



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Francisco Mateus do Carmo

**SEQUENCIAMENTO E LOTEAMENTO ATRAVÉS
DE SIMULAÇÃO: ESTUDO DE CASO DE UMA
FÁBRICA METALÚRGICA**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão
Industrial orientada pelo Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz e
apresentada no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências
e Tecnologias da Universidade de Coimbra.**

julho de 2022



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Sequenciamento e loteamento através de simulação: estudo de caso de uma fábrica metalúrgica

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Sequencing and lot sizing through simulation: case study of a metallurgical factory

Autor

Francisco Mateus do Carmo

Orientadores

Professor Doutor Samuel Moniz

Engenheiro Tiago Seiça

Júri

Presidente	Professor Doutor Cristóvão Silva
	Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Miguel Vieira
	Professor Auxiliar da Universidade Lusófona
Orientador	Professor Doutor Samuel Moniz
	Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional

SRAM[®] SRAMPORT, Transmissões Mecânicas, Lda

Coimbra, julho, 2022

“Everything is created twice, first in the mind and then in reality.”

Robin Sharma

Aos meus pais, irmãos e namorada.

Agradecimentos

Esta investigação simboliza o culminar de cinco anos de trabalho, um caminho longo, cheios de conhecimento, distrações e aventuras, com a ajuda e apoio de inúmeras pessoas e instituições, às quais não poderia deixar de expressar o meu profundo agradecimento.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador professor Samuel Moniz, pela cooperação e dedicação que demonstrou desde sempre na realização do presente trabalho. Agradecer também aos restantes professores que me cruzei no meu percurso académico. Obrigado por toda a sabedoria partilhada.

Quero também agradecer a toda a equipa da SRAMPort pela oportunidade de puder colaborar e aprender com vocês. Em especial, gostaria de agradecer aos meus orientadores, Tiago Seça, Cláudio Silva e Hélio Palrilha, por se demonstrarem sempre disponíveis e dedicados no desenvolvimento deste trabalho.

À minha família por acreditar em mim, por toda a ajuda e apoio manifestado, obrigado, sem vocês nada disto teria sido possível.

Aos meus amigos, que sempre estiveram presentes. Um grande obrigado, sem vocês não teria sido igual.

Um obrigado à minha namorada pelo seu apoio e cumplicidade, acompanhando-me nos bons e maus momentos.

Por último, obrigado Coimbra!

Resumo

Devido à globalização e ao forte crescimento que encontramos hoje na indústria de produção de componentes de bicicleta, a flexibilidade e a capacidade de resposta rápida são duas das características fundamentais que permitem a uma empresa fazer face à variabilidade do mercado e às exigências do consumidor, ganhando margem em relação aos oponentes. Porém, para manter os níveis de flexibilidade, garantindo a satisfação dos clientes, podem estar implícitos custos adicionais quando não executados de uma forma correta. Assim, esta dissertação, realizada em contexto empresarial, nas instalações da SRAMPort – Transmissões Mecânicas Lda., surge do interesse da implementação de um método de controlo e planeamento estável e capaz de sequenciar a produção, garantindo uma redução nos tempos de *stockout*, sem a necessidade de uma intervenção sistemática como é feita atualmente na fábrica.

Deste modo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, onde foram encontrados estudos que relacionavam o sistema de planeamento e controlo de produção *Kanban*, atualmente utilizado pela empresa onde o trabalho foi desenvolvido, e a prática *Heijunka*. Posteriormente, foi desenvolvido um modelo de simulação de eventos discretos, de modo a estudar o sistema e os parâmetros da metodologia de controlo e planeamento atual. Após analisados os resultados, verificou-se que o principal constrangimento do planeamento atual consistia na quantidade de *stockouts* no sistema. Posto isto, foi realizada uma análise de cenários, onde foi possível identificar quais os efeitos que as alterações de certos parâmetros tinham no *output* do modelo, afetando o sequenciamento de produção.

Foram obtidos resultados positivos, tendo sido descritos cenários que permitem a redução do *stockout* previsto de até setenta e sete por cento, com um possível aumento do nível de *stock* médio, algum acréscimo no volume de lotes no sistema, sem a sua sobrecarga, e aumentos de produção de até dois por cento. No final, foram propostos vários cenários qualificáveis para a implementação em fábrica com melhorias significativas.

Palavras-chave: Planeamento e Controlo de Produção, *Kanban*, *Heijunka*, Sequenciamento, Simulação, Simulação Discreta.

Abstract

Due to globalization and the strong growth, we find today in the bicycle component manufacturing industry, flexibility and quick responsiveness are two of the key characteristics that allow a company to cope with market variability and consumer demands, achieving a margin over its opponents. However, to maintain certain levels of flexibility while ensuring consumer satisfaction, additional costs may be implicit when not executed in a correct manner. Thus, this dissertation, carried out at SRAMPort - Transmissões Mecânicas Lda., results from the interest of implementing a stable planning and control method capable of sequencing the production and ensuring a reduction in stockout times, without the need for a systematic intervention, as it is currently performed in the factory.

Thus, a literature search was conducted, where studies were found that related the *Kanban* production planning and control system, currently used by the company where the work was developed, and the *Heijunka* practice. Subsequently, a discrete event simulation model was developed to study the system and the parameters of the current planning and control methodology. After analysing the results, it was found that the main constraint of the current planning consisted in the amount of stockouts in the system. That being said, a scenario analysis was performed, where it was possible to identify the effects that changes in certain parameters had on the model output, affecting the production sequencing.

Positive results were obtained, where were described scenarios that allow a reduction in the expected stockout of up to seventy seven percent, with a possible increase in the average stock level, some increase in the volume of batches in the system, without overloading it, and production increases of up to two percent. In the end, several scenarios qualifying for factory implementation with significant improvements were proposed.

Keywords Production Planning and Control, *Kanban*, *Heijunka*, Scheduling, Simulation, Discrete Simulation.

Índice

Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Siglas e Acrónimos	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Contextualização.....	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Metodologia.....	2
1.5. Estrutura	3
2. Equadramento teórico.....	5
2.1. Planeamento e controlo de produção	5
2.2. Sistema <i>Kanban</i>	6
2.2.1. Funcionamento do sistema <i>Kanban</i>	6
2.2.2. Dimensionamento	8
2.2.3. Implementação	9
2.3. <i>Heijunka</i>	10
2.4. <i>Kanban – Heijunka</i>	11
2.4.1. Princípio de funcionamento do quadro <i>Heijunka</i>	11
2.5. Simulação de eventos discretos	12
2.5.1. Etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação	14
3. Estudo de caso.....	19
3.1. Empresa.....	19
3.1.1. SRAM	19
3.1.2. SRAMPORT	20
3.2. Caracterização do estado atual	22
3.3. Descrição do problema.....	29
4. Metodologia	31
4.1. Conceptualização do modelo.....	31
4.1.1. Inventário e consumo de inventário.....	32
4.1.2. Tempo de corte e <i>setup</i>	33
4.1.3. Tempo estimado de produção.....	34
4.1.4. Sequenciamento de produção e Origem (<i>Source</i>)	35
4.2. Entidades do modelo	38
4.3. Pressupostos	39
4.4. Medidas de desempenho	41
4.5. Validação.....	45
4.5.1. Considerações finais	50
4.6. Simulador	51
5. Discussão dos resultados obtidos.....	53

5.1. Análise de sensibilidade	53
5.2. Análise para o ano modelo de 2021	55
5.3. Análise para o ano modelo de 2022	57
5.4. Considerações e comparação entre análises	59
5.5. Implementação futura.....	60
6. Conclusão.....	63
6.1. Recomendações.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXO A.....	69
APÊNDICE A.....	71
APÊNDICE B	73
APÊNDICE C	79
APÊNDICE D.....	81
APÊNDICE E.....	83
APÊNDICE F.....	85
APÊNDICE G.....	91
APÊNDICE H.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1- Fluxo do Sistema <i>Kanban</i> adaptado de Sugimori et al. (1977).....	7
Figura 2-2- Processo de funcionamento do <i>Kanban</i> tradicional, adaptado de (Elrhanimi & el Abbadi, 2020).....	9
Figura 2-3- Modelo de Bernegger & Webster (2014).....	12
Figura 2-4- Formas de estudar um sistema (Law, 2015).	14
Figura 2-5- Etapas de um estudo de simulação (adaptado de Law, 2015).....	17
Figura 3-1- Grupo Sram.	19
Figura 3-2- Sram no mundo.	20
Figura 3-3- Layout atual na SramPort no início deste trabalho.....	22
Figura 3-4- Corrente e a sua vista explodida.....	22
Figura 3-5- Cartão <i>Kanban</i>	23
Figura 3-6- Quadro <i>Kanban</i>	23
Figura 3-7- Fluxo de produção de todas as peças soltas.	24
Figura 3-8- Evolução do processo de corte de aço laminado.....	24
Figura 3-9- Máquina de DPE.	26
Figura 3-10- Tratamento térmico delta.	27
Figura 3-11- Fornos CTC.....	28
Figura 3-12- Linhas de Niquelagem.	28
Figura 3-13- Linha de montagem.	29
Figura 4-1- Fluxograma do modelo sugerido.....	32
Figura 4-2- Histograma da família 1 e respetivas medidas estatísticas expressas em minutos.	35
Figura 4-3- Fit de várias distribuições nos dados referentes à família 1.....	35
Figura 4-4- Ilustração de um período de agrupamento de doze dias num ano de simulação.	36
Figura 4-5- Lógica de sequenciamento.	37
Figura 4-6- Lógica de produção mínima.....	38
Figura 4-7- Fluxo de uma entidade de consumo.	38
Figura 4-8- Fluxo de uma entidade de produção.	39
Figura 4-9- Lead time da peça solta “400 31” na simulação.....	43

Figura 4-10- Histograma da Taxa de utilização diária das diferentes prensas, PM2, PM3 e P2H100, respetivamente.	44
Figura 4-11- Tabelas de <i>output</i> do registo de produção na simulação em <i>streamlit</i>	44
Figura 4-12- Interface da simulação.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1- Marcas e produtos respetivos do grupo Sram.	21
Tabela 4-1- Lotes em <i>stock</i> na fábrica no dia 1 de julho de 2020.	33
Tabela 4-2- Aspectos não considerados para o modelo de simulação.....	40
Tabela 4-3- Produção em excesso e quantidade máxima excedida por referência expresse em lotes obtidos na simulação.	42
Tabela 4-4- Comparação do <i>stock</i> médio do sistema real e simulado em lotes.	45
Tabela 4-5- Comparação do WIP médio do sistema real e simulado em lotes.	46
Tabela 4-6- Comparação da quantidade produzida do sistema real e simulado em lotes.	47
Tabela 4-7- Comparação dos <i>lead times</i> do sistema real e simulado.	48
Tabela 4-8- Comparação da taxa de utilização do sistema real e simulado.	50
Tabela 5-1- Cenários para o desenho de experiências.	53
Tabela 5-2- Parâmetros de cada cenário considerado.....	54
Tabela 5-3- Resultados de alguns indicadores dos diferentes cenários para a procura de 2020/2021.	55
Tabela 5-4- Faturação real e possível para o ano 2020/2021.	57
Tabela 5-5- Resultados de alguns indicadores dos diferentes cenários para a procura de 2021/2022.	58
Tabela 5-6- Faturação real e possível para o ano 2021/2022.	59
Tabela 5-7-Comparação dos cenários base face à variação da procura.....	60

SIGLAS E ACRÓNIMOS

BAR – Bariagem Tambores

BRU – Brunissagem

CIS – Cisalhagem (corte de eixos)

CTC – Cementação e têmpera contínua

DPE – Corte e furação de placas

DSG – Desgaseificação

EBS – Bariagem por centrifugação

EDD – *Earliest Due Date*

FCH – Cementação e têmpera

FIFO – *First in first out*

JIT – *Just-In-Time*

KPI – *Key Performance Indicator*

MPS – Plano mestre de produção

MTO – *Make-to-order*

MTS – *Make-to-stock*

NIQ – Niquelagem

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OFE – *Overall Factory Effectiveness*

PLS – Peneiramento, lavagem e secagem

POL – Polimento

REV – Revenido

RVC – Revenido contínuo

SAP – *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung* (sistema integrado de gestão empresarial)

SCC – Lavagem e secagem contínua

SCG – Secagem (Niquelagem)

SEC – Secagem

SMEs – Subject - matter experts

TPS – *Toyota Production System*

TTD – Tratamento térmico delta

WIP – *Work-in-process*

1. INTRODUÇÃO

Esta tese foi elaborada no âmbito do mestrado em engenharia e gestão industrial, para a obtenção de grau de mestre na Universidade de Coimbra, em ambiente de estágio curricular na empresa SRAMPort – Transmissões Mecânicas Lda.

