo de comprimento “2400-2400” e com largura “180” obteve-se apenas uma espessura relevante, “14,5” que representa 94,8% dados respetivos dados, sendo que os restantes 5,2% estão divididos pelas 26 restantes larguras. Para o desenvolvimento da qualidade “Rústica” com intervalo de comprimento “0500-2400” com largura “180” obteve-se 3 espessuras relevantes, “14,5” com 47,7%, “15,5” com 15,8% e “13” com 19,1%, mais uma vez com o resto dos metros quadrados a serem divididos pelas 24 larguras. Para o desenvolvimento da qualidade “Natural” com intervalo de comprimento “0500-2400” e com largura “180” são identificadas 4 espessuras relevantes, “13” com 17,3%, “14,5” com 28,5%, “15,5” com 21,2% e “18,5” com 16,2%, onde o resto das espessuras juntas representa 16,8%.

Depois desta extensiva análise existem alguns padrões importantes a salientar, como é o caso do intervalo de comprimento “0500-2400” ser relevante em ramificações diferentes, a largura “180” é a única relevante em todas as ramificações possíveis desenvolvida pela largura e as espessuras “13”, “14” e “15,5” serem fortes em 3 ramificações diferentes. Contudo a grande descoberta desta análise é o conjunto de ramificações dominante: “Carvalho Francês” – “Rústica” – “2400-2400” – “180” – “14”,

onde após vários níveis de filtragem consegue representar uns impressionantes 6,84% dos metros quadrados totais da base de dados, ou seja responsáveis por 102615,8 metros quadrados destes 3 anos como pode ser verificado na Figura 32, o que pode ser considerado bastante útil e crucial para fases posteriores.

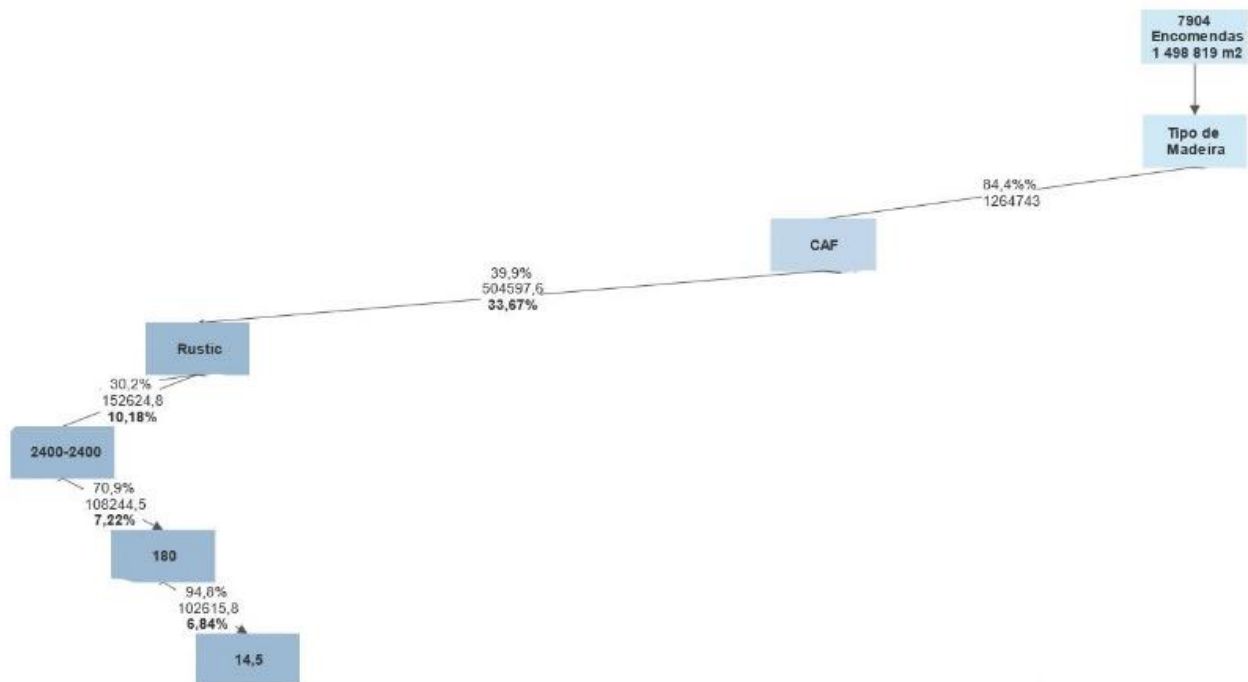


Figura 32. Ramificações dominantes.

### 3.5. Simulação aplicada à indústria de madeiras

Neste capítulo como já foi indicado anteriormente é realizado um estudo da linha de produção recorrendo à Simulação, mais propriamente ao *software* SIMIO. Onde são apontados os locais mais sensíveis da linha e abordagens com objetivo de criar estabilidade na linha. Devido à recorrente falta de informação e dados cruciais para este estudo, em várias ocasiões tanto as abordagens como alguns dados importantes são simplificados e aproximados à realidade, e portanto a precisão deste estudo fica à partida limitada.

Neste capítulo é realizado um estudo no *software* SIMIO, que consiste em simular a linha de produção acima mencionada e implementar possíveis alterações e estudar os seus impactos.

Os vários modelos nesta secção permitem simular a chegada das encomendas à linha, a sua passagem pela máquina ACOSTA e a sua expedição, numa perspetiva isto pode parecer muito simples mas existem características importantes que vão ser explicadas a seguir que permitem aproximar estes modelos à realidade assim como entender quais as diferenças e os impactos destas pequenas características. Como

todos os modelos mencionados a seguir têm como por base o modelo denominado “Linha\_Producao\_Modelo\_Inicial”, será feita uma explicação mais pormenorizada deste modelo e apenas umas breves explicações das diferenças para os modelos seguintes. Este estudo tem como principal elemento a máquina ACOSTA por várias razões, quer por ser identificada como uma máquina crucial pela Castro&Filhos quer pelos seus tempos de mudança de *setup* significativos, portanto alterações relacionadas com esta máquina vão ser muito mais importantes e com maior impacto no resultado final, daí esta simulação concentrar-se à volta desta máquina.

O modelo “Linha\_Producao\_Modelo\_Inicial”, que pode ser observado na Figura 33, é constituído pelas encomendas distinguidas pelas suas larguras, isto porque as larguras são o principal critério de mudança de *setup* na máquina ACOSTA.

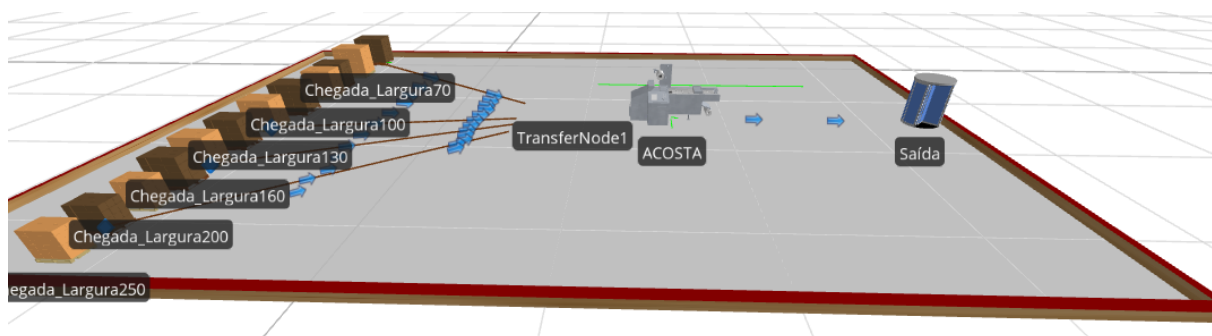


Figura 33. Representação em 3D do modelo base.

Estas encomendas são representadas pelo objeto do SIMIO “*modelentity*” com imagens diferentes consoante as suas larguras, conforme Figura 34. Por motivos de tempo de computação apenas são incluídas as seguintes larguras, que acabam por ser as mais representativas para a linha de produção: {70, 80, 90, 100, 120, 130, 140, 160, 180, 200, 220, 250}. Cada encomenda tem associada as suas quantidades (metros quadrados específicos) e os seus tempos de processamento na máquina ACOSTA, que dependem da sua largura, ou seja, para cada largura existem tempos de processamentos diferentes, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Tempos de processamento das larguras.

<b>Largura (milímetros)</b>	<b>Tempos de processamento (segundos por metro quadrado)</b>
70	21,43
80	21,83
90	22,22
100	19,45
120	16,67
130	15,48
140	14,28
160	12,7
180	11,11
200	14,6
220	18,18
250	16

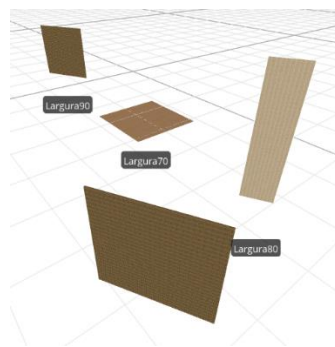
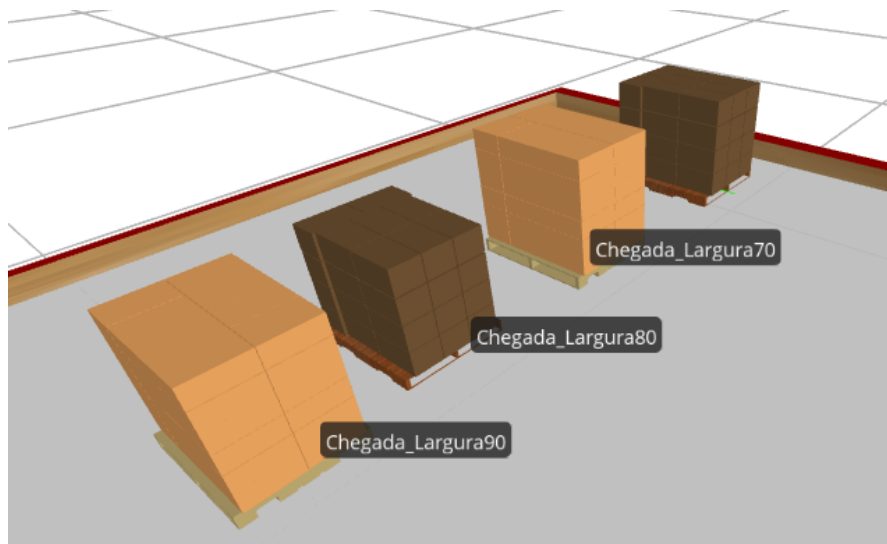


Figura 34. Símbolos diferentes para as encomendas.

Estas encomendas chegam à linha de produção através de um objeto “*Source*”, que pode ser observado na Figura 35, neste caso em específico, um *source* para cada largura, um total de 12 *sources*.

Figura 35. Objetos *Sources*.

Para cada *source* está associada uma tabela com as datas e quantidades de cada encomenda para que a entrada de encomenda seja o mais parecida com a realidade, ou seja, as encomendas de largura 70 por exemplo apenas vão entrar na linha de produção através do *source* específico, na data exata que cada encomenda chegou à empresa, conforme Figura 36.

	Arrivals70	Arrivals80	Arrivals90	Arrivals120	Arrivals130	Arrivals140	Arrivals160	Arrivals180
	STD		Quantidade	Largura				
244	14/02/2020 00:00:00		209,29	180				
245	14/02/2020 00:00:00		106,64	180				
246	14/02/2020 00:00:00		104,64	180				
247	14/02/2020 00:00:00		200	180				
248	14/02/2020 00:00:00		75	180				
249	14/02/2020 00:00:00		12,16	180				

Figura 36. Valores associados aos *sources*.

Após a entrada na linha através dos *sources*, as encomendas são levadas para uma *station*, aqui as encomendas ficam à espera que sejam autorizadas a entrar na fila de espera da máquina ACOSTA. Este processo de as encomendas ficarem numa *station* à espera de autorização, tem o objetivo de simular a agregação de encomendas que acontece na realidade, que foi explicado anteriormente. Segundo a empresa, em média o tempo de agregação das encomendas é de 10 dias portanto neste modelo o valor por defeito de espera na *station* é também de 10 dias.

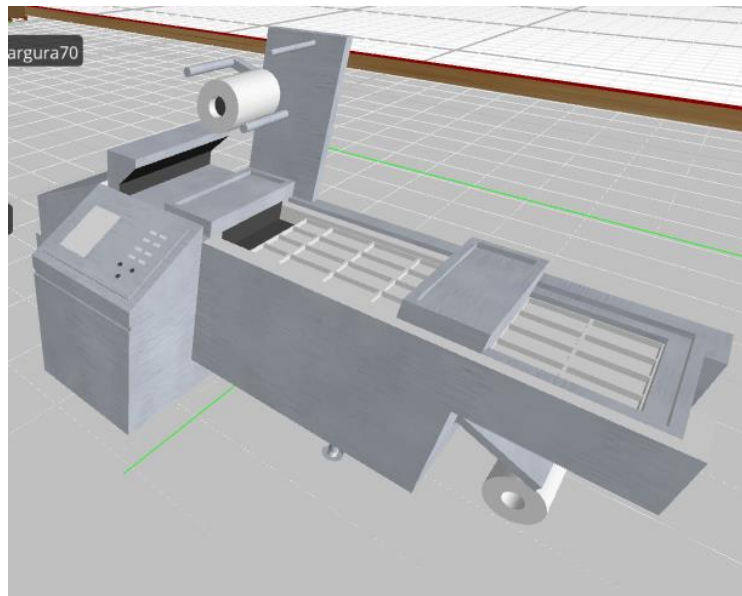


Figura 37. Acosta no modelo de simulação.

A máquina ACOSTA é representada por um objeto “*server*”, que pode ser observado na Figura 37, esta máquina contém aspetos importantes a explicar, um dos mais simples é que a máquina ACOSTA apenas trabalha 8 horas por dia, 250 minutos da parte da manhã e 210 minutos da parte da tarde, ou seja, possui o seguinte horário – 8:20 até as 12:30 e das 13:30 até as 17h - conforme Figura 38. Como já foi mencionado cada encomenda em função da sua largura possui tempos de processamento específicos para esta máquina.

Pattern Based		Table Based							
Work Schedules									
Name	Start Date	Description	Days	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	
StandardWeek	03/01/2011	Standard Work Week Schedule	5	Turno1	Turno1	Turno1	Turno1	Turno1	
.....									
Day Patterns									
Name	Description								
Turno1	480 min/dia								
Work Periods									
Start Time	Duration	End Time	Value	Cost Multiplier	Description				
08:20	250 minutes	12:30	1	1					
13:30	3,5 hours	17:00	1	1					
* .....									

Figura 38. Horário de trabalho da máquina Acosta.

A máquina Acosta possui tempos de mudança de *setup*, ou seja, sempre que é necessário processar uma encomenda de largura diferente são efetuadas algumas alterações na máquina que demoram o seu tempo, para que possa processar a nova encomenda. Para isto as larguras foram divididas em 3 classes, conforme Tabela 7.

Tabela 7. Classes para a mudança de *setup*.

<b>Classe</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	70	140	200
	80	160	220
<b>Larguras</b>	90	180	250
	100		
	120		
	130		

Portanto sempre que existe uma mudança de encomenda que implique mudança de classe o tempo de mudança de *setup* é de 52,5 minutos, enquanto a mudança de encomenda for dentro da classe o tempo de mudança de *setup* é de 15 minutos. No SIMIO isto é implementado recorrendo a uma “*changeover matrices*” como pode ser observado na Figura 39, onde os valores estão em horas.

↓From \ To →	70	80	90	100	120	130	140	160	180	200	220	250
70	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
80	0,25	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
90	0,25	0,25	0	0,25	0,25	0,25	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
100	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,25	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
120	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
130	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875
140	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0	0,25	0,25	0,875	0,875	0,875
160	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,25	0	0,25	0,875	0,875	0,875
180	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,25	0,25	0	0,875	0,875	0,875
200	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0	0,25	0,25
220	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,25	0	0,25
250	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,875	0,25	0,25	0

Figura 39. *Changeover matrices*.

Portanto caso houvesse apenas 1 troca de *setup* com classes diferentes num dia (possivelmente serão mais na realidade), esse tempo dedicado à mudança de *setup* representaria sensivelmente 11% do tempo de trabalho de uma dia, ou seja, se não houver um cuidado especial com este facto rapidamente a rentabilidade da máquina vai diminuir por estar a dedicar demasiado tempo à mudança de *setups*.



Após o processamento na máquina ACOSTA as encomendas têm um período de deslocação para a expedição de 24 horas, este aspeto simula o facto de as encomendas terem de ficar em repouso 24 horas após a colagem na ACOSTA.

Este modelo é analisado com 26 semanas de simulação cuja data de início é o dia 1 de Janeiro de 2020. Para analisar este modelo foram criadas 9 medidas de desempenho, que podem ser observadas na Tabela 8:

Tabela 8. Medidas de análise de desempenho.

<b>Nome</b>	<b>Função</b>
<b>Produção</b>	Indica os metros quadrados produzidos.
<b>TIS (Horas)</b>	Indica em média o tempo dentro da linha de uma encomenda.
<b>TIS180 (Horas)</b>	Indica em média o tempo dentro da linha de uma encomenda de largura 180.
<b>NIS</b>	Indica em média o número de encomendas dentro da linha.
<b>NIS180</b>	Indica em média o número de encomendas de largura 180 dentro da linha.
<b>Fila_ACOSTA</b>	Indica o número médio de encomendas que fica em fila de espera na máquina ACOSTA.
<b>Percent_TimesSetups</b>	Indica a percentagem de horas dedicadas à mudança de <i>setup</i> em função do tempo total de simulação (26 semanas).

Em relação aos KPI – key indicator performance - acima mencionados é ainda importante explicar que o objetivo de alguns é aumentarem e de outros é diminuir, mais propriamente o KPI Produção quanto maior melhor, significa que a linha melhorou a sua produtividade, enquanto os restantes quando menores melhor, significa que a linha de produção consegue expedir as suas encomendas de uma forma mais rápida e trabalhar de uma forma mais eficaz. A medida de desempenho Produção é a principal sem dúvida alguma, pois objetivo da linha é maximizar a sua produção.

Todas estas medidas de desempenho são possíveis de analisar na secção “Experiments” do SIMIO onde ainda é possível ajustar os parâmetros criados, neste caso e para todos os modelos restantes, foram

criados dois parâmetros. O primeiro parâmetro tem o objetivo de dar prioridade às encomendas “180” por toda a linha de produção, ou seja, por exemplo na fila de espera da máquina ACOSTA com este parâmetro ativo as encomendas de largura “180” vão poder ultrapassar outras encomendas de larguras diferentes. O segundo parâmetro reduz o tempo de espera na *station* de 10 dias para 5 dias, este parâmetro permite simular a criação de um *stock* para que seja atingida a rentabilidade de processar as encomendas de uma largura específica na máquina ACOSTA mais rapidamente, ou seja, por haver um *stock* as encomendas têm de esperar menos tempo para poderem ser coladas na máquina ACOSTA com isto o input das encomendas na máquina é realizado de uma forma mais eficiente.

Para ter acesso aos resultados foram executadas experiências com 20 replicações cada e com um tempo de aquecimento de 4 semanas, cujas condições de simulação são replicadas em todos os modelos mencionados posteriormente.

Em relação a este modelo inicial através dos resultados é possível concluir que quando comparados cenários com tempos de agregação diferentes (redução de 10 dias para 5 dias), a Produção aumenta 2,77%, o TIS diminui 7,72%, o NIS diminui 7,51% e o SetupTime diminui 0,16%. Quando comparados cenários com prioridade diferentes para as encomendas de largura 180, a produção aumenta 30,41%, o TIS diminui 40,55%, o NIS diminui 32,78% e o SetupTime diminui 5,42%. Em ambos os casos os novos parâmetros sugeridos trazem melhorias significativas.

Agora são analisados os mesmos KPI's e os mesmos parâmetros mas com modelos sensivelmente diferentes de forma a perceber o impacto das alterações dos modelos.

O modelo seguinte denominado “2-Linha\_Producao - 2 ACOSTAS + 1 STATION”, onde as únicas diferenças para o modelo inicial são a adição de mais uma máquina ACOSTA, ou seja, assim como na realidade existem 2 máquinas ACOSTA a trabalhar em paralelo. E um ajuste nos KPI's, enquanto o modelo inicial tem 3 KPI's associados à ACOSTA, este novo modelo por ter mais uma máquina ACOSTA possui 6 KPI's que analisam as máquinas de forma independente.

Em relação a este segundo modelo através dos resultados conforme o anexo 2 é possível concluir que quando comparados cenários com tempos de agregação diferentes (redução de 10 dias para 5 dias), a produção aumenta 2,78%, o TIS diminui 37,24%, o NIS diminui 38,88% e o SetupTime diminui 0,47%. Quando comparados cenários com prioridade diferentes para as encomendas de largura 180, a produção aumenta muito pouco apenas 0,05%, o TIS diminui 25,96%, o NIS diminui 27,40% e o SetupTime diminui 5,39%.

Em ambos os casos os novos parâmetros sugeridos trazem melhorias significativas e como seria lógico este modelo com duas máquinas tem uma capacidade de produção bastante superior ao anterior.

O modelo seguinte cujo nome é “3-Linha\_Producao - 1 STATION + Least setup time” é idêntico ao modelo anterior, onde a grande diferença é que é indicado ao próprio simulador para ele fazer a gestão da distribuição das máquinas ACOSTA tendo em conta o menor tempo de mudança de *setup*, onde até agora essa distribuição era feita de forma aleatória, ou seja, a encomenda tinha a mesma probabilidade de ir para a máquina 1 ou para a máquina 2. Como se pode observar nos resultados no anexo 3, enquanto nos modelos vistos anteriormente a %*setupTime* andava à volta dos 10%, neste modelo este KPI baixou para sensivelmente 1%, com a desvantagem de uma ligeira diminuição da produção. Neste modelo não é implementado o parâmetro da prioridade pois o facto de o próprio modelo fazer a gestão automática das entradas das encomendas nas máquinas já engloba as prioridades das mesmas.