A SRAMPort pertence ao grupo Norte americano SRAM, destacando-se na produção e desenvolvimento de componentes para bicicleta, estando caracterizada como uma das maiores fabricantes mundiais nesta área.

1.1. Motivação

No contexto atual de uma economia globalizada, o planeamento e controlo de produção (PCP) é um tema frequente de discussão, pois representa um papel crucial para a maioria das empresas de produção. O PCP tem como funções típicas manter um equilíbrio entre a procura e a oferta (Stevenson et al., 2005), e representa um elevado contributo na eficiência do sistema produtivo de uma empresa. A empresa deve garantir a melhor forma de acrescentar valor ao produto através de recursos muitas vezes limitados e constrangidos, sujeitos a fluxos de enorme complexidade.

1.2. Contextualização

Frequentemente, vemos a quantidade de produto, seja em quilos, metros ou unidades de produtos produzidos num intervalo temporal ser utilizada como indicador de desempenho, o que por si só advém da capacidade que uma indústria tem disponível e da sua eficiência global (OEE). Numa indústria com a procura em forte crescimento, existe uma grande disputa para o aumento dessa produtividade, de modo a ganhar margens de mercado e aumentar a sua competitividade perante os concorrentes. O plano mestre de produção (MPS, planeamento a médio prazo) e a sequência de operações (planeamento a curto prazo) intervêm ativamente na eficiência global na forma de indicadores, como o trabalho em processo (WIP), *lead* e *throughput times*, de modo que é imperativa a escolha de um sistema de PCP estratégico (Stevenson et al., 2005).

Habitualmente, o plano mestre de produção fornece as necessidades de produção de uma forma preliminar, que deve ser ajustada através de sequenciamento, por forma a praticar os melhores OEE's, sem comprometer a procura.

1.3. Objetivos

Este trabalho é motivado pela necessidade de implementação de uma metodologia estável de sequenciamento numa indústria de produção em forte crescimento, sujeita a um ambiente de procura dinâmica.

Embora já seja um tema bastante explorado em estágios e em ambientes similares, as suas características levam a que, muitas vezes, a aplicação em contexto industrial não seja viável.

Deste modo, este estudo tem como primeiro objetivo determinar a sequência otimizada de produção, através da criação de um modelo de simulação representativo do sistema de produção da empresa. O modelo deve ter como *input* dados de procura com quantidades e datas de entrega definidas para um *mix* de produtos. Como segundo objetivo, implementar a prática *Heijunka*, que irá operar em simultâneo com o sistema *Kanban* já efetivado, o que permitirá uma produção metódica sem ser necessário um ajuste manual frequente.

1.4. Metodologia

A metodologia seguida para estudar este problema passa pelo desenvolvimento de um modelo de simulação de eventos discretos implementado em linguagem *Python*, para definir lógicas de sequenciamento que se adaptem, da melhor maneira, ao sistema real e permitir a análise de diferentes cenários. Após análise interna, chegou-se à conclusão de que o principal *bottleneck* do sistema seria no processo inicial, pelo que se decidiu, de forma agregada, apenas modelar inicialmente esse processo e as suas restrições. Essa decisão partiu, essencialmente, de duas razões: a primeira é, como já referido, o facto deste processo representar o *bottleneck* do sistema, o que sendo um processo inicial e concentrando as restrições do sistema, a melhoria deste processo representaria benefícios a nível global de produção. A segunda, parte da complexidade do sistema, pois apesar de ter havido motivação

para uma exploração mais aprofundada deste problema com soluções um mais complexas, a dinâmica do ambiente em que este estudo foi desenvolvido não o permitiu.

1.5. Estrutura

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, no primeiro capítulo, é apresentada a motivação, os conceitos e o contexto desta dissertação, bem como os objetivos deste trabalho. No segundo capítulo, é apresentado o enquadramento teórico do tema abordado, iniciado pelo conceito de PCP, e a necessidade de uma escolha adequada e implementação do método definido, abordando, posteriormente, as características do método *Kanban* e da prática *Heijunka* e a sua junção, bem como o sequenciamento e alguns fundamentos para a elaboração do modelo de simulação de eventos discretos. No terceiro capítulo, são descritos o problema e o estudo de caso. No quarto capítulo, é abordada a metodologia executada. No quinto capítulo, é realizada a discussão dos resultados obtidos, e, por fim, no sexto capítulo, a conclusão.

2. EQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo, será apresentado o conteúdo que serviu de fundamento para a elaboração deste trabalho. Inicialmente, é introduzido o planeamento e controlo de produção. Seguidamente, é apresentado o sistema *Kanban* e algumas das suas características, seguido da prática *Heijunka* e, posteriormente, a acoplagem destes dois. Por fim, é introduzido o tema de simulação de eventos discretos.

2.1. Planeamento e controlo de produção

Hoje em dia as empresas enfrentam uma grande necessidade de competitividade na sua área, carecendo de uma produção estável, previsível, com qualidade e que não contenha atividades de valor não acrescentado. Deste modo, é necessária uma coordenação eficiente da produção e das atividades de logística, tanto a nível empresarial, como a nível da cadeia de abastecimento onde a empresa está inserida, para garantir uma produção/oferta que melhor represente a procura. No entanto, equilibrar a produção desde o primeiro nível da cadeia de abastecimento com a procura do cliente final torna-se um problema e uma tarefa de grande complexidade (Missbauer & Uzsoy, 2022).

O planeamento e controlo de produção (PCP) tem uma grande importância para a competitividade das empresas de produção, sendo representado por “O planeamento e controlo de produção eficiente é aquele que produz os componentes certos, no momento certo, a um custo competitivo” Spearman et al. (1990).

Para haver forma de dimensionar um sistema de produção, são necessárias previsões, tanto do lado da procura final, como do tempo necessário para o fornecimento dos produtos. A procura que exceda a capacidade de produção necessita de uma produção antecipada. Dessa forma, um método de planeamento e controlo de produção deve representar o sistema que se pretende gerir e o nível de procura que se pretende satisfazer. O PCP consiste em dois fundamentos: o planeamento de produção, que tem como propósito coordenar o fluxo de material dentro de um espaço e tempo, e o controlo de produção, que consiste no processo de monitorização do ambiente, identificando desvios do plano atual.

2.2. Sistema *Kanban*

O *Kanban* tem origem no *Toyota Production System* (TPS). Foi introduzido em 1953, de forma a suportar uma produção *Just-In-Time* (JIT) (Lyonnet, 2010; Parsons et al., 2018).

Desenvolvido pela Toyota com o intuito de obter uma produção *Lean*, o *Kanban* visa otimizar a produção e o controlo do inventário, através da utilização de um cartão visual como formato tangível do planeamento de produção, fazendo referência ao significado da palavra em japonês “*Kanban*” (Sugimori et al., 1977).

O sistema segue uma metodologia *pull*, e é uma forma de gerir o movimento dos materiais entre processos. Cada cartão *Kanban* representa uma ordem de produção de um determinado produto e é executado de acordo com a necessidade do mesmo. Dessa forma, permite manter um fluxo de produção, dando visibilidade do *lead time* e informação de *stock* e *WIP*. Pode ser considerado como ordens de produção, visto que o operador apenas dá início à produção após receber o cartão (el Abbadi et al., 2018; Elrhanimi & el Abbadi, 2020).

O *Kanban* é adequado para procura com pouca variabilidade, produtos de alta qualidade e tempos de entrega elevados (el Abbadi et al., 2018). Segundo Sugimori et al., (1977), é um sistema de controlo para produção JIT que permite utilizar toda a capacidade dos trabalhadores.

2.2.1. Funcionamento do sistema *Kanban*

Um *Kanban* representa uma ordem de fabrico sob a forma de um cartão. Existem dois tipos de *Kanban*: o *Kanban* de produção e o *Kanban* de transferência (Elrhanimi & el Abbadi, 2020; Yang, 2000). O *Kanban* de produção é utilizado como instrução para a operação, enquanto o *Kanban* de transferência é utilizado na movimentação de material entre processos (Lyonnet, 2010), os quais estão sempre interligados a caixas/transportadores.

Quando o conteúdo de uma caixa começa a ser utilizado, o *Kanban* de transferência é retirado dessa caixa, o qual será utilizado pela estação a montante (processo anterior) como uma ordem de fabrico. A estação a jusante (processo posterior), recolhe a montante o material necessário da referência de produto descrita no cartão *Kanban*, e na quantidade exata mencionada. Posteriormente, o *Kanban* de produção referente a essa caixa é retirado, iniciando o ciclo novamente. Nenhum produto ou material deve ser transferido ou movido sem um *Kanban* associado.

Desta forma, existe uma ligação entre todos os processos. Na Figura 2-1, é ilustrado o fluxo de *Kanbans* entre processos.

Cada fase do produto é controlada, para que a quantidade de material em produção (WIP) seja limitada, sendo, assim, reduzidos os custos de inventário (Matta et al., 2005).

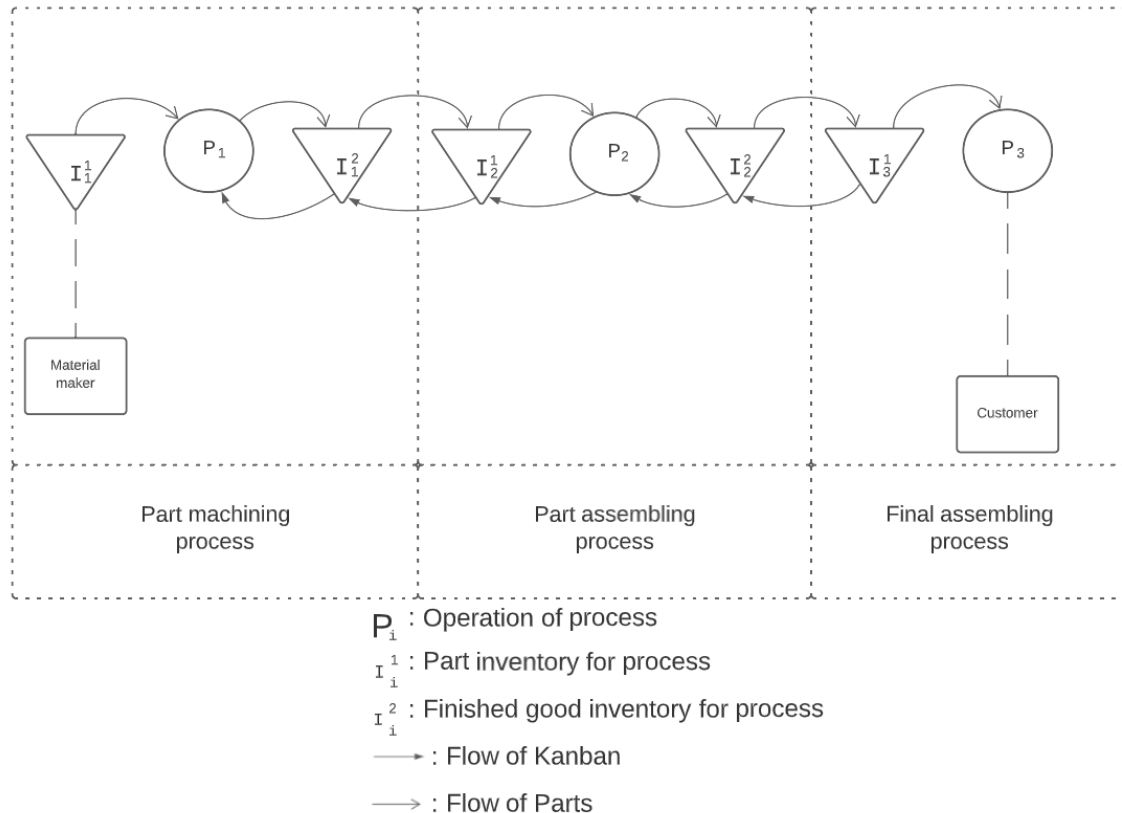


Figura 2-1- Fluxo do Sistema *Kanban* adaptado de Sugimori et al. (1977).

De acordo com Schonberger (1983), o sistema *Kanban* rege-se segundo o seguinte conjunto de regras:

1. Nenhuma peça pode ser produzida, a menos que haja um *Kanban* que o autorize.
2. Existe sempre um *Kanban* associado a cada caixa.
3. As caixas são padronizadas e apenas transportam uma quantidade exata.

Adicionalmente, Schonberger (1983) menciona a necessidade de um dimensionamento da quantidade de caixas, uma vez que este está diretamente relacionado com a quantidade de

material suportável no sistema. Dessa forma, no caso de um dimensionamento não adequado, podem ser gerados custos de inventário não requeridos ou falta de caixas, as quais podem implicar paragens e estrangulamentos na produção.

No entanto, no Sistema da Toyota, é utilizado um conceito japonês, que consiste na remoção de cartões *Kanban* deliberadamente do sistema, de forma a remover inventário (custo) e assim solucionar problemas (Sugimori et al., 1977).

2.2.2. Dimensionamento

Segundo Deng & Wang (2012), nos sistemas de produção tradicionais, para dimensionamento do sistema *Kanban*, são apenas considerados o tempo de informação, o tempo de espera, o tempo de produção e o tempo de transporte.

Já para o *Kanban*, segundo Sugimori et al. (1977), a fórmula que permite dimensionar o número de *Kanbans*, apelidada de “Fórmula da Toyota” (Kumar & Panneerselvam, 2007), consiste em:

$$y = \frac{D(T_w + T_p)(1 + \alpha)}{a} \quad (2-1)$$

Onde y representa o número de *Kanbans*, D a procura por unidade de tempo, T_w o tempo de espera do *Kanban*, T_p o Tempo de processamento, a a capacidade da caixa, α o coeficiente de variabilidade. A procura deve ser considerada constante para o cálculo.

O dimensionamento tem uma elevada importância, demonstrado por Yang (2000) pois, alterando o número de viagens dos operadores, devido à movimentação dos cartões, os tempos de produção (*lead-time*) são fortemente afetados e, por consequência, os tempos de espera dos clientes. Um número superior de cartões permite um transporte superior de lotes/cargas e, conseqüentemente, uma maior eficiência na movimentação entre estações. (Yavuz & Şatir, 1995) mencionam que, ao reduzir o número de *Kanbans* podem ser atingidos níveis de inventário baixos e, em contrapartida, ao aumentá-lo, podem ser provocados acréscimos no WIP, possibilitando melhores níveis de serviço (*Order fill rate*). Deste modo, a diminuição da quantidade de *Kanbans*, com objetivo de atingir níveis de inventário inferiores e, simultaneamente, garantir o produto ao cliente sem atraso, não representa uma atividade fácil.

Segundo (Singh & Brar, 1992), os fatores que afetam o número de *Kanbans* são:

- A capacidade de produção de cada estação, o custo de inventário e de falta de material.

- O WIP permitido de cada produto/referência.
- A relação entre a variabilidade dos tempos de processamento em diferentes máquinas/processos.
- A capacidade de cada caixa (idealmente 10% da procura diária)
- *Lead times*.
- Utilização das máquinas.

2.2.3. Implementação

A implementação do *Kanban* é muito importante, pois representa o objetivo de todo o estudo. De acordo com Elghanimi & el Abbadi (2020), a implementação pode ser baseada nos seguintes aspetos:

- A matéria-prima é armazenada, exclusivamente, em caixas, tendo cada caixa uma quantidade fixa de material/matéria-prima.
- Cada caixa de material tem um *Kanban* correspondente.
- Cada *Kanban* deve conter informação acerca do nome do material em questão, data da receção, identificação da caixa e a data do consumo.
- Deve ser criado um sistema informático para gestão de inventário.
- A encomenda de matéria-prima deve ser feita todos os fins-de-semana.

A Figura 2-2 representa o processo de funcionamento de um *Kanban* tradicional:

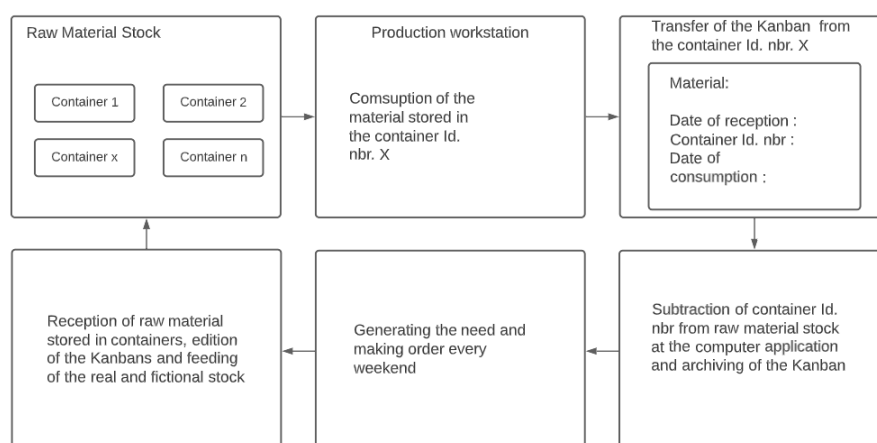


Figura 2-2- Processo de funcionamento do *Kanban* tradicional, adaptado de (Elghanimi & el Abbadi, 2020).

Segundo Schonberger (1983), o sistema *Kanban* apresenta as seguintes limitações:

1. o *Kanban* deve ser aplicado num ambiente JIT;
2. as peças/produtos que fazem parte do sistema *Kanban* devem ser utilizadas todos os dias. Assim, as empresas apenas devem aplicar um sistema *Kanban* para produtos com um grande uso e utilizar outros métodos, como o MRP para os produtos de pouca utilização;
3. produtos com um custo excessivo não devem ser incluídos no sistema *Kanban*.

Segundo Stevenson et al. (2005), o sistema *Kanban* habitual não é capaz de suportar as variabilidades de produtos e a falta de repetibilidade numa produção *make-to-order* (MTO).

Kotani (2007) apresenta uma abordagem de alteração do número de *Kanbans* para uma melhor resposta à variabilidade de alguns produtos, com plano de produção diária que tem em conta um horizonte temporal de até três dias, conseguindo assim melhores resultados.

2.3. Heijunka

O termo *Heijunka*, foi desenvolvido pela Toyota, na década de 1950, sendo uma técnica que assenta na base do sistema *Kanban* e JIT. O significado da palavra é nivelamento, sendo uma das ferramentas *Lean* utilizada por várias empresas de produção. O conceito consiste em evitar picos de variação no planeamento de produção (Spenhoff et al., 2020). É definido por Coleman & Vaghefi (1994) como o esforço de igualar a sequência de produção diária com a procura variada a que os concessionários da Toyota estavam sujeitos. Ou seja, é o termo utilizado para descrever um sistema de produção com um *mix* de produtos com diferentes possíveis sequências de fabrico, a que a mesma linha de produção pode estar sujeita.

Um dos focos desta prática é a forma como são abordadas as variações dos tempos de *setup*, pois representa um dos maiores problemas de uma produção diversificada.

A implementação da *Heijunka* implica a introdução prévia de outras técnicas, como *single minute-exchange of die* (SMED) e mudanças de *setup one-touch* (Coleman & Vaghefi, 1994).

A *Heijunka* pode ser definida como uma prática que protege a produção da variabilidade e volatilidade na sequência de produção a processar.

No entanto, com uma grande variedade de produtos, a implementação da prática torna-se desafiante e até prejudicial, pois nivelar a variabilidade pode não ser estrategicamente desejado. Por vezes, para alcançar competitividade no mercado, uma das estratégias pode consistir na capacidade de resposta à procura do cliente (Hüttmeir et al., 2009). Nesses casos, pode ser necessário a relaxação do *Heijunka*.

2.4. Kanban – Heijunka

Existem muitos estudos acerca de sequenciamento e dimensionamento de sistemas *Kanban* ou número de *Kanbans*. No entanto, estudos em gestão de inventários que sejam complementados pela prática *Heijunka* são escassos.

A maioria dos estudos de dimensionamento de *Kanban* centram-se em três tipos de análise para o dimensionamento dos *Kanbans*: Estudos de simulação, modelos de programação matemáticos e modelos de cadeias de Markov (Akturk & Erhun, 1999; Berkley, 1992; Huang & Kusiak, 1996; Matzka et al., 2012; Sendil Kumar & Panneerselvam, 2007).

Davis & Stubitiz (1987) recorrem à simulação de eventos discretos para a configuração de um sistema *Kanban*. Já Wang & Sarker (2006), utiliza um modelo de otimização *branch and bound* para a resolução de um sistema de cadeia de abastecimento formulado num modelo de programação inteira mista não linear. E Furmans (2005), apresenta um modelo de cadeia básico de nivelamento *Heijunka*, o qual é alvo de um estudo mais aprofundado por Matzka et al. (2012).