No modelo seguinte “6-Linha\_Producao - Fila de Espera Ótimo” são programados 2 cenários onde é feita uma abordagem diferente no que toca à distribuição das encomendas pelas máquinas, a distribuição no primeiro cenário é realizada tendo em conta o menor tempo de espera das encomendas, ou seja, as encomendas vão ser distribuídas para a máquina que as consiga processar primeiro (tempo de fila de espera ótimo). Enquanto o outro cenário tem exatamente a mesma abordagem mas apenas para as encomendas de largura “180” e as outras mantêm a aleatoriedade. Após a análise dos resultados é possível concluir que apenas o cenário de fila de espera ótimo para as encomendas de largura “180” mostrou melhorias significativas em relação ao modelo anterior.

No modelo seguinte “4-Linha\_Producao - 2 STATIONS Agregações Diferentes” a novidade deste modelo é a existência de duas “stations” ou seja, as encomendas são agregadas em 2 grupos diferentes. Neste caso são agregadas pelas suas quantidades, as encomendas de larguras mais encomendadas vão para a *station2* e as outras menos encomendadas para a *station1*.

Após análise dos resultados conforme anexo 6 é possível concluir que os parâmetros mais uma vez mostraram progressos e no geral este modelo mostrou valores altos para a medida de desempenho produção, um dos mais altos.

No próximo e último modelo, onde novamente verificam-se 2 cenários, a grande alteração é uma nova *station*, ou seja, no total o modelo possui 3 *stations* – 3 grupos de agregação de encomendas. A regra de distribuição pelas *stations* é em função da classe da mudança de *setup*. A diferença entre os cenários é que num cenário é implementado mais uma vez a regra de despacho nas máquinas ACOSTA *Least Setup Time* e no outro cenário a distribuição das encomendas pelas duas máquinas é aleatória.

Em relação aos resultados deste modelo é mais uma vez possível concluir, o que veio a tornar-se um padrão, que os parâmetros vêm trazer melhorias e que este modelo é o mais forte em termos de produtividade, por outro lado a diferença entre os dois cenários é pouco perceptível na análise de

resultados. Portanto este modelo com o *Least Setup Time* implementado apresenta um valor de 339301 metros quadrados produzidos, uma fila de espera em média de 15 encomendas para as máquinas, e um valor em médio de 1,7% dedicados à mudança de *setup* nas máquinas.

Foram ainda efetuados mais modelos com outras alterações e cenários, contudo nenhum destes modelos conseguiu trazer novidades nem resultados significativos que os modelos mencionados anteriormente, já não tivessem salientado. Para concluir a alteração da prioridade das encomendas de produtos de largura 180 e/ou a utilização da regra de despacho *Least Setup Time* permitiram em média um aumento da produção em 7,89% e uma diminuição do tempo médio de uma encomenda dentro da linha de produção em 25,5%. Quanto à alteração de diminuir o tempo de agregação de 10 para 5 dias com recurso a um *stock* do subproduto de largura 180, permitiu em média aumentar a produção em 2,62% e diminuir o tempo médio de uma encomenda dentro da linha de produção em 37,98%.

Ao analisar estes resultados fica demonstrado que os parâmetros, quer o aumento da prioridade de encomendas de larguras “180” e/ou a implementação da regra de despacho *Least Setup Time* e a diminuição do tempo de agregação das encomendas, trouxeram melhorias significativas à linha de produção. Por outro lado as alterações nos modelos já não são assim tão impactantes pois em quase todos os modelos diferentes existe sempre um cenário com produtividade acima dos 300000 metros quadrados produzidos.

### 3.6. Análise de sensibilidade

Neste capítulo vai ser novamente recorrido à simulação para fazer uma análise de sensibilidade para poder ser compreendida como a proporção de produção de certas larguras poderá ter impacto na produtividade da linha de produção. Antes de recorrer à simulação são feitas algumas análises com o intuito de encontrar as larguras mais importantes para a empresa tendo em conta os seus valores de venda.

De forma a justificar as larguras utilizadas na secção seguinte é realizada uma análise de *pareto* às larguras tendo em conta o seu volume de vendas. Foram utilizados valores médios aproximados para cada largura como pode ser observado no anexo 9, apesar de serem uma aproximação podem ser considerados uma boa base para poder tornar este pequeno estudo proveitoso para a realidade da empresa em questão.

Em relação à análise ABC é possível concluir graças à Figura 40, que as larguras “180”, “90”, “140”, “120” podem ser classificadas como produtos A, ou seja, representam 80% das vendas da organização. Os produtos B, que representam 15% das vendas, são as larguras “220”, “153”, “190” e as restantes larguras classificadas como produtos C são responsáveis por 5% das vendas.

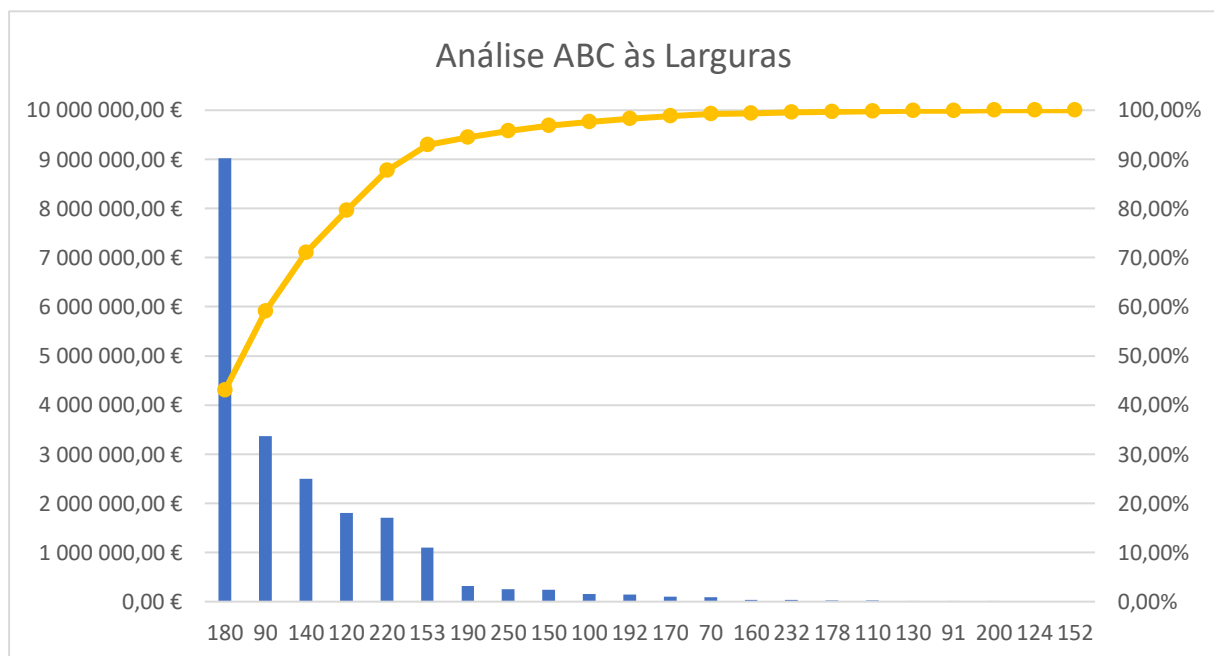


Figura 40. Análise ABC das larguras.

Para completar a análise realizada anteriormente, neste subcapítulo é estudado o comportamento das quantidades encomendadas das larguras ao longo do tempo. Encontrar padrões e compreender de que forma os meses do ano têm impacto poderá ser uma vantagem preciosa quer no planeamento da produção quer na previsão de encomendas. As larguras presentes neste subcapítulo são as larguras classificadas como A na análise ABC. Estas séries temporais são compostas por observações semanais, ou seja, são compostas por 156 observações que correspondem a 52 semanas durante 3 anos.

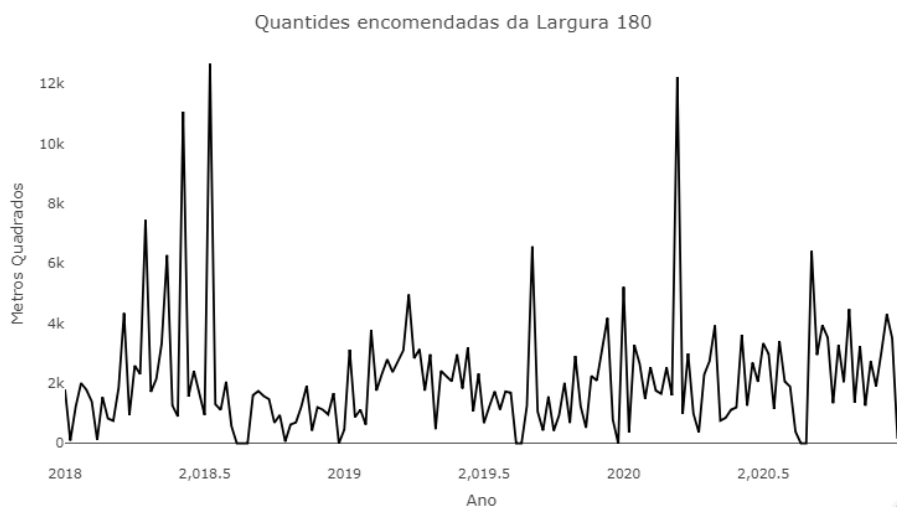


Figura 41. Série temporal da largura180.

Em relação ao comportamento ao longo do tempo das quantidades encomendadas dos produtos de largura "180", que pode ser observado na Figura 41, é possível concluir que possui um ano de 2018 um pouco superior aos outros com alguns picos positivos no primeiro semestre, um 2019 mais discreto e depois volta a ter um pico no primeiro semestre de 2020. Apesar de ser bastante difícil de extrair à primeira vista alguma informação relevante, ainda é possível indicar que não apresenta valor esperado constante nem variância constante.

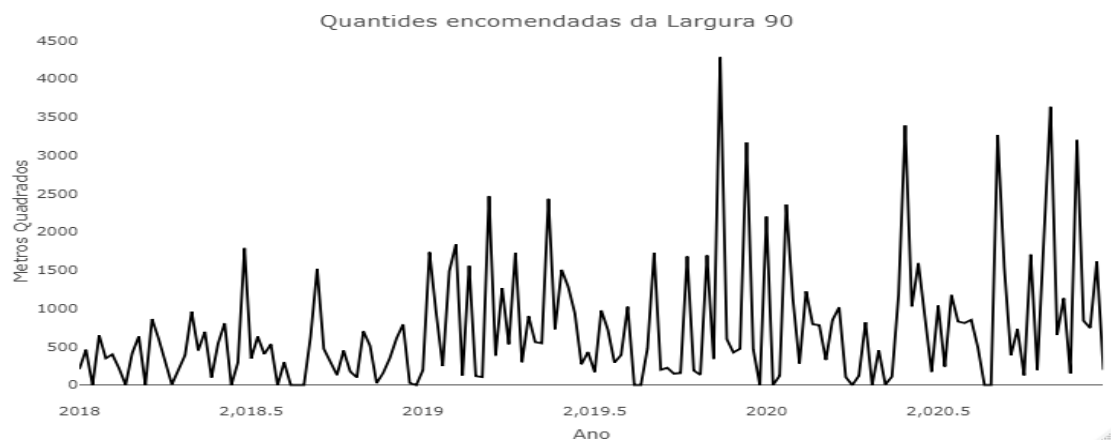


Figura 42. Série temporal da largura90.