2.4.1. Princípio de funcionamento do quadro Heijunka

Um sistema *Kanban* controlado por *Heijunka* funciona similarmente ao sistema *Kanban*. Contudo, enquanto no quadro *Kanban* as ordens de produção são produzidas respeitando um sistema *first in first out* (FIFO), no quadro *Heijunka* as ordens são priorizadas de acordo com a sua importância. O sistema *Heijunka* pode ser dividido em dois quadros: o quadro *Kanban*, também denominado de quadro de acumulação, e o quadro *Heijunka*.

No sistema *Heijunka*, na fase final do ciclo do *Kanban* (retrocesso), o *Kanban* deve ser inserido no *slot* correspondente no quadro *Heijunka*, de forma a criar uma ordem

de produção. Para cada produto, existe uma capacidade limite de ordens de produção disponíveis no quadro de acordo com a sua procura média. O *Kanban* deve ser inserido no primeiro *slot* disponível correspondente. Caso a capacidade limite seja atingida, o *Kanban* segue para o quadro de acumulação, onde, posteriormente, será retirado e enviado para o quadro *Heijunka*, conforme disponibilidade. No primeiro quadro (quadro de acumulação), os *Kanbans* são caracterizados como pedidos em espera, que posteriormente devem ser adicionados ao segundo quadro (quadro *Heijunka*) para produção.

Como é ilustrado na Figura 2-3, existem cinco etapas no modelo de Bernegger & Webster (2014). Inicialmente, o cliente consome os produtos do inventário final de uma forma estocástica. Seguidamente, os cartões retirados desses produtos consumidos são inseridos no quadro de acumulação, onde é feita uma monitorização, do qual, posteriormente, devem seguir para o quadro *Heijunka*. Por fim, existe uma produção tendo em conta a sequência definida nesse quadro e enviado para inventário onde se repetirá o ciclo.

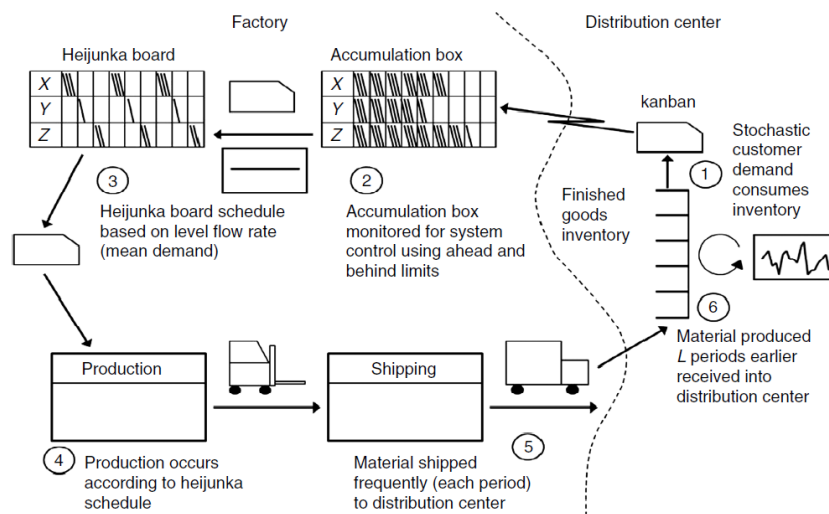


Figura 2-3- Modelo de Bernegger & Webster (2014).

2.5. Simulação de eventos discretos

A simulação é uma das técnicas mais utilizadas para o estudo na gestão de operações (Law, 2015). Um modelo é a representação de um sistema, podendo ser

matemático, descritivo, lógico, ou uma mistura destes três (Banks & Carson II, 1986). O sistema é um conjunto de variáveis, pessoas ou máquinas, que agem e interagem entre si de modo a atingir um objetivo (Schmidt & Taylor, 1970).

A modelação é o processo de criar um modelo representativo de um sistema, existindo um *tradeoff* entre o realismo e a simplicidade (Maria, 1997). Um modelo deve representar, de uma forma simplificada, o sistema real, não contendo complexidade que o torne de difícil compreensão. Contudo, deve ser uma boa aproximação à realidade e conter as principais características, “*all models are wrong but some are useful*” – George Box. Existem diversas opiniões que suportam a boa prática no aumento de complexidade de forma incremental no modelo.

Um dos propósitos da utilização de modelos de simulação virtuais, é a possibilidade de prever os efeitos que as alterações podem ter num sistema representativo do real, dado que a análise de alterações num sistema real é muitas vezes impossível, devido a níveis monetários e/ou disruptivos.

A simulação é uma ferramenta que permite avaliar o desempenho de um sistema, existente ou proposto, podendo ser analisados efeitos prévios à sua implementação, de forma a reduzir a possibilidade de falha e dando visibilidade a possíveis estrangulamentos, prevenindo assim a sub ou sobre utilização de recursos.

Existem várias metodologias possíveis para o estudo de um sistema, sendo estas: através do sistema atual, onde usualmente existem custos e riscos elevados associados; ou com um modelo desse sistema, como o ilustrado na Figura 2-4. O modelo, por sua vez, pode ter duas vertentes, a vertente física e matemática, sendo os modelos matemáticos usualmente os mais indicados para o estudo de gestão de operações e análise do sistema, representando o sistema de uma forma lógica e quantitativa e de possível manipulação, de modo a observar o seu comportamento, e o do modelo que está a representar. Dentro dos modelos matemáticos, existem os modelos analíticos e os modelos de simulação. Quando existem modelos analíticos para um modelo matemático, que sejam computacionalmente eficientes, é aconselhada a sua utilização. Conquanto, quando existe uma grande complexidade, não sendo possível atingir os objetivos de uma forma matematicamente eficiente, a simulação é o caminho sugerível.

Os sistemas podem ser caracterizados em dois tipos: como eventos discretos ou contínuos. Um sistema discreto é aquele onde as variáveis de estado se alteram

instantaneamente em diferentes espaços de tempo. Um sistema contínuo é aquele onde as variáveis de estado são alteradas de acordo com o tempo. A decisão do modelo a utilizar deve ter como base os objetivos e o sistema a modelar (Law, 2015). Essas alterações são provocadas por eventos, sendo um evento definido como um acontecimento que pode alterar o estado do sistema.

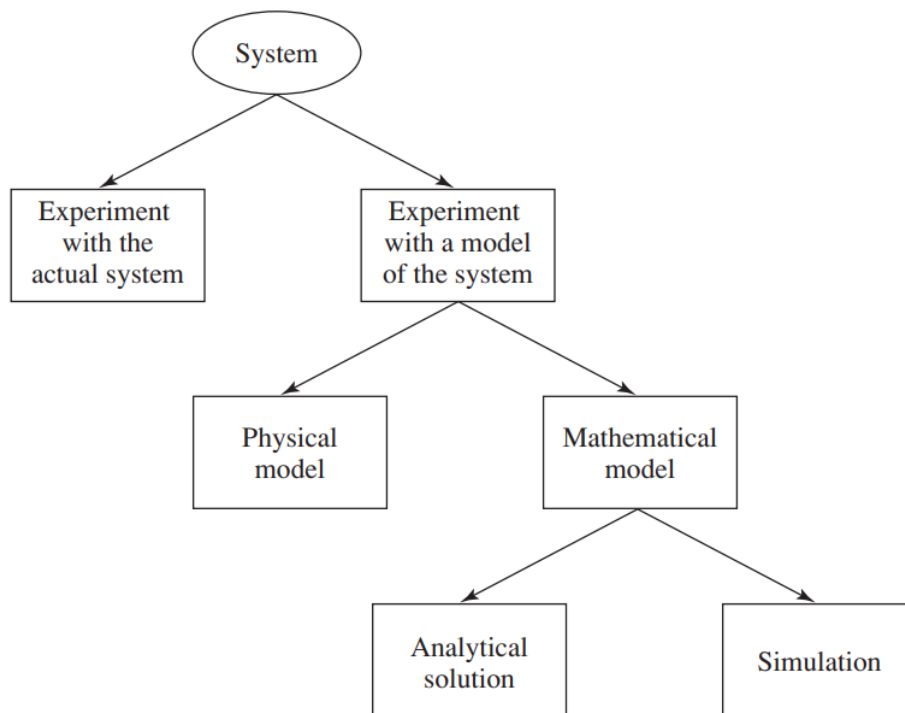


Figura 2-4- Formas de estudar um sistema (Law, 2015).

2.5.1. Etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação

Existem várias etapas na criação de um modelo de simulação, como é demonstrado na Figura 2-5, podendo ser elas definidas por:

1. Formulação do problema e planejamento do estudo:
 - a. Definição geral dos objetivos;
 - b. Questões que devem ser respondidas no modelo de simulação, o que permite determinar o nível de detalhe do modelo;
 - c. Medidas de desempenho que devem ser avaliadas;
 - d. Perspetiva do modelo;

- e. Configurações do sistema a serem modeladas;
 - f. Intervalo de tempo a ser modelado.
2. Recolha de dados e definição do modelo:
- a. Recolha de informação da estrutura do sistema e procedimentos de operação;
 - b. Recolha de dados, de modo a especificar distribuições de probabilidades de parâmetros e *inputs*;
 - c. Recolha de dados de desempenho do sistema atual (para motivos de validação na etapa 6);
 - d. Criação de um documento de pressupostos;
 - e. Definição de um o nível detalhe do modelo que deve depender de:
 - Objetivos do projeto;
 - Medidas de desempenho;
 - Dados disponíveis;
 - Preocupações de credibilidade;
 - Restrições computacionais;
 - Opiniões de especialistas no assunto (SMEs);
 - Restrições monetárias e de tempo;
 - f. Não deve haver uma correspondência de um para um entre cada elemento do modelo e elemento do sistema;
 - g. O modelo deve iniciar simples e ter um aumento incremental de complexidade, caso necessário;
 - h. Deve haver uma interação com o gestor do sistema real.
3. Está o documento das suposições válido?
- a. Os pressupostos devem ser analisados e verificados;
 - b. Promoção da interação entre os membros do projeto;
 - c. Deve ser feito antes do modelo ser iniciado, para prevenir a reprogramação;
 - d. Em caso de invalidade, a segunda etapa tem de ser revista.
4. Construção do programa e verificação:
- a. Programação de um modelo em linguagem de programação. O benefício da linguagem universal de programação é ser de fácil

- acesso, controlo e manipulação por qualquer pessoa conhecedora da área;
 - b. Fazer *debug* do modelo.
5. Corrida de simulações
- a. Fazer várias corridas para propósitos de validação na etapa 6.
6. O programa está válido?
- a. Se existir um sistema real, o modelo e o sistema devem ser comparados através de medidas de performance retiradas do sistema real;
 - b. A análise do sistema deve ser feita pelos SMEs, de forma a corrigir parâmetros;
 - c. Devem ser utilizadas análises de sensibilidade, para determinar fatores do modelo que tenham impacto significativo no desempenho do modelo e, deste modo, tenham de ser modeladas com especial atenção;
 - d. Em caso negativo, a segunda etapa deve ser revista.
7. Desenho de experiências:
- a. Alterar configurações que tenham interesse para o modelo:
 - o Tempo de simulação;
 - o Tempo de arranque a considerar caso necessário;
 - o Número de simulações independentes, aplicando variabilidade no modelo, ajuda na criação de graus de confiança no modelo.
8. Corridas de produção e análise do output:
- a. Fazer corridas de produção para utilização na etapa 9;
 - b. Analisar os dados de *output*:
 - o Determinar o nível de desempenho que deve ser considerado como apropriado;
 - o Comparar configurações de sistemas alternativos.
9. São necessárias mais corridas?
- a. Após a análise anterior, caso o output não seja considerado ideal a sétima etapa deve ser reiniciada.
10. Elaboração do documento:

- a. Devem ser considerados a documentação dos pressupostos, o modelo computacional, os resultados do estudo para utilização no modelo atual e os projetos futuros;
- b. Apresentar os resultados do estudo:
 - O modelo deve ser apresentado interactivamente aos gestores e outras pessoas que não estejam familiarizadas com os detalhes do modelo;
 - Discutir o método de construção e o processo de validação do modelo, para promover a sua credibilidade;
 - Os resultados podem ser utilizados para a tomada de decisões, caso se encontrem simultaneamente válidos e credíveis.