Em relação ao comportamento nos três anos de encomendas de produtos de largura "90", é possível afirmar que possui um ligeiro crescimento não linear, mas ainda assim é caracterizada por demasiados picos de quantidades encomendadas o que pode significar alguma instabilidade, conforme Figura 42.

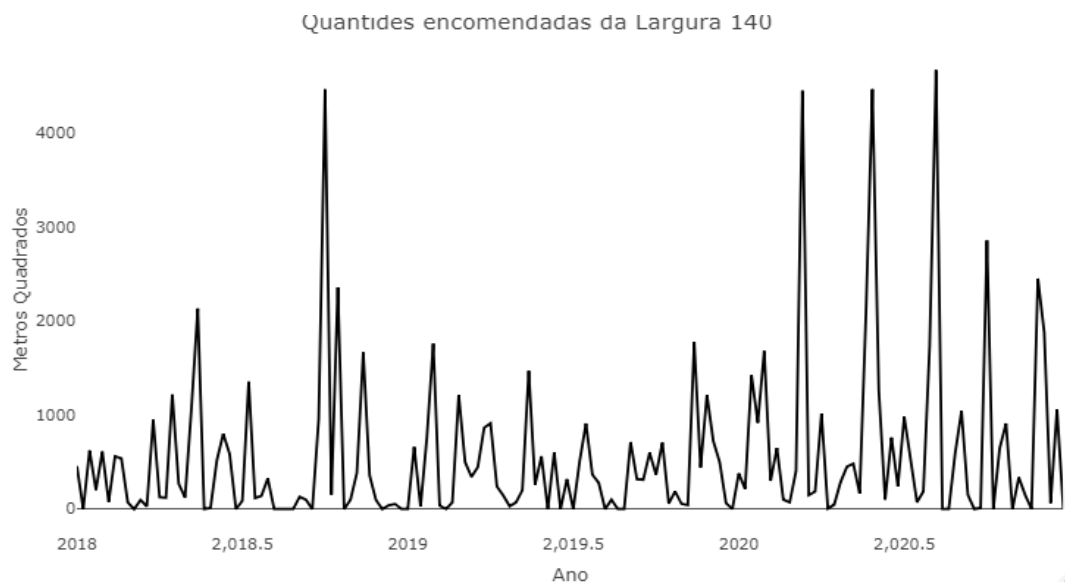


Figura 43. Série temporal da largura140.

A série temporal dos produtos encomendados de largura "140" conforme Figura 43, apresenta um ano de 2020 relativamente superior aos outros mas ainda assim, novamente com muitos picos de quantidades encomendadas, picos que ultrapassam os 4000 metros quadrados encomendados. Em continuidade com as outras séries, esta também não possui valor esperado constante nem variância constante.

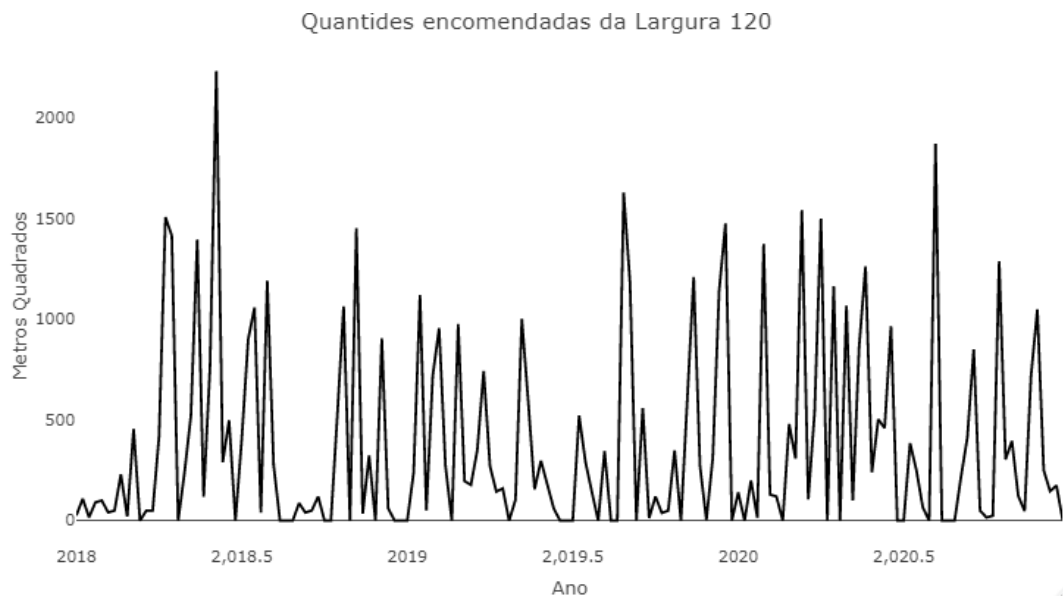


Figura 44. Série temporal da largura120.

Por último e não muito diferente das anteriores, os produtos de largura "120" que está representada na Figura 44, não apresenta qualquer tipo de sazonalidade, pelo contrário apresenta alguma aleatoriedade. A grande diferença para as outras larguras são as quantidades encomendadas bastante inferiores, apenas possui um pico acima dos 2000 metros quadrados.

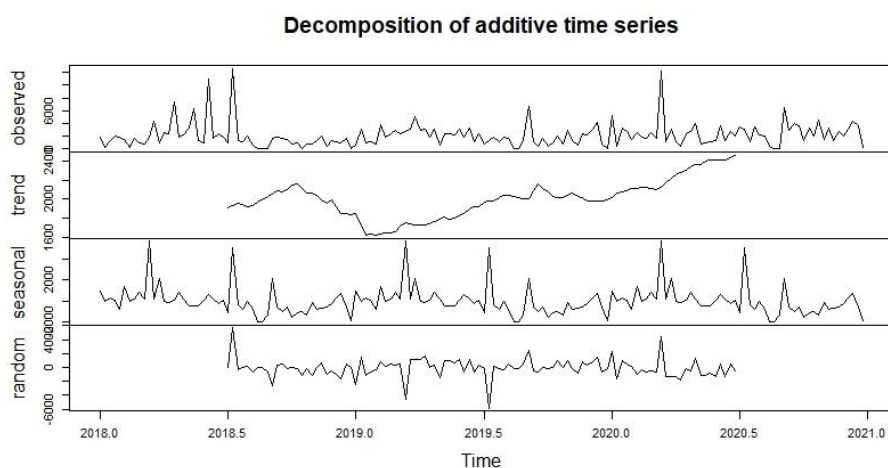


Figura 45. Decomposição da série da largura180.

Para confirmar o que foi afirmado anteriormente é possível observar na Figura 45, que representa a decomposição pelo método aditivo da série temporal referente aos produtos de largura "180", a ausência de sazonalidade e a presença de aleatoriedade dos dados.



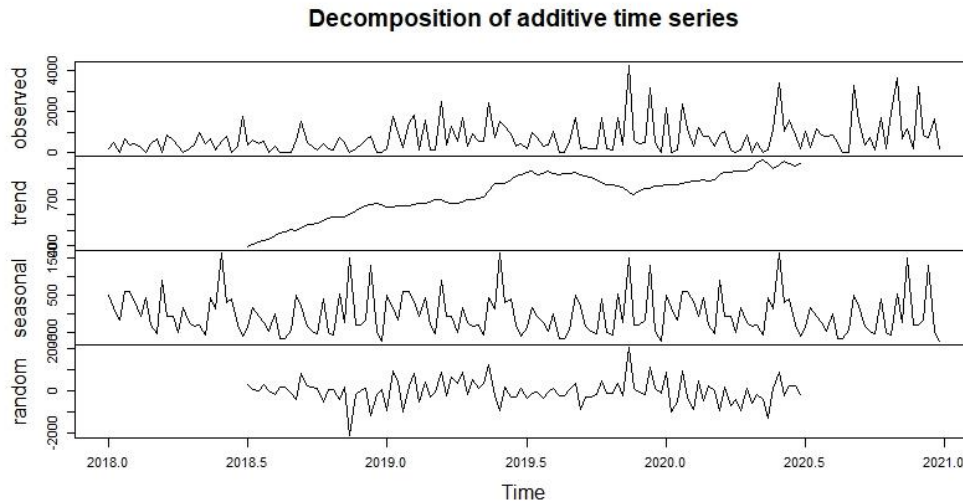


Figura 46. Decomposição da série da largura90.

A mesma análise para os produtos de largura "90" na Figura 46, é possível observar um ligeiro aumento das quantidades a partir do ano 2019 e a ausência de sazonalidade.

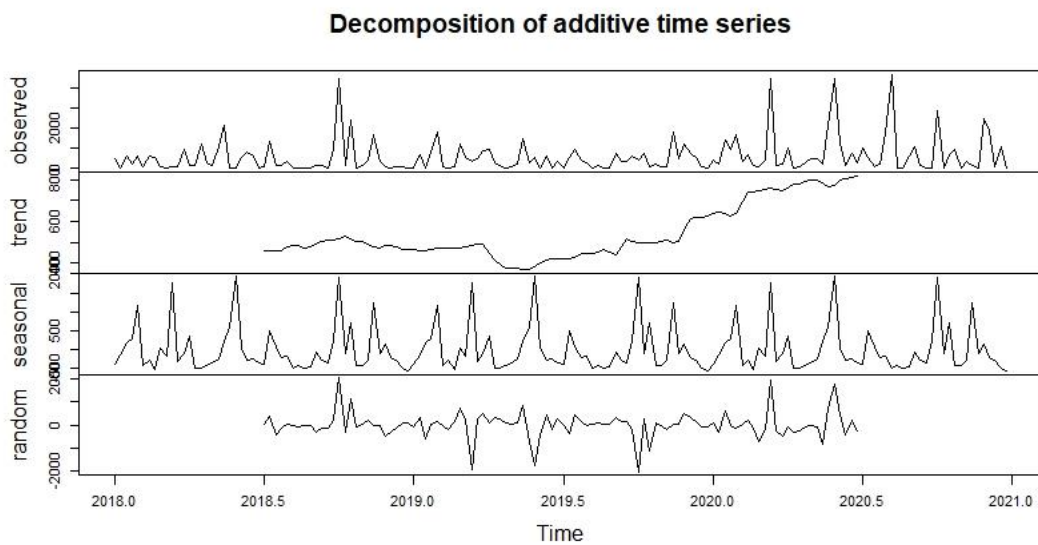


Figura 47. Decomposição da largura140.