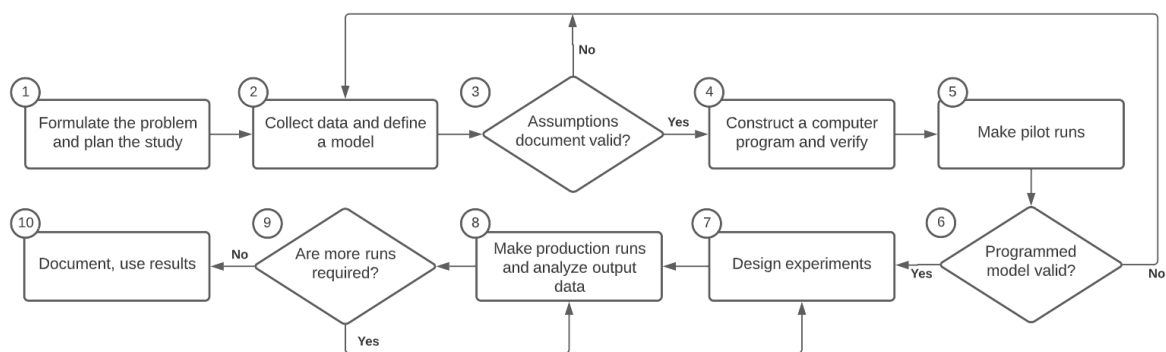


Figura 2-5- Etapas de um estudo de simulação (adaptado de Law, 2015).

A simulação pode ser utilizada para avaliar o desempenho sistemas *Kanbans*, ao testar diferentes configurações, de forma a otimizar o sistema (Matzka et al., 2012).

3. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, serão apresentados o grupo e a empresa onde foi desenvolvido este trabalho, sendo também exposta uma análise do sistema atual do ambiente em questão, descrevendo-se o problema que gerou motivação para a elaboração deste trabalho.

3.1. Empresa

3.1.1. SRAM

A SRAM, empresa multinacional norte-americana, é especializada na produção de componentes de bicicleta. Foi fundada em 1987, inserindo no mercado o seu primeiro produto em 1988. Em 1995, foram lançados outros produtos, tais como desviadores traseiros e mudanças manuais. A capacidade de produção do sistema completo de mudanças de velocidade (sistema de transmissão) das bicicletas permitiu à empresa um grande avanço tecnológico. Sucederam-se aquisições de algumas unidades produtivas da Sachs, e de empresas de renome a nível mundial, tais como, RockShox, Truvativ, Zipp e Quarq, que viabilizam uma produção quase completa de uma bicicleta, tornando a SRAM na segunda maior fabricante mundial de componentes de bicicleta.



Figura 3-1- Grupo Sram.

Atualmente, tem presença física em nove países, com vinte fábricas e escritórios, que alojam cerca de três mil e trezentos colaboradores. Adicionalmente, o grupo Sram dá importância a atividades de cariz social, tendo fundado a organização Sram Cycling Fund, que promove a criação de infraestruturas e o desenvolvimento dos países onde está presente, e distingue-se como parceira principal da World Bicycle Relief, cuja visão é inspirar todos

os setores a atender às necessidades de transporte de quase um bilhão de pessoas que necessitam de mobilidade, para ter acesso à escola, ao trabalho ou à saúde.



Figura 3-2- Sram no mundo.

3.1.2. SRAMPORT

A SRAMPORT foi inicialmente fundada em 1968, sob o nome Transmecca - Transmissões mecânicas -, detida pelo grupo Renault e por um empresário português, e dedicava-se à produção de transmissões mecânicas para o setor automóvel.













Em 1980, passa a ser adquirida, na totalidade, pela Renault, e posteriormente, pela Fichtel & Sachs, produtora de bicicletas, motocicletas, automóveis e alguns dos seus componentes, passando, mais tarde, com a aquisição da Sachs por parte da multinacional americana SRAM, a pertencer ao grupo SRAM, centralizando a produção no segmento de bicicleta, denominando-se “SRAMPORT: transmissões mecânicas”. Após a entrada no grupo, modificou o seu principal objetivo, expandindo a produção de transmissões mecânicas para produção de componentes de bicicleta.

Atualmente, a SRAMPORT, mantém o foco na produção de correntes para bicicleta, tendo adquirido conhecimentos que totalizaram mais de quarenta anos no setor,

sendo a única unidade fabril do grupo no mundo especializada na produção de correntes. No entanto é também produtora de vários componentes de bicicleta, tais como pedais e rodas. Num futuro próximo, pretende atingir valores que rondam os quinze milhões de metros de corrente produzida anualmente, e cinquenta mil rodas.

A SRAMPORT está dividida, grosso modo, em três unidades, sendo elas: os escritórios, a fábrica que aloja todo o processo produtivo das correntes, desde a matéria-prima até ao produto final, e outro armazém temporário, onde é feita a produção dos outros componentes, como pedais, cubos e rodas.

Tabela 3-1- Marcas e produtos respetivos do grupo Sram.

Product	Sample products	Brand
Shifters		SRAM
Derailleurs		SRAM
Brakes		SRAM 
Cassettes		SRAM
Chains		SRAM
Cranksets		SRAM TRUVATIV
Suspension		
Bars & Seatposts		TRUVATIV ZIPP
Guides & Pedals		TRUVATIV
Wheelsets		ZIPP
Power Measure		QUARQ

3.2. Caracterização do estado atual

Uma vez que o foco da empresa está na produção de correntes esta dissertação está centrada nesse mesmo tema.

O sistema produtivo das correntes pode ser dividido por duas grandes zonas: a primeira, a zona de produção das peças soltas, ilustrada na Figura 3-3, onde são produzidos os produtos caracterizados como peças soltas, que constituem a corrente final.

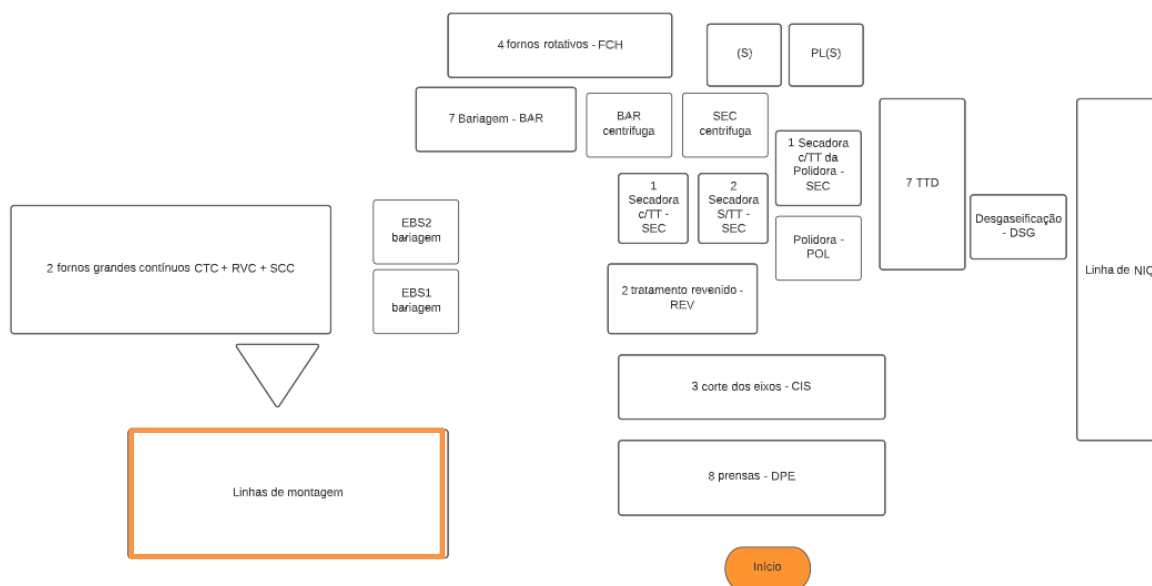


Figura 3-3- Layout atual na SramPort no início deste trabalho.

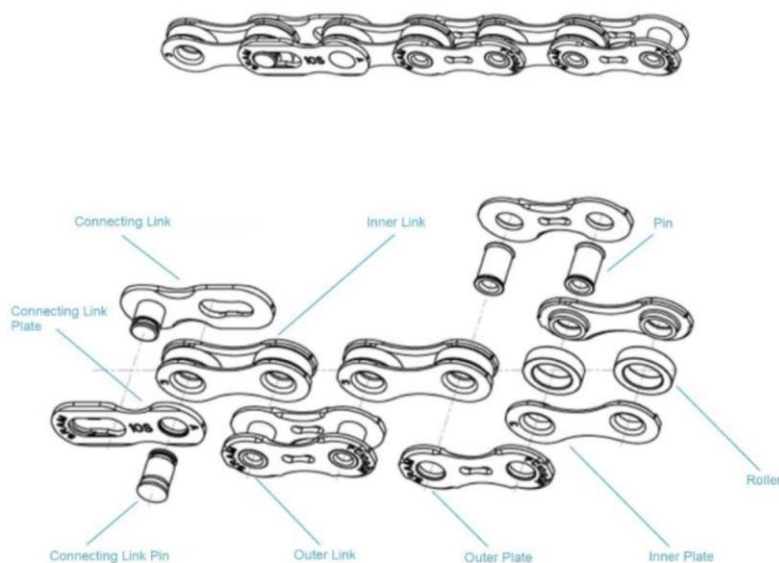


Figura 3-4- Corrente e a sua vista explodida.

Uma corrente é constituída por seis categorias de peças: as placas exteriores, as placas interiores, os eixos, os rolos, placas de fecho e eixos de fecho, que após tratamentos térmicos e químicos são acumulados em *stock* para consumo na segunda divisão, a produção da corrente. Atualmente, existem trinta e uma categorias de correntes distintas, que totalizam oitenta e duas peças soltas distintas. Cada peça solta (*child*) está associada a uma ou mais correntes (*parent*), sendo possível organizar as correntes e as respetivas peças soltas por velocidade (pode ser consultado no ANEXO A).

O fabrico é controlado por um sistema *Kanban*, que interliga as duas zonas.