Mais uma vez um dos factos que se destaca na decomposição das encomendas dos produtos de largura "140" na Figura 47, é um ligeiro aumento da tendência, que no fim do ano de 2020 acaba por se tornar mais relevante.

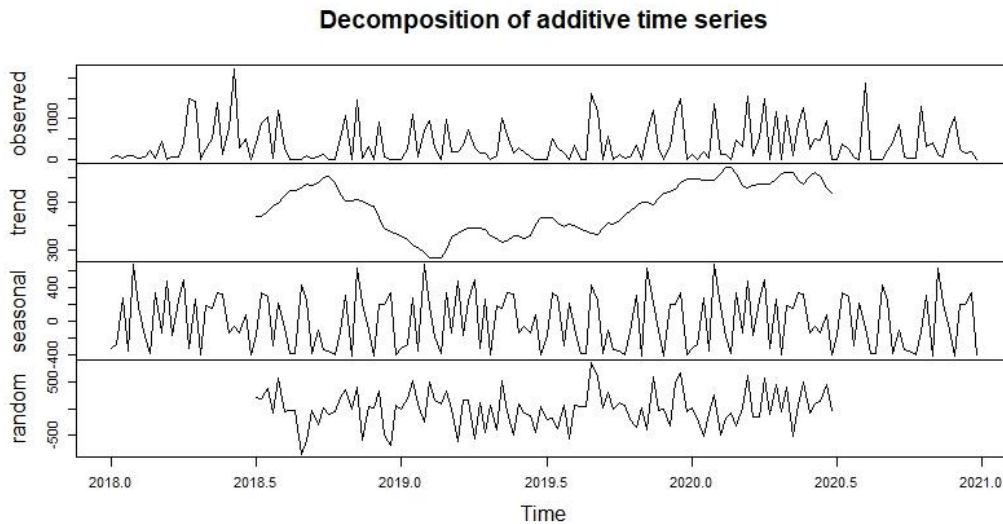


Figura 48. Decomposição da série da largura120.

Por fim na análise à decomposição da série das encomendas dos produtos de largura "120", na Figura 48 é notório numa fase inicial uma ligeira queda mas seguida de um aumento da tendência a partir do meio do ano de 2019 e a ausência de sazonalidade.

Todas as séries apresentam um ligeiro crescimento no ano de 2020, a ausência de sazonalidade é também perceptível em todas as decomposições assim como a forte aleatoriedade.

### 3.7. Análise sensibilidade no SIMIO

Como no capítulo anterior o modelo de simulação que apresentou melhores indicadores de performance foi o modelo composto por 3 *stations* e regra de despacho *Least Setup Time*, aqui é replicado este mesmo modelo mas com algumas alterações. Para começar e como já foi mencionado apenas estão presentes as larguras “180”, “120”, “90”, “140”, foram adicionados 2 novos postos de trabalho, a Inspeção Visual e o Corte do produto, onde cada largura tem o seu tempo de processamento para cada respetivo posto de trabalho conforme anexo 11. As máquinas ACOSTA continuam a ser o único local com mudança de *setup* por causa das larguras diferentes. Neste caso a chegada de encomendas à linha não é recorrendo a tabelas com as datas exatas, mas foram feitas aproximações a uma distribuição exponencial, ou seja, o intervalo de tempo entre chegadas de encomendas segue uma distribuição exponencial com um valor médio para cada largura, conforme Tabela 9.

Tabela 9. Distribuições das chegadas das encomendas

Largura	Valor médio
180	1,860 horas
90	2,000 horas
140	3,187 horas
120	3,174 horas

Como este modelo é uma representação do melhor modelo analisado no capítulo anterior, todas as simulações e cenários deste modelo têm os parâmetros já otimizados pelos valores que foram vistos anteriormente, ou seja, o valor de agregação de encomendas de 5 dias e a regra de despacho *Least Setup Time*. Este modelo possui ainda alguns novos indicadores de performance (KPI), o indicador principal é o Volume de vendas em euros, cujo objetivo é maximizar, que representa aquilo que o nome já indica, a percentagem de utilização das máquinas ACOSTA e ainda é possível visualizar para cada mês em função da largura os metros quadrados produzidos. Mais uma vez todos os cenários foram simulados com 20 replicações e um tempo de aquecimento de 4 semanas, desta vez apenas foram simuladas apenas 26 semanas de trabalho.

Neste modelo é possível fazer um planeamento simples do plano produtivo, ou seja, o utilizador do sistema pode indicar que larguras são produzidas e em que proporções para cada mês.

Os valores da Tabela 9 representam uma produção a 100% para cada largura. Um cenário irrealista em que todos os meses são produzidos todas as larguras significa que a linha de produção atinge a capacidade máxima de produção. Este cenário de linha com capacidade de produção máxima que

apresenta os resultados dos KPI's no Anexo 12, é possível destacar os seus 17 653 100,00 € de volume de vendas e os metros quadrados produzidos para cada largura (180, 90, 140, 120) – 264775, 119564.2, 133128.6, 102272.8, respetivamente e também os 99% de ocupação para ambas as ACOSTA. Contudo por se tratar de um cenário completamente irrealista apenas servirá de comparações para outros modelos.

O modelo que servirá de base ou aproximação à realidade possui o seguinte plano de produção, os produtos de largura"180" são produzidas nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio, os produtos de largura"90" são produzidos nos meses Fevereiro, Março e Abril, as larguras"140" são produzidas nos meses de Janeiro e Maio e por fim os produtos de largura"120" são produzidos apenas no mês de Março. Os seus indicadores de performance demonstram um volume de vendas de 11 162 900,00 € e uma percentagem de 53% de taxa de ocupação para as máquinas.

O próximo passo consiste em tentar descobrir abordagens no planeamento de produção que possam criar um aumento do volume de vendas sem desfazer por completo o planeamento da realidade da organização, onde poderá passar por aumentar logicamente a proporção de produtos de larguras com mais impacto monetariamente.

A primeira alteração foi diminuir 50% da produção à Largura"140" e aumentar 50% à Largura"120". Em termos de volume de vendas houve um ligeiro aumento para o valor 11 300 500,00 € - aumento de sensivelmente 200 000€, isto deveu-se ao facto de a largura"120" ter um valor associado mais alto e mesmo sendo produzido apenas num mês acaba por trazer vantagens em aumentar 50% da produção nesse mês e diminuir 50% da produção da largura"140" nos respetivos meses, acaba por ser uma alteração eficaz, trabalhar menos e faturar mais.

A segunda alteração foi com as mesmas condições da primeira mas com larguras diferentes, aumentar 50% à largura"90" e diminuir 50% à largura"180". Uma análise aos KPI's desta alteração permite concluir que o volume de vendas aumentou ligeiramente para 11 693 300,00 €, assim como a percentagem de utilização das máquinas ACOSTA, isto mais uma vez deveu-se ao facto de a largura"90" ser mais impactante nas vendas e portanto aumentar a sua produção traz as suas vantagens.

A terceira alteração foi de encontro as alterações anteriores, ou seja, neste caso foi reduzida 30% à produção de largura"140" e aumentado 70% à produção de largura"120", com o objetivo de compreender se a linha de produção teria capacidade e se ao mesmo tempo o volume de vendas iria ser aumentado. De acordo com o Anexo 16, o volume de vendas teve um bom aumento para 12 574 200,00 €, mais de um milhão e meio de aumento em relação ao modelo base, a ocupação das máquinas também foi maior assim como a produção de largura"120" como seria de esperar.

Na última alteração também replicando a alteração anterior, mas neste caso com larguras diferentes, ou seja, a produção de largura "180" diminui 30% e a produção de largura "90" aumentou 70%. As melhorias são evidentes, o volume de vendas aumentou para quase 16 milhões e a utilização das máquinas ACOSTA subiu para 82%.

Todas estas melhorias e alterações vão ao encontro do que seria o mais lógico, desde que a linha de produção tenha capacidade para tal, apostar em larguras mais rentáveis para as vendas irá trazer um maior encaixe financeiro, obviamente que tudo fica um pouco dependente da procura. Seria também necessário fazer com que a procura acompanhasse este aumento de produção das larguras mais rentáveis e ao mesmo tempo a linha de produção não perdesse capacidade de produção das larguras mais procuradas no presente.

### **3.8. Previsão dos produtos de largura "180"**

Neste capítulo é realizada uma previsão da procura de encomendas de produtos de largura "180", isto porque vai de encontro às análises anteriores onde a largura "180" foi considerada uma largura crítica para a organização e ao mesmo tempo para servir de apoio ao estudo da gestão de stock de produto intermédio, neste caso apenas de largura "180".

Ao contrário dos capítulos anteriores, esta série temporal trata-se de observações diárias sobre as quantidades encomendadas, com início no dia 1 de Janeiro de 2018 e termino no último dia de 2020, ou seja, 31 de Dezembro de 2020. Por se tratar de 3 anos, um deles ano bissexto, o número total de observações são 1096, 365 relativamente a 2018 e 2019 e 366 relativamente a 2020.

A representação gráfica da série temporal sobre o comportamento das encomendas encontra-se na Figura 49, esta veio confirmar o que já foi explicado anteriormente esta série não possui sazonalidade, quer seja ela diária, mensal ou anual.

Todas estas características não são favoráveis à utilização de modelos ARIMA, quando os resultados destes modelos são comparados com métodos mais recentes e mais apropriados para dados com uma grande componente aleatória, apresentam normalmente erros maiores.

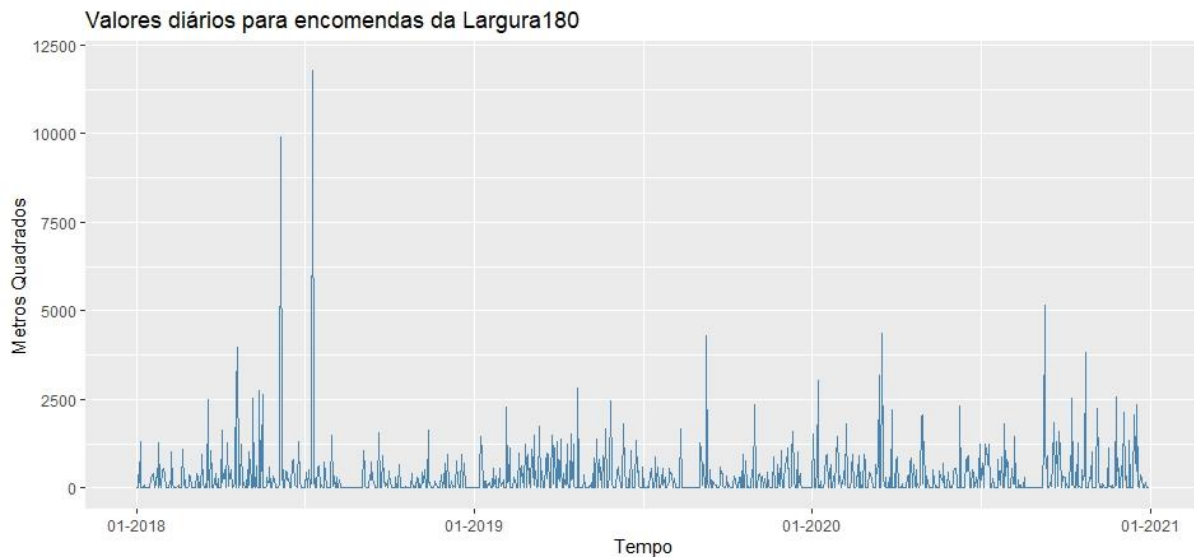


Figura 49. Valores diários encomendados da largura180.