A produção nas peças soltas segue um método *make-to-stock* (MTS), onde são inseridos os cartões *Kanban* quando iniciado o lote, referenciando a peça solta, o aço, a data, os processos a executar, entre outros. Na segunda zona, as linhas de produção de corrente final produzem conforme o plano mestre de produção, seguindo uma produção MTO, que faz o consumo do inventário das peças soltas. Após o consumo total do lote, o *Kanban* é reenviado para o processo inicial.



Figura 3-5- Cartão *Kanban*.



Figura 3-6- Quadro *Kanban*.

O fluxo de produção nas peças soltas ilustrado na Figura 3-7 é bastante complexo, como se pode observar.

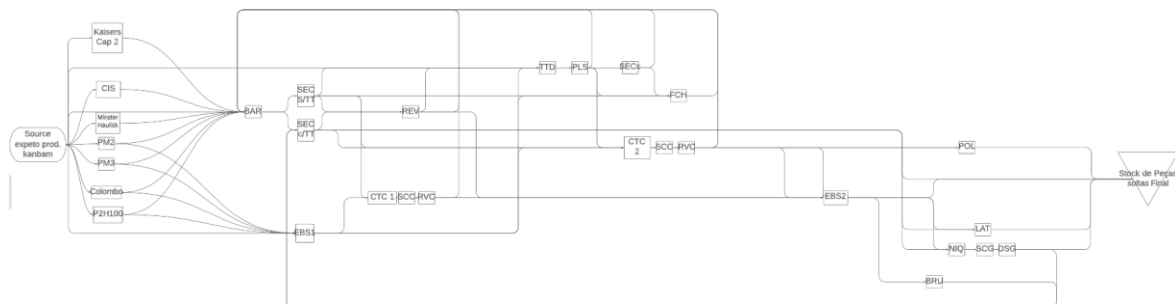


Figura 3-7- Fluxo de produção de todas as peças soltas.

Inicialmente, a matéria-prima pode chegar de três formas: sob aço laminado em grandes rolos de bobine a ser utilizado no fabrico das placas exteriores, interiores e de fecho; sob aço trefilado, que é utilizado para o fabrico de alguns eixos; e, sobre a forma final, como é o caso dos rolos que não são produzidos localmente.

As prensas de corte e perfuração das placas (DPE) são máquinas de grandes dimensões, alimentadas pelo aço laminado onde este é estampado, dando figura às diversas formas de placas. O corte é feito de uma forma progressiva, podendo ser decomposto em quatro módulos, que representam uma etapa no corte e são específicos a um conjunto de peças. Na Figura 3-8, é visível todo o processo de evolução do corte.

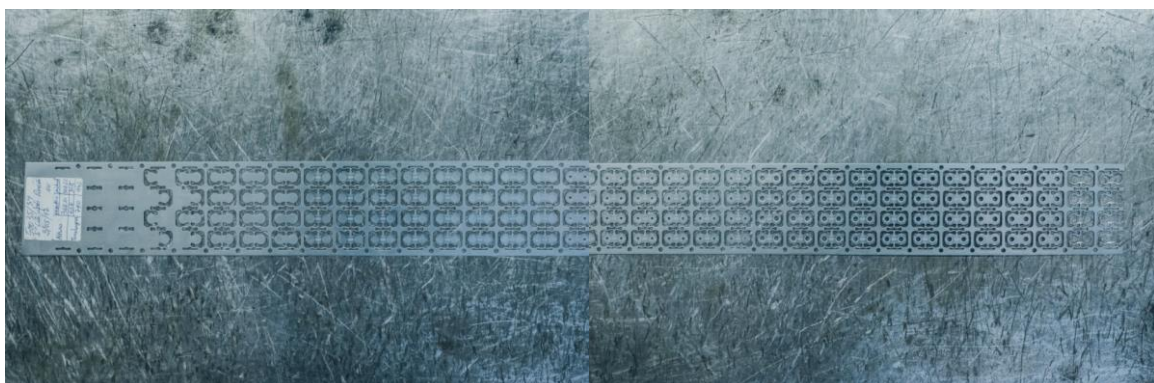


Figura 3-8- Evolução do processo de corte de aço laminado.

Atualmente, as prensas DPE podem ser divididas em dois grupos devido à sua lógica de alocação: o primeiro grupo, composto pelas prensas PM2, PM3, P2H100 e Colombo, produz peças soltas específicas a si, ou seja, as peças soltas produzidas pela DPE

PM2 são produzidas unicamente e exclusivamente por essa prensa. No segundo grupo, estão inseridas as prensas Kaiser um, Kaiser dois, Minster e Haulick, não existindo restrições de especificidade de produção das peças soltas, no entanto, para otimizar o fabrico, é feita uma alocação das peças soltas, tendo em conta os tempos de *setups* associados e os volumes de produção. Adicionalmente, está ainda prevista a aquisição de duas prensas, Kaiser três e Kaiser quatro.

Para a alteração de peça solta a ser fabricada, são necessárias algumas mudanças de fabrico. Pode haver sete tipos de mudança (*setup*'s) nas prensas DPE ao alterar o produto:

- Tipo 1 - Mudança de aço (aço laminado);
- Tipo 2 - Mudança de marcas;
- Tipo 3 - Mudança de aço e marcas;
- Tipo 4 - Mudança de marcas e um módulo, ou mudança de aço e dois módulos;
- Tipo 5 - Mudança de marcas e dois módulos, ou mudança de aço e três módulos;
- Tipo 6 - Mudança de aço e quatro módulos;
- Tipo 7 - Mudança de aço, quatro módulos e carcaça.

Cada mudança entre um produto (lote antes) e outro produto (lote depois) tem um tipo de mudança tabelado e um tempo estipulado/previsto de mudança.

Devido à geometria da referência a produzir e ao tipo de aço, a quantidade de placas produzidas por golpe da prensa é variável. Adicionalmente, a velocidade de corte varia consoante a prensa, consequentemente, o tempo de produção de um lote varia conforme a máquina e a referência a ser produzida.

O peso de cada lote é, habitualmente, de duzentos e cinquenta quilos para as placas, pois representa o tamanho de lote *standart*, para não atingir limites do processo. Todavia, existem produtos como as placas de fecho que, usualmente, para cada mil metros de corrente, são necessárias, em média, mais de mil e duzentas placas, enquanto uma placa exterior está contida setenta e oito mil setecentos e quarenta vezes por mil metros de corrente, ou seja:

$$1000 \text{ metros corrente} = 1200 \text{ unidades de "440"} + 78740 \text{ unidades de "400"}. \quad (3-1)$$

Contudo, existem referências que, devido à necessidade de subcontratação, são produzidas em lotes de grandes dimensões (duzentos e cinquenta quilos), de modo a reduzir

o custo. As dimensões de alguns lotes de eixos também são inferiores e variam conforme o modelo, e se a produção é local ou não. O tamanho de lote de eixos, habitualmente, segue valores múltiplos das cargas nos fornos, que varia conforme a referência.



Figura 3-9- Máquina de DPE.

Nas cisalhas (CIS), o aço utilizado é o aço trefilado para a produção dos eixos. As CIS são o processo de corte dos eixos, com menores restrições, visto que são produzidas poucas referências de eixos. Atualmente, são produzidos eixos de uma, sete, oito e nove velocidades, sendo os restantes eixos produzidos por subcontratação.

O processo de Bariagem é um processo de tratamento de superfície e desengorduramento, onde são eliminados alguns defeitos das peças como rebarbas ou óxidos acumulados na superfície, e retirado óleos em excesso. Existem dois tipos de máquina onde esta etapa pode ser executada, a BAR e a EBS. Na primeira, a BAR, apenas é possível o processo de lavagem, sendo posteriormente necessário recorrer à SEC, para secagem das peças. Na segunda, na EBS, o processo de lavagem e secagem estão integrados, tendo este a particularidade de ser semiautomático, não necessitando de intervenção humana no manuseamento entre esses dois processos. Este último apresenta a particularidade de ser um processo mais rápido em relação ao anterior. Contudo, contém algumas restrições de produção adicionais, pois não podem ser produzidos produtos como placas (exteriores ou interiores) mais finas, com onze e doze velocidades, ou ainda eixos que devem ser alvo de um processo que permita formar “arredondismo” (criar um raio no topo dos eixos que facilita o cravamento), ou ainda, quando se pretende atingir acabamentos com menor rugosidade.

Existem também peças soltas, como placas de fecho e eixos ocos que não podem ser tratados na EBS, devido ao processo de secagem.

O processo seguinte, como já foi referido, é o de secagem (SEC), onde as peças são imersas em *sorbolux* e alvo de vibrações, para serem secadas e polidas. Novamente, devido à geometria dos eixos, o processo tem que ser executado numa máquina similar, mas exclusiva para estes produtos (SEC centrífuga). A SEC não só faz a secagem, como também garante polimento superficial.

O processo de revenido (REV) consiste numa estação onde é feito um tratamento térmico, ao qual os rolos e grande parte dos eixos são sujeitos, com o objetivo de aliviar tensões residuais.

O processo de tratamento térmico delta é um processo térmico onde as peças são sujeitas a altas temperaturas, em conjunto com uma mistura que contém crómio (TTD).

Após o TTD, segue-se a passagem à estação de Peneiramento, Lavagem e Secagem (PLS). Nesta estação, as peças são peneiradas, como forma de remoção da mistura introduzida no processo anterior, seguida de uma lavagem a jato, e por fim, de uma secagem. Na secagem, similarmente à SEC, os produtos que não podem ser processados, recorrem à SEC centrífuga.



Figura 3-10- Tratamento térmico delta.

Entrando nos fornos, existem dois tipos de fornos: fornos contínuos (CTC) e fornos carga a carga (FCH). Nos fornos contínuos, onde o lote é carregado e sujeito a um tratamento térmico de austenitização, seguido de um banho de tempera e, por fim, lavagem e secagem. Existem, atualmente, dois fornos/linhas deste tipo, onde algumas peças apenas

podem ser processadas pela segunda linha, devido à concentração de polímeros do banho de tempera, estando prevista a introdução de outro forno CTC. Nos fornos FCH, o lote é usualmente distribuído por dois fornos. Estes fornos têm a particularidade de serem processos mais lentos, pois a cada carga é necessário o aquecimento para a criação de atmosfera ideal para tratamento e, posteriormente, introduzidos num banho de arrefecimento/tempera. Estes fornos permitem um arrefecimento a óleo e a água.



Figura 3-11- Fornos CTC.

Os processos de niquelagem (NIQ), e polimento (POL) e brunissagem (BRU) são processos finais executados, com a objetivo de melhorar o visual das peças e conferir diferentes aspetos. Na linha de niquelagem, as peças são sujeitas a vários banhos, secadas e por fim desgaseificadas. No decorrer desde trabalho, foi adquirida mais uma linha de niquelagem. No polimento, as peças são polidas e, posteriormente, são secas numa SEC específica a este processo. A brunissagem é um processo subcontratado, onde as peças são enviadas para o estrangeiro e retornam para se finalizar a produção.



Figura 3-12- Linhas de Niquelagem.

No processo final, na linha de montagem, os produtos são selecionados do inventário e produzida a corrente final que será posteriormente cortada e embalada conforme as encomendas. No início deste estudo, o sistema tinha sete linhas de produção, tendo vindo a aumentar para oito no decorrer do mesmo, e ainda com previsão de expansão de duas novas linhas.

É de notar que não foram explicitadas todas as restrições de todos os processos, pois não apresentavam interesse relevante para o estudo em questão.



Figura 3-13- Linha de montagem.

3.3. Descrição do problema

Atualmente, as linhas de produção de corrente fabricam de acordo com as necessidades do plano mestre de produção (MPS) que, agrupado em velocidades, gera necessidades nas peças soltas através do sistema *Kanban*.

Contudo, devido à variabilidade a que o MPS está sujeito, existem por vezes semanas em que, para uma determinada corrente, há uma elevada procura, e, em oposição, outras semanas onde não existe procura para essa mesma corrente. Dito isto, estando o sistema de controlo dimensionado para uma procura média, e tendo características pouco flexíveis, não funciona corretamente. Devido a esta variabilidade, são necessários ajustes na quantidade e qualidade dos *Kanbans*, de forma a sequenciar a produção, sem que haja atrasos nem ruturas de *stock*. De igual modo, é frequentemente necessária a inserção de cartões *Kanban* e a remoção de outros.

Um outro motivo para o mau funcionamento do sistema de controlo são as peças soltas que têm baixa procura. Não tendo volume de procura cíclico nem constante, não são adequadamente geridas pelo sistema. Por exemplo, peças soltas como placas de fecho, que podem ter, em média, uma procura anual de cerca de um lote, não são apropriadas para seguir

um sistema de produção *Kanban*. Nesses casos, é feita a inserção no quadro *Kanban*, conforme a necessidade e a remoção do cartão após produção, ou seja, um *Kanban* de um ciclo.

O planeamento de produção é executado de acordo com regras empíricas e experiência dos colaboradores e gestores de produção, conforme as necessidades prioritárias. Assim, fatores como *stock* físico, WIP, velocidade e sequência de produção na linha são avaliados com o intuito de gerar um plano de produção, não seguindo uma base metódica.

O sistema *Kanban* está implementado há cerca de vinte anos, tendo sofrido algumas alterações e adicionado cerca do dobro das peças soltas inicialmente produzidas. Devido à situação pandémica e a outros motivos, a procura teve um grande aumento, pelo que há conhecimento das necessidades de produção de, pelo menos, dois anos adiante. O espaço disponível para o armazenamento do *stock* intermédio manteve-se ao longo dos anos. Deste modo, o bom funcionamento do sistema *Kanban* torna-se impraticável, devido à impossibilidade de acumulação de *stock* habitualmente gerido pelo sistema *Kanban*.

Adicionalmente, devido às características do processo global, são necessárias produções de grandes dimensões, isto é, os lotes de uma peça solta não devem ser produzidos unitariamente. Deste modo, é necessário existir um agrupamento de acordo com uma produção mínima de forma a manter produções em quantidades aceitáveis, minimizando o tempo de *setups* e atingindo níveis de OEE ideais. Assim, não é possível uma produção *first in first out* (FIFO), o que a torna pouco flexível, e adiciona uma maior complexidade no processo de planeamento.

Deste modo, este trabalho é motivado pela necessidade de implementação de um sistema de planeamento e controlo de produção, que tenha em conta as necessidades das linhas de produção, as restrições de sequenciamento e *setup* de produção do sistema, nomeadamente das DPEs do primeiro grupo (PM2, PM3, P2H100), pois é aí que estão concentradas as maiores dificuldades do planeamento.

A fábrica opera semanalmente com três turnos de oito horas, exceto aos sábados e domingos, com a possibilidade de haver turnos ao sábado, quando necessário.

O facto de existirem referências com o mesmo fluxo de produção permite um agrupamento e análise por família de fluxo, consentindo uma redução para vinte famílias de fluxo demonstradas no APÊNDICE A.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo, é apresentada a metodologia desenvolvida para o estudo do problema em questão.

Considerando que o planeamento e o controlo de produção praticado na empresa exige muitos recursos e, devido à complexidade do processo produtivo, não é atingida uma boa visibilidade do processo produtivo global. Desse modo, a utilização de um modelo de simulação de eventos discretos representa um grande benefício e é mais adequado perante os modelos matemáticos ou heurísticos. No entanto, a metodologia utilizada para o sequenciamento de produção representa a capacidade de planeamento e *know-how* de anos de experiência de vários profissionais, representando um grande interesse para este estudo. Através de um modelo de simulação, foi possível representar o sistema atual, tendo como objetivo analisar e definir um modelo de planeamento e controlo de produção, que tenha em conta as necessidades das linhas de produção, as restrições de processo e sequenciamento do sistema.

O modelo deve permitir visibilidade da sequência de produção nas DPEs, e deve possibilitar ao utilizador a modificação de variáveis do sistema.

4.1. Conceptualização do modelo

Seguindo as etapas adaptadas de Law (2015), após formulado o problema no capítulo anterior, o passo seguinte consistiu na recolha de dados, para introdução no modelo e sua definição.

Após análise do sistema, os dados que foram recolhidos de forma a serem introduzidos no modelo são:

- Inventário físico no início da simulação.
- Consumo do inventário – Consumo feito pela linha de montagem.
- Tempo de corte nas prensas e respetivo *setup*.
- Tempo estimado de produção - Decidiu-se que a forma indicada de modelar o resto do processo produtivo, de modo a simplificar o modelo,

seria estimar o tempo de produção desde o momento de fim de corte à colocação em inventário.

- A origem - Onde é feita a criação das referências/peças soltas, com base na necessidade de consumo das linhas de montagem seguindo uma lógica de sequenciamento.

Uma vez que existem dados suficientes, a modelação deve conter o espaço temporal correspondente a um ano de produção.

A Figura 4-1 ilustra o fluxograma do modelo de simulação.

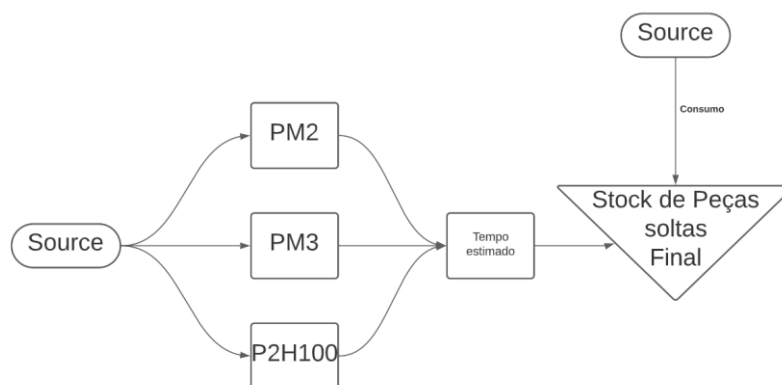


Figura 4-1- Fluxograma do modelo sugerido.

4.1.1. Inventário e consumo de inventário

Analisando os dados, verificou-se que, para consumo de inventário (consumo de peças soltas), seria utilizado um ficheiro com um espaço temporal de um ano, contendo informação acerca da peça solta, data e hora do consumo e, por fim, quantidade a consumir [Lotes].

Para obtenção desse ficheiro, foi necessário recolher do sistema de controlo da empresa (SAP) os dados referentes ao consumo, contendo a informação sobre o consumo de corrente, com data e hora de consumo, referência e quantidade de corrente produzida [metros]. Como já referido, cada corrente contém seis peças soltas (Child), tendo cada uma delas uma relação de conversão respetiva de quantidade com a corrente (Parent), devido às diferenças de massas, como exemplo:

$$1000 \text{ metros corrente} = 61.968 \text{ kgs de "400 20"}. \quad (4-1)$$

De modo a converter esse ficheiro, foi utilizada a linguagem *python*, relacionando os *Parent's* com os *child's*, o tamanho de lote standart e a relação de conversão de quantidade da peça solta com a corrente. Dessa forma, foi necessário calcular as necessidades através do cálculo:

$$Necessidade\ de\ peça\ solta\ [Lotes] = \frac{A \times B}{Peso\ standart\ do\ lote\ \left[\frac{kgs}{Lote} \right]};$$

$$A = metros\ de\ corrente\ necessessária\ [metros];$$

$$B = kgs\ de\ peça\ solta\ por\ metro\ de\ corrente\ \left[\frac{kgs}{metros} \right].$$
(4-2)

Para obtenção do *stock* no primeiro dia da simulação, foram retiradas do sistema SAP as quantidades de inventário existentes para cada peça solta no primeiro dia de simulação, que representa o dia 1 de julho de 2021.

Tabela 4-1- Lotes em stock na fábrica no dia 1 de julho de 2020.

Referência	Lotes em stock	Referência	Lotes em stock	Referência	Lotes em stock
400 20	4,64	400 86	3,71	500 17	0
400 31	2,41	400 87	1,07	500 18	3,63
400 34	0,52	400 88	1,54	500 19	3,22
400 35	1,43	400 89	3,78	500 20	1,47
400 47	2,37	400 95	0,63	500 27	1,71
400 48	3,81	400 96	0	500 28	1,37
400 49	0,49	400 97	0	500 29	1,15
400 73	0,52	400 98	0	500 34	3,31
400 75	1,86	400 99	0	500 35	2,07
400 76	1,9	419 11	0,42	500 37	3,04
400 77	1,25	440 12	0,56	500 38	5,41
400 78	0,82	440 13	0,04	500 39	0,99
400 79	3,5	440 14	0	500 40	0
400 80	1,52	440 17	0	500 41	3,28
400 81	3,81	440 21	2,11	500 42	3,78
400 82	1,64	440 23	0,15	500 43	3,4
400 84	1,66	440 24	1,82		
400 85	1,55	440 25	3,71		

4.1.2. Tempo de corte e setup

O tempo de corte é relativo à prensa e à referência a produzir, pois tem em conta os seguintes aspetos: a velocidade de corte da prensa $\left[\frac{Golpe}{min} \right]$ (*Gpm*); a quantidade de peças por cada golpe da prensa $\left[\frac{peça}{Golpe} \right]$ (*PPG*), pois devido à sua geometria, a distribuição das

peças ao longo do aço laminado (visível na Figura 3-8) pode divergir; peso de cada peça unitária $\left[\frac{kg}{peça}\right]$ (P). Podendo assim, determinar-se os tempos de corte $\left[\frac{min}{lote}\right]$ através da equação:

$$tempo\ corte\ \left[\frac{min}{lote}\right] = \frac{P \cdot standart\ do\ lote\ [kgs]}{P \times Gpm \times PPG}. \quad (4-3)$$

O cálculo dos tempos de *setup* não foi necessário, pois existem tempos tabelados no sistema da empresa onde está discriminado o lote produzido, o lote a produzir, o tipo de *setup* e o tempo estipulado desse *setup*.

4.1.3. Tempo estimado de produção

O passo seguinte na recolha de dados foi a estimativa do tempo de produção. Os dados recolhidos do sistema (utilizados no capítulo 4.1.1) continham a data e a hora de início de produção e a hora de confirmação (fim de produção) do lote e envio para *stock*. Para obtenção do *lead time*, foi utilizado o *Excel*.

Caso existissem sábados ou domingos considerados nesse tempo de *lead time*, foram retirados, visto que apenas foram considerados dias úteis no modelo de simulação.