Ainda assim foram efetuadas várias tentativas com vários modelos quer ARIMA quer SARIMA, contudo as previsões não se revelaram as melhores. De maneira a ultrapassar este obstáculo foi recorrido a um método inovador e ainda a ganhar a sua reputação chamado *Facebook Prophet*. Para aplicar este método foi recorrido ao *software R* e à biblioteca *Prophet*, numa fase inicial é realizada uma preparação dos dados, onde da base de dados inicial apenas são extraídas as colunas da data e da quantidade, por fim as observações são agregadas por dia. A única exigência da ferramenta Prophet para além de observações diárias é alterar o nome das colunas, ou seja, a coluna da data para o nome “ds” e a coluna das quantidades para “y”. A previsão realizada foi dos 60 dias seguintes, ou seja, até dia 1 de Março de 2021, uma previsão mais extensa tornariam os valores desajustados à realidade.

Na Figura 50, é possível visualizar a previsão, onde os pontos a preto representam os valores reais observados, a linha a azul escuro representa a previsão e a área com azul claro representam os limites dentro do intervalo de confiança. Esta previsão reproduz de uma forma aproximada os valores observados até à data, em relação aos valores previstos para o futuro, consegue reduzir os outliers, ou seja, diminui a componente da aleatoriedade. Estas características mencionadas acima tornam esta previsão aceitável e essencial para o estudo seguinte.

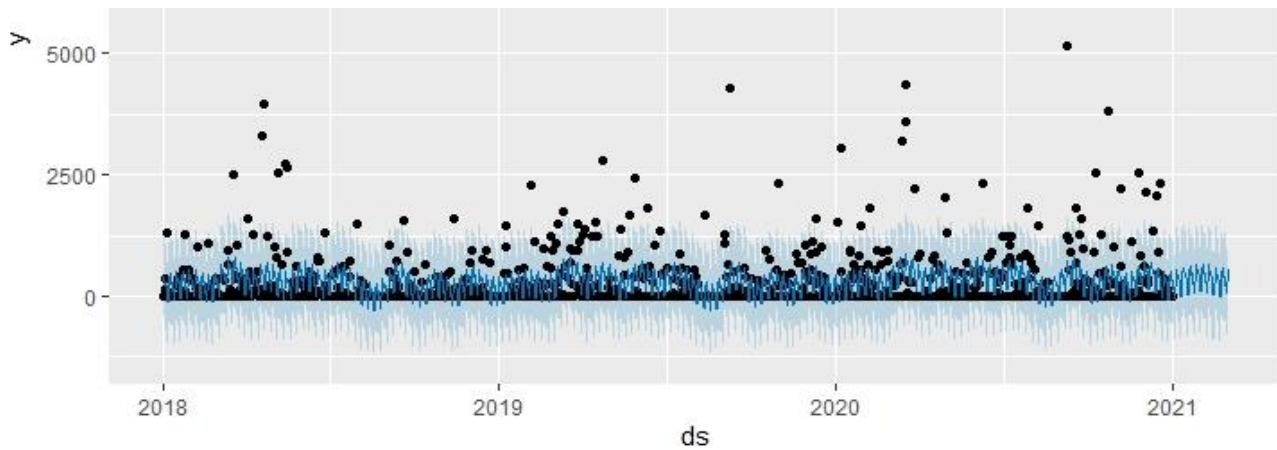


Figura 50. Previsões da largura180.

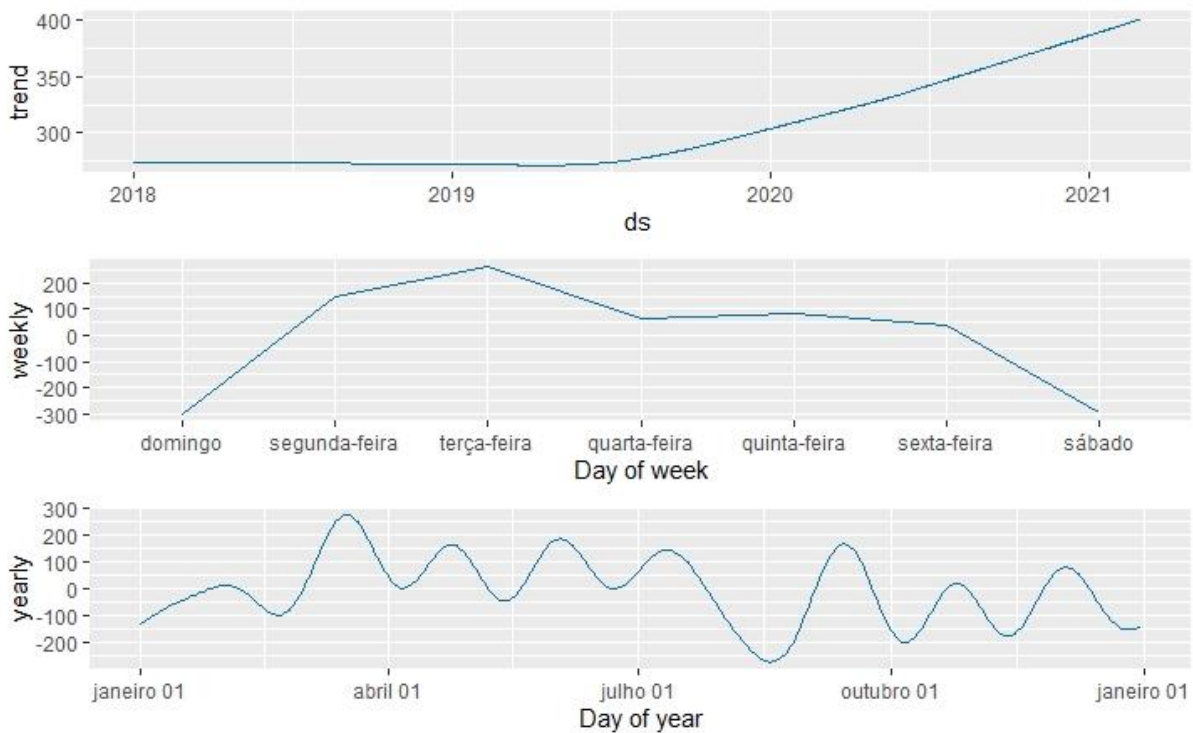


Figura 51. Componentes da previsão.

Ao analisar as componentes da previsão, conforme Figura 51, é possível afirmar que a tendência do aumento das quantidades encomendadas em 2020 continua para 2021 e mostra um aumento ainda mais acentuado. Quanto à análise dos dias da semana como era de esperar Sábado e Domingo apresentam inferiores em relação aos outros, pois a organização fecha ao fim de semana, em relação aos dias úteis, Terça-Feira destaca-se como o melhor dia da semana com quantidades acima dos 200 metros quadrados. Em relação à análise anual pouco se pode destacar a não ser forte uma aleatoriedade e um mês de Agosto com valores muito baixos devido a férias neste mês por parte da organização.

Na Tabela 10 é possível observar o valor real observado, a respetiva previsão, o erro e o intervalo de confiança associado, nos três exemplos escolhidos de forma aleatória é possível verificar que a previsão encontra-se dentro do intervalo de confiança.

Tabela 10. Comparação da previsão com valores reais.

<b>Data</b>	<b>Valor Real</b>	<b>Previsão</b>	<b>Erro Previsão</b>	<b>Intervalo de Confiança</b>
18/10/2020	0,00	32,16	32,16	[-849,81;899,74]
19/10/2020	506,72	493,56	13,16	[-445,38;1372,99]
20/10/2020	233,76	622,78	389,02	[-308,32;1459,40]

Na Tabela 11 é possível observar um exemplo aleatório de valores previstos e os seus respetivos intervalos de confiança, mais uma vez os valores encontram-se dentro do intervalo o que é um bom indicador para a previsão feita.

Tabela 11. Valores previstos e os respetivos intervalos de confiança.

<b>Data</b>	<b>Previsão</b>	<b>Intervalo de Confiança</b>
26/02/2021	380,53	[-471,16; 1218,14]
27/02/2021	62,52	[-817,04; 965,48]
28/02/2021	76,52	[-758,93; 968,54]
01/03/2021	541,82	[-286,69; 1424,05]

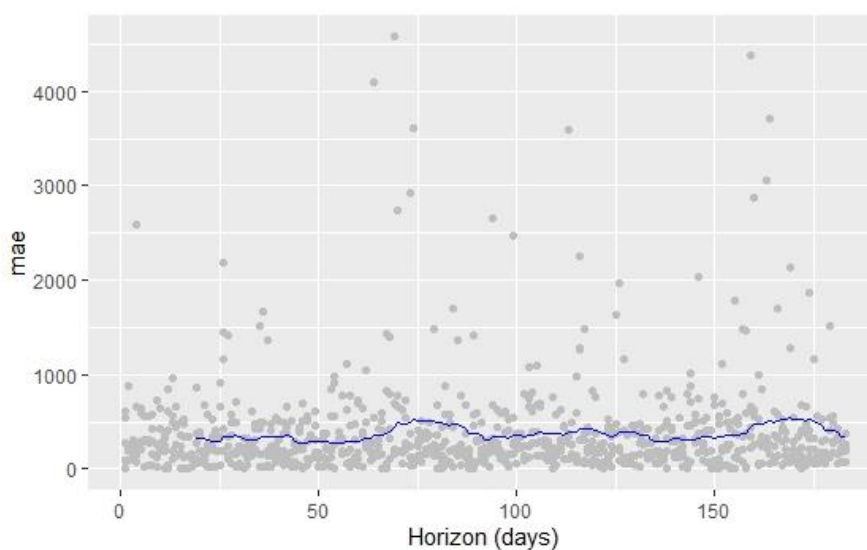


Figura 52. Erro absoluto médio da validação cruzada.



Este método tem ainda a capacidade de realizar uma validação cruzada, ou seja, para um horizonte específico faz previsões com uma periodicidade específica também e compara-as com os valores observados. Neste caso foi realizada uma validação cruzada com uma amostra de 594 dias observados (training data), uma periodicidade de 90 dias (3 meses aproximadamente) para um horizonte de 183 dias (meio ano aproximadamente). Na Figura 52 é possível observar o erro absoluto médio desta validação cruzada, é possível confirmar que tem os valores em torno dos 300 metros quadrados por dia, em alguns horizontes valores mais altos, por exemplo entre os 70 e os 85 dias e entre os 160 e os 175 dias, mas que ainda assim não põem a integridade da previsão em causa, a estabilidade do MAE – mean absolute error - tornam esta previsão aceitável para o seu propósito.

### 3.9. Política de Gestão de Stock

Neste subcapítulo é sugerida uma política de *stock* de produto intermédio de largura"180" com base na previsão realizada no subcapítulo anterior. Tendo em conta a previsão é possível afirmar que a procura média por dia da largura"180" são aproximadamente 341 metros quadrados, ora por semana corresponde a 1706 metros quadrados. Mais uma vez não foi possível determinar ou ter acesso a informação pertinente para os cálculos de políticas de gestão de *stock*, o que acabou por limitar o potencial destes cálculos e do proveito da organização deste subcapítulo. Então a partir deste momento vai ser assumido que o custo de armazenar 1 metro quadrado de produto intermédio de largura"180" durante uma semana corresponde a 1€ (c1), e o custo de encomenda de matéria-prima a 1000€ (c3). A política sugerida com base numa heurística da quantidade económica de encomenda tem alguns pressupostos para que possa ser válida a sua utilização. A procura requerida em cada período tem de estar disponível na totalidade no início desse período e o custo de posse de *stock* é apenas aplicado ao inventário que transita de um período para o seguinte.

Portanto aplicando os dados do problema à fórmula (13) obtém-se:

$$QEE = \sqrt{\frac{2 * 1706 * 1000}{1}} \approx 1847 \text{ metros quadrados}$$

As compras de matéria-prima têm de ser feitas de forma regular e de quantidade fixa de 1847 metros quadrados. Então o planeamento das necessidades líquidas para as 8 primeiras semanas de 2021 será da forma que pode ser observado na Tabela 12:

Tabela 12. Necessidades líquidas.

<b>Semana t</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Procura</b>	1706	1706	1706	1706	1706	1706	1706	1706
<b>Q</b>	1847	1847	1847	1847	1847	1847	1847	1847
<b>I</b>	141	282	423	564	705	846	987	1128

- Custo com reaprovisionamentos =  $8 \times 1000\text{€} = 8000\text{€}$
- Custo de posse =  $(141+282+423+564+705+846+987+1128) \times 1\text{€} = 5076\text{€}$
- Custo total =  $8000\text{€} + 5076\text{€} = 13076\text{€}$

O objetivo é encomendar para conseguir corresponder à procura da própria semana e as quantidades que ficarem em excesso serem armazenadas para a procura da semana seguinte, isto só iria acontecer por volta da semana 13. Neste caso houve um custo associada às 8 encomendas feitas de 8000€ e um custo de posse de stock de 5076€ resultando num custo total de 13076€ para a gestão das 8 primeiras semanas de 2021.

## 4. Conclusões

Em termos de conclusão e de acordo com os estudos realizados neste documento foi possível detetar que os produtos de largura 180 são cruciais para a linha de produção quer em termos de carga de trabalho quer em termos de mais-valias económicas para a organização, por serem os produtos mais procurados pelos clientes. Foi também possível delinear uma nova estratégia para a evolução da linha de produção com implementação de novos parâmetros, que consistem em dar prioridade às encomendas de produtos de largura 180, e/ou aplicação da regra de despacho *Least Setup Time* na distribuição das encomendas pelas máquinas ACOSTA e na criação de um *stock* do subproduto de largura 180, que permite reduzir o tempo de agregação das encomendas de 10 para 5 dias antes de entrarem na ACOSTA. Outro aspeto a salientar é a orientação da produção para produtos mais rentáveis, neste caso em concreto para produtos de largura 90, desde logo claro que a procura acompanhe a produção deste produto. Todas estas melhorias permitem concluir que a linha de produção possui ainda uma grande margem de progressão para a produtividade e eficiência.

Em relação aos trabalhos futuros, a falta de dados reais e precisos tornaram os ganhos deste projeto escassos em relação ao que estava previsto inicialmente, a utilização de dados fidedignos aumentaria os potenciais ganhos destes estudos. Por exemplo na análise de sensibilidade, a introdução do conceito do lucro poderia mudar por completo o panorama daquela análise em questão e as conclusões seriam de certeza mais precisas e com maior proveito para a organização. O futuro passa também por apostar fortemente nas técnicas de previsão da procura e nas políticas de gestão de *stock* pois são técnicas economicamente atrativas com um retorno enorme para a eficiência da linha de produção.

## 5. Bibliografia

- Archer, B. 1980. "Forecasting Demand: Quantitative and Intuitive Techniques." *International Journal of Tourism Management* v.1:5–12.
- Armstrong, J. S. 2001. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. Kluwer Academic Publishers.
- Baciarello, L., D'Avino, M., Onori, R., & Schiraldi, M. M. 2013. Lot sizing heuristics performance. *International Journal of Engineering Business Management*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.5772/56004>
- Castro & Filhos, 2020. <https://www.castrowoodfloors.pt>
- Chan, Chi Kin, Brian G. Kingsman, and H. Wong. 1999. "Value of Combining Forecasts in Inventory Management - a Case Study in Banking." *European Journal of Operational Research* 117(2):199–210. doi: 10.1016/S0377-2217(98)00277-X.
- Chase, R., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. 2005. *Operations Management for Competitive Advantage* (11th ed.): McGraw-Hill.
- Figueiredo. 2007. "E-Commerce: Demand Forecasting And Inventory Management For Short Life Cycle Products." IADIS International Conference E-Commerce.
- Fildes, R., & Beard, C. 1992. "Forecasting Systems for Production and Inventory Control." *International Journal of Operations and Production Management*.
- Gaither, N., Fraizer, G. 2005. *Administração Da Produção e Operações*. 8a ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Ingalls, R. G. 2008. Introduction to simulation. Paper presented at 40th Conference on Winter Simulation, Miami, Florida.
- K. Preston White, J., & Ingalls, R. G. 2009. Introduction to simulation. Paper presented at Winter Simulation Conference, Austin, Texas.
- Kassambara, A. 2017. *Multivariate Analysis I: Practical Guide To Cluster Analysis in R. Unsupervised Machine Learning*. Taylor & Francis Group, 188.
- Kück, Mirko, and Michael Freitag. 2021. "Forecasting of Customer Demands for Production Planning by Local K-Nearest Neighbor Models." *International Journal of Production Economics* 231(June 2020):107837. doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107837.
- Larose, Chantal, Daniel 2014. *Discovering Knowledge in Data*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. p. 167. ISBN 9780470908747.
- Makridakis, Spyros, Wheelwright, Steven C. e McGee, and Victor E. 1998. *Forecasting: Methods and Applications*. 3a ed. John Wiley & Sons.
- Menezes, Raquel. 2014. *Séries Temporais*.
- Mourtzis, D., M. Doukas, and D. Bernidaki. 2014. "Simulation in Manufacturing: Review and Challenges." *Procedia CIRP* 25(C):213–29. doi: 10.1016/j.procir.2014.10.032.
- O'Brien, Rory. 1998. "An Overview of the Methodological Approach of Action Research." *University of Toronto* 1–15.
- OIO-DPS, Escola de Engenharia, Universidade do Minho. 2011. *Investigação Operacional II*.
- Papadourakis G., Spanoudakis G. and Gotsias A. 1993. "Application of Neural Networks in Short Term Stock Price Forecasting." In *Proceedings of First International Workshop on Neural Networks in the Capital Markets*, London, UK, November.
- Pereira, Júlio Cesar Rodrigues. 2004. *Análise de Dados Qualitativos: Estratégias Metodológicas Para as Ciências Da Saúde, Humanas e Sociais*. 3a Edição. edited by Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Prak, Dennis, and Ruud Teunter. 2019. "A General Method for Addressing Forecasting Uncertainty in Inventory Models." *International Journal of Forecasting* 35(1):224–38. doi:

10.1016/j.ijforecast.2017.11.004.

SimpleAxis, 2020. <https://www.simplesaxis.com>

Sinharay. S. 2010. An Overview of Statistics in Education (Penelope Peterson, Eva Baker, Barry McGaw (ed.); (Third Edit). International Encyclopedia of Education.

Shannon, R. E. 1998. Introduction to the art and science of simulation. Paper presented at 30th Conference on Winter Simulation, Washington, D.C.

Wong, W. K., and Z. X. Guo. 2010. "A Hybrid Intelligent Model for Medium-Term Sales Forecasting in Fashion Retail Supply Chains Using Extreme Learning Machine and Harmony Search Algorithm." International Journal of Production Economics 128(2):614–24. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.07.008.

Yenidoğan, I., A. Çayır, O. Kozan, T. Dağ and Ç. Arslan, "Bitcoin Forecasting Using ARIMA and PROPHET," 2018 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), 2018, pp. 621-624, doi: 10.1109/UBMK.2018.8566476.

Zhou, M., Son, Y. J., & Chen, Z. 2004. Knowledge representation for conceptual simulation modeling. Paper presented at 36th Conference on Winter Simulation, Washington, D.C.

## Anexos

Anexo 1. Resultados do modelo inicial.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Fila</b>	<b>Capacity</b>	<b>%Setup</b>
10days1priority	214106	1353,33	1402,51	491,863	352	695	60,516	12,61
5days1priority	220524	1283,42	1323,40	463,216	341	670	61,1237	12,42
10days2priority	281971	826,808	252,00	336,658	59	395	77,5974	7,16
5days2priority	289144	741,847	147,80	305,677	37	364	78,0012	7,03

Anexo 2. Resultados do 2º modelo.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Capacity1</b>	<b>Capacity2</b>	<b>Fila1</b>	<b>Fila2</b>	<b>%Setup1</b>	<b>%Setup2</b>
10dayspriority1	329956	315,3	321,6	120,0	59,0	48,4	48,3	38,75	38,25	8,95	8,87
5dayspriority1	338945	207,4	213,0	77,7	37,9	49,5	49,1	15,30	15,45	9,09	8,98
10dayspriority2	329956	244,7	193,2	92,2	59,0	48,2	48,1	38,75	38,25	5,15	5,13
5dayspriority2	339286	146,2	101,1	53,1	37,0	49,3	48,8	14,90	15,20	5,66	5,61

Anexo 3. Resultados do 3º modelo.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Capacity1</b>	<b>Capacity2</b>	<b>Fila1</b>	<b>Fila2</b>	<b>%Setup1</b>	<b>%Setup2</b>
10dayspriority1	322969	215,65	232,33	79,54	59,00	47,07	46,87	36,90	38,10	1,04	0,86
5dayspriority1	332281	119,30	123,37	42,04	37,00	48,09	47,80	14,50	15,50	1,62	1,36



Anexo 4. Resultados do modelo com fila de espera ótimo para encomendas de largura180.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Capacity1</b>	<b>Capacity2</b>	<b>Fila1</b>	<b>Fila2</b>	<b>%Setups1</b>	<b>%Setups2</b>
10dayspriority1	329864	319,568	225,613	121,985	59	43,774	53,9036	40	37	4,78	6,27
5dayspriority1	336403	169,787	119,147	62,5591	37	56,6706	40,9857	30	9	4,7	6,4

Anexo 5. Resultados do modelo com fila de espera.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Capacity1</b>	<b>Capacity2</b>	<b>Fila1</b>	<b>Fila2</b>	<b>%Setups1</b>	<b>%Setups2</b>
10dayspriority1	327893	442,56	447,934	171,188	67	51,5455	45,8981	77	26	9,9	10,35
5dayspriority1	334382	278,838	288,948	105,675	54	55,271	42,3454	30	23	8,38	11,43

Anexo 6. Resultados do modelo com duas stations.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Capacity1</b>	<b>Capacity2</b>	<b>Fila1</b>	<b>Fila2</b>	<b>%Setups1</b>	<b>%Setup2</b>
10dayspriority1	329956	302,5	318,8	115,0	59	48,3	48,3	8,6	8,6	38,3	38,8
5dayspriority1	338667	200,0	207,8	74,6	38,4	50,2	48,4	8,9	8,7	15,8	15,2
10dayspriority2	329956	239,4	193,0	90,2	59	48,1	48,1	5,0	5,0	38,3	38,8
5dayspriority2	339271	145,3	101,3	52,7	37	49,9	48,2	5,7	5,4	15,3	15,1

Anexo 7. Resultados do modelo com 3 *stations*.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Capacity1</b>	<b>Capacity2</b>	<b>Fila1</b>	<b>Fila2</b>	<b>%Setups1</b>	<b>%Setups2</b>
10dayspriority1	329956	249,80	275,54	94,18	59	47,62	48,52	38,75	38,25	4,20	4,11
5dayspriority1	339301	150,35	164,33	54,92	37	49,57	48,85	14,80	15,20	4,70	4,67
10dayspriority2	329956	226,88	191,92	85,25	59	47,57	48,51	38,75	38,25	2,22	2,19
5dayspriority2	339301	129,94	100,21	46,71	37	49,38	48,71	14,80	15,20	3,07	3,04

Anexo 8. Resultados do modelo 3 *stations* com *Least Setup Time*.

<b>Nome Cenário</b>	<b>Produção</b>	<b>TIS</b>	<b>TIS180</b>	<b>NIS</b>	<b>NIS180</b>	<b>Capacity1</b>	<b>Capacity2</b>	<b>Fila1</b>	<b>Fila2</b>	<b>%Setups1</b>	<b>%Setups2</b>
10dayspriority1	329956	233,07	224,409	84,2888	59	47,5538	48,5134	38,75	38,25	1,01	1,0135
5dayspriority1	339301	121,87	124,663	44,6032	37	49,3839	48,6996	14,8	15,2	1,6815	1,691

Anexo 9. Valores tabelados sobre as larguras.

<b>Largura</b>	<b>Valor Unitário</b>
180	27,5€
90	29,6€
140	28,2€
120	30,1€
220	30,8€
153	26,7€
190	27,7€
250	36,3€
150	35,7€
100	28,7€
192	21,0€
170	28,3€
70	24,8€
160	23,9€
232	20,4€
178	33,2€
110	31,1€
130	25,1€
91	26,0€
200	42€
124	16,8€
152	37,0€

Anexo 10. Valores médios por encomenda para cada largura.

<b>Largura</b>	<b>Quantidade Média por encomenda</b>
180	140 metros quadrados
90	82 metros quadrados
140	132 metros quadrados
120	112 metros quadrados

Anexo 11. Valores de processamento para cada largura.

<b>Largura</b>	<b>Tempo de processamento na inspeção e no corte</b>
180	11,11 segundos por metro quadrado
90	14,28 segundos por metro quadrado
140	22,22 segundos por metro quadrado
120	16,67 segundos por metro quadrado



## Anexo 12. Resultados do modelo linha cheia.

<b>KPI</b>	<b>Resultado</b>
Volume Faturação	17 653 100,00 €
ACOSTA1	99,48%
ACOSTA2	99,48%
Janeiro180	55657
Fevereiro180	51569
Março180	56392
Abril180	53277
Mai180	47880
Janeiro90	30422
Fevereiro90	28351,5
Março90	28208
Abril90	20135,1
Mai90	12447,6
Janeiro140	31092,6
Fevereiro140	28881,6
Março140	30742,8
Abril140	23588,4
Mai140	18823,2
Janeiro120	25860,8
Fevereiro120	23906,4
Março120	25121,6
Abril120	17365,6
Mai120	10018,4

## Anexo 13. Resultados do modelo base.

<b>KPI</b>	<b>Resultado</b>
Volume Faturação	11 162 900,00 €
ACOSTA1	52,9%
ACOSTA2	53,6%
Janeiro180	56357
Fevereiro180	52325
Março180	56553
Abril180	53410
Maior180	0
Janeiro90	0
Fevereiro90	27896,4
Março90	31209,2
Abril90	29077,2
Maior90	0
Janeiro140	30775,8
Fevereiro140	0
Março140	0
Abril140	0
Maior140	30657
Janeiro120	0
Fevereiro120	0
Março120	26829,6
Abril120	0
Maior120	0

## Anexo 14. Resultados da alteração 1.

<b>KPI</b>	<b>Resultado</b>
Volume Faturação	11 300 500,00 €
ACOSTA1	54,36%
ACOSTA2	54,65%
Janeiro180	55461
Fevereiro180	51765
Março180	56182
Abril180	53319
Mai180	0
Janeiro90	0
Fevereiro90	28564,7
Março90	30327,7
Abril90	29241,2
Mai90	0
Janeiro140	20710,8
Fevereiro140	0
Março140	0
Abril140	0
Mai140	20499,6
Janeiro120	0
Fevereiro120	0
Março120	52147,2
Abril120	0
Mai120	0

## Anexo 15. Resultados da alteração 2.

<b>KPI</b>	<b>Resultado</b>
Volume Faturação	11 693 300,00 €
ACOSTA1	59,75%
ACOSTA2	59,64%
Janeiro180	36841
Fevereiro180	34195
Março180	37016
Abril180	34643
Mai180	0
Janeiro90	0
Fevereiro90	56506,2
Março90	61627,1
Abril90	58015
Mai90	0
Janeiro140	31772,4
Fevereiro140	0
Março140	0
Abril140	0
Mai140	30452,4

## Anexo 16. Resultados da alteração 3.

<b>KPI</b>	<b>Resultado</b>
Volume Faturação	12 574 200,00 €
ACOSTA1	62,55%
ACOSTA2	62,52%
Janeiro180	55993
Fevereiro180	51877
Março180	56280
Abril180	54180
Mai180	0
Janeiro90	0
Fevereiro90	27699,6
Março90	30996
Abril90	29347,8
Mai90	0
Janeiro140	23588,4
Fevereiro140	0
Março140	0
Abril140	0
Mai140	23621,4

## Anexo 17. Resultados da alteração 4.

<b>KPI</b>	<b>Resultado</b>
Volume Faturação	15 914 000,00 €
ACOSTA1	82,11%
ACOSTA2	82,88%
Janeiro180	43960
Fevereiro180	40768
Março180	43505
Abril180	41209
Mai180	0
Janeiro90	0
Fevereiro90	95017,5
Março90	100753
Abril90	98486,1
Mai90	0
Janeiro140	31303,8
Fevereiro140	0
Março140	0
Abril140	0
Mai140	31369,8

Anexo 18. Valores das previsões para os primeiros 60 dias de 2021.

<b>Data</b>	<b>Previsão</b>	<b>Limite Inferior</b>	<b>Limite Superior</b>
01/01/2021	293,523409	-596,8535	1150,4523
02/01/2021	0,00000	-922,8775	824,4660
03/01/2021	0,00000	-914,6798	806,5085
04/01/2021	422,916085	-395,4349	1235,7091
05/01/2021	545,529531	-342,1721	1358,4267
06/01/2021	355,575649	-508,7689	1232,5544
07/01/2021	381,513779	-465,3554	1260,3586
08/01/2021	340,932530	-516,9303	1228,8276
09/01/2021	14,168183	-828,6413	891,4713
10/01/2021	16,924062	-851,7087	908,4997
11/01/2021	468,683670	-442,6173	1316,6841
12/01/2021	589,827536	-268,2605	1475,7828
13/01/2021	398,183904	-475,9969	1346,1313
14/01/2021	422,344788	-398,5250	1267,3966
15/01/2021	380,016024	-472,5381	1244,4597
16/01/2021	51,631293	-812,3529	884,3200
17/01/2021	52,968025	-863,8620	890,7803
18/01/2021	503,558111	-398,1044	1392,3050
19/01/2021	623,803442	-283,8557	1469,7599
20/01/2021	431,526421	-432,0905	1359,7182
21/01/2021	455,287008	-418,3925	1335,6676
22/01/2021	412,734856	-454,7143	1242,6741
23/01/2021	84,226433	-739,3621	967,2366
24/01/2021	85,444946	-814,0452	945,4677
25/01/2021	535,815824	-356,1852	1364,6139
26/01/2021	655,627597	-178,5465	1526,8958
27/01/2021	462,588150	-442,9347	1295,2677
28/01/2021	485,147671	-372,7511	1319,3117
29/01/2021	440,856645	-424,5795	1288,3562
30/01/2021	109,988571	-831,2768	966,6759
31/01/2021	108,165000	-804,2357	997,8899
01/02/2021	554,775449	-283,9817	1430,3958
02/02/2021	670,101865	-197,8670	1557,7308
03/02/2021	471,877457	-458,4731	1383,6306
04/02/2021	488,611089	-377,4772	1384,2871
05/02/2021	437,945521	-451,9828	1308,5311
06/02/2021	100,279125	-762,4361	1029,1957
07/02/2021	91,388660	-755,8480	941,3556
08/02/2021	530,845731	-315,2025	1406,8416
09/02/2021	639,136658	-253,5236	1536,2022
10/02/2021	434,215708	-403,5478	1310,5463
11/02/2021	444,823049	-487,4876	1338,6880

12/02/2021	388,835883	-427,6623	1189,6782
13/02/2021	46,882608	-810,7711	852,1201
14/02/2021	34,957841	-783,3074	908,1024
15/02/2021	472,831138	-381,7838	1425,8382
16/02/2021	581,159430	-321,7078	1454,5105
17/02/2021	378,033343	-510,0259	1234,8218
18/02/2021	392,289013	-498,7679	1341,5851
19/02/2021	341,854067	-531,3446	1233,4572
20/02/2021	7,357820	-884,9328	931,1036
21/02/2021	4,743658	-928,3268	823,2760
22/02/2021	453,676603	-398,3595	1337,8471
23/02/2021	574,656118	-301,3775	1531,8499
24/02/2021	385,564390	-488,1846	1226,7188
25/02/2021	414,981667	-402,6715	1299,8084
26/02/2021	380,537275	-471,1670	1218,1427
27/02/2021	62,526251	-817,0458	965,4788
28/02/2021	76,529412	-758,9327	968,5392
01/03/2021	541,829672	-286,6973	1424,0519



Anexo 19. Fluxograma das encomendas. (SimpleAxis, 2020)