No entanto, houve sábados em que houve produção e, deste modo, após verificação dos sábados e turnos em vigor, foi introduzido esse tempo nos dados necessários.

O ficheiro do tempo de corte por referência, supracito no subcapítulo anterior, foi utilizado para retirar o tempo de corte ao tempo de produção, uma vez que o tempo estimado de produção, como ilustrado na Figura 4-2, apenas considera o processo produtivo pós DPEs. O cálculo foi o seguinte:

$$Lead\ time = Data\ fim - Data\ início - (sáb\ ou\ dom) - Tempo\ de\ corte. \quad (4-4)$$

Seguidamente, procedeu-se à análise dos dados. As referências foram agrupadas conforme o seu fluxo, de forma a simplificar a análise. Assim, foram estimadas medidas centrais como mínimo, máximo, média, mediana e moda para cada uma das famílias isoladamente.

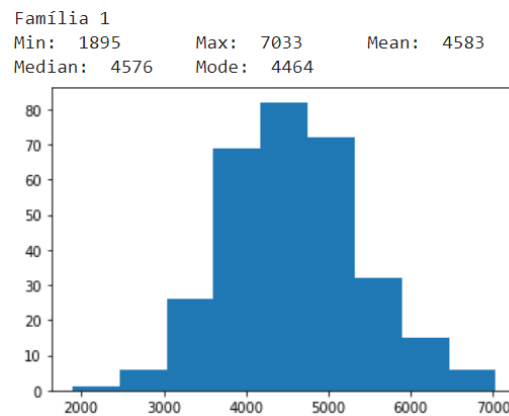


Figura 4-2- Histograma da família 1 e respetivas medidas estatísticas expressas em minutos.

Após o cálculo, foi feita uma análise das possíveis distribuições que se adequavam aos dados, como por exemplo a distribuição normal, gamma, beta, e entre outras. No entanto, entendeu-se por bem utilizar uma distribuição triangular, pois considerou-se que seria o mais representativo.

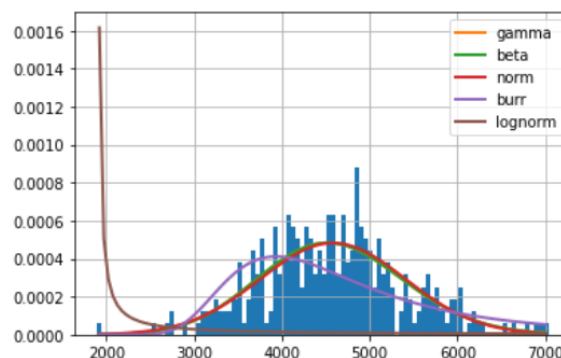


Figura 4-3- Fit de várias distribuições nos dados referentes à família 1.

Os gráficos das restantes famílias podem ser consultados no APÊNDICE B.

4.1.4. Sequenciamento de produção e Origem (*Source*)

Após análise estatística do *lead time* de produção (pós-prensa) de cada família, considerou-se que o método mais adequado de criação de necessidades (hora de produção/input do sistema) seria subtrair à hora em que o lote deve ser consumido do *stock* final (necessidade), o tempo de produção estimado do lote (pós-prensa) e o tempo de corte por lote, como explicitado na equação (4-5).

O tempo estimado de produção (pós-prensa), deve representar, inicialmente, um quartil de oitenta por cento do tempo dos dados analisados, isto é, podendo os dados analisados ser descritos por uma distribuição normal, o tempo estimado de produção deve garantir que oitenta por cento dos lotes produzidos cheguem a inventário a tempo de serem consumidos pela montagem. A hora de produção deve ser calculada da seguinte forma:

$$H. \text{ de produção} = H. \text{ de necessidade} - \text{Quartil } 80\% \text{ Lead time estimado (Pós prensa)} - T. \text{ corte} \quad (4-5)$$

A utilização do fator a oitenta por cento foi assim estipulada, pois admitiu-se que o valor deveria servir como ponto de partida. Após análise posterior dos KPI's, o valor deve ser alterado e otimizado conforme necessidade, de modo a não existir excesso de *stock* nem falta deste.

Devido ao facto de as quantidades necessárias (consumo de inventário) não terem dimensões *standart*, isto é, não são um lote, e sendo o tempo de corte o tempo necessário de produção de um lote, o cálculo do tempo de corte, para a determinação da hora de produção, não pode ser de forma direta. Adicionalmente, as prensas devem operar com quantidades mínimas de produção, de modo a minimizar o tempo de *setup*.

Deste modo, traçou-se a lógica de sequenciamento, onde as necessidades seriam agrupadas em intervalos temporais de dois a quinze dias (ou mais), permitindo a decisão ao utilizador como é ilustrado na figura abaixo.

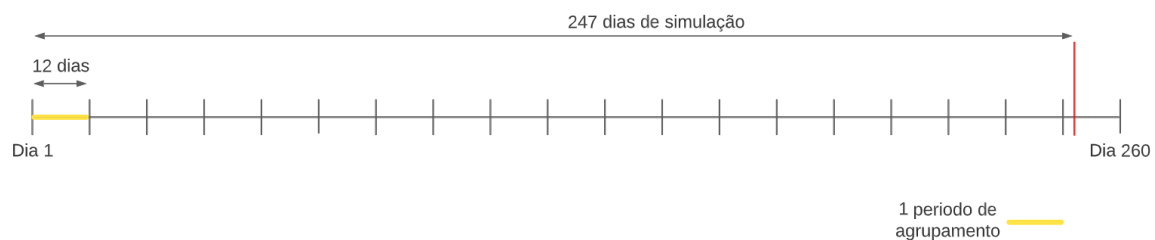


Figura 4-4- Ilustração de um período de agrupamento de doze dias num ano de simulação.

Visto que as referências das peças soltas podem ser produzidas em conjunto, de acordo com as suas características, de forma a minimizar os *setups*, as referências foram agrupadas em famílias de DPE. As distribuições das peças soltas por famílias de corte podem ser consultadas no APÊNDICE C.

Conforme a quantidade necessária de cada família em cada intervalo temporal, e a sua relação com o lote mínimo e máximo de produção respectivo existem três hipóteses: caso a quantidade exceda o máximo, o tempo de corte do lote máximo é retirado à hora de necessidade; caso a quantidade esteja entre o mínimo e o máximo, é retirado o tempo de corte da quantidade necessária de produção; caso a quantidade seja inferior, é retirado o tempo de corte do lote mínimo. A lógica de sequenciamento pode ser descrita pela Figura 4-5.

```

Pseudo-Code - Sequence production

for i in days simulated / Period:
  File = Necessities in interval: Period * i < Date < (i+1) * Period

  for all families in File:

    if Necessities < Minimum Lot:
      Produce Lots with:
        Necessities_Date = Necessities_Date - cut_time * Minimum_Lot

    elif Minimum_Lot < Necessities < Maximum_Lot:
      Produce Lots with:
        Necessities_Date = Necessities_Date - cut_time * Necessities

    else: (Maximum_Lot < Necessities)
      Produce Maximum_Lots with:
        Necessities_Date = Necessities_Date - cut_time * Maximum_Lot

    remainder = Necessities - Maximum_Lot
    count = 0
    while remainder > 0:
      count += 1
      if remainder < Minimum_Lot:
        Produce remainder Lots with:
          Necessities_Date = Necessities_Date - cut_time * Minimum_Lot | -
count * Maximum_Lot * cut_time
        remainder = 0

      elif Minimum_Lot < Necessities < Maximum_Lot:
        Produce remainder Lots with:
          Necessities_Date = Necessities_Date - cut_time * Necessities -
count * Maximum_Lot * cut_time
        remainder = 0

      else: (Maximum_Lot < Necessities)
        Produce Maximum_Lots with:
          Necessities_Date = Necessities_Date - cut_time * Maximum_Lot -
count * Maximum_Lot * cut_time

    remainder = remainder - Maximum_Lot

```

Figura 4-5- Lógica de sequenciamento.

Desta forma, os dados mencionados no capítulo 4.1.1, referentes às datas de necessidades de consumo, foram manipulados de forma a serem obtidos a data e hora necessárias de produção. O modelo de simulação produz em excesso, de modo a atingir as quantidades mínimas de produção respectiva de cada família, dentro das quais, a produção em excesso é atribuída às peças soltas com maior procura, como é visível na Figura 4-6.

```
Pseudo-Code - Minimum production

for all families in File:
Necessities.sort(by = quantity, ascending = False)

    if Necessities < Minimum_Lot:

        while Necessities < Minimum_Lot:
            for i in range (len (Necessities)):
                Necessities [i] += 1

            if Necessities >= Minimum_Lot:
                break
```

Figura 4-6- Lógica de produção mínima.

Posteriormente, o modelo segue uma produção de famílias por ordem cronológica de necessidades (EDD), de acordo com o ficheiro gerado, atribuindo o lote à respetiva DPE.

4.2. Entidades do modelo

Existem dois tipos de entidades no modelo, as entidades de consumo, e as entidades de produção.

As entidades de consumo são criadas conforme a sua hora de necessidade. Caso exista *stock* disponível para o consumo total da necessidade, a quantidade é retirada de inventário e a entidade é destruída. Caso não exista quantidade em inventário suficiente, a entidade fica presa até que seja libertada pela produção, tal como ilustrado na figura abaixo.

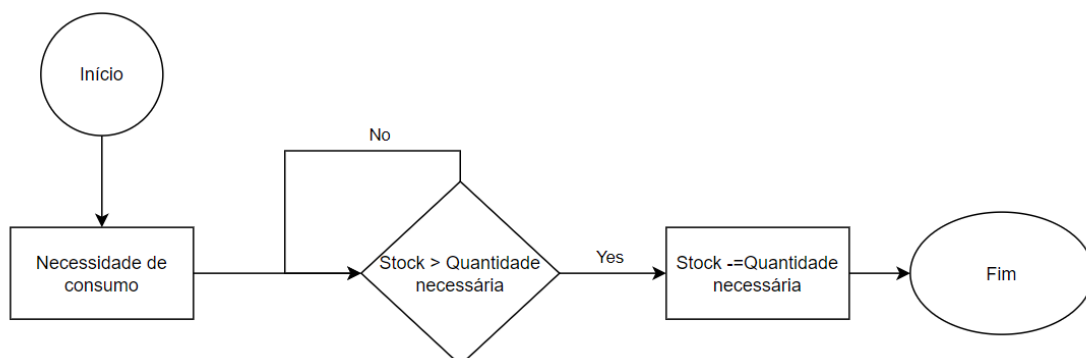


Figura 4-7- Fluxo de uma entidade de consumo.

As entidades de produção são criadas de acordo com a hora de produção. É utilizada uma variável de controlo de necessidade de produção, que consiste na soma do inventario e WIP. Esta variável tem como objetivo que os lotes produzidos em excesso sejam consumidos, sem necessidade de produção. Quando a quantidade necessária não excede esta variável, é retirado o seu valor à variável e destruída a entidade. Quando a quantidade necessária excede a variável, é criada uma ordem de produção, com quantidade superior ao mínimo de produção da família a ser produzida. Posteriormente, é requisitada uma DPE até que esteja disponível. Após produção, é incrementado à variável a produção em excesso, como é ilustrado na figura abaixo.

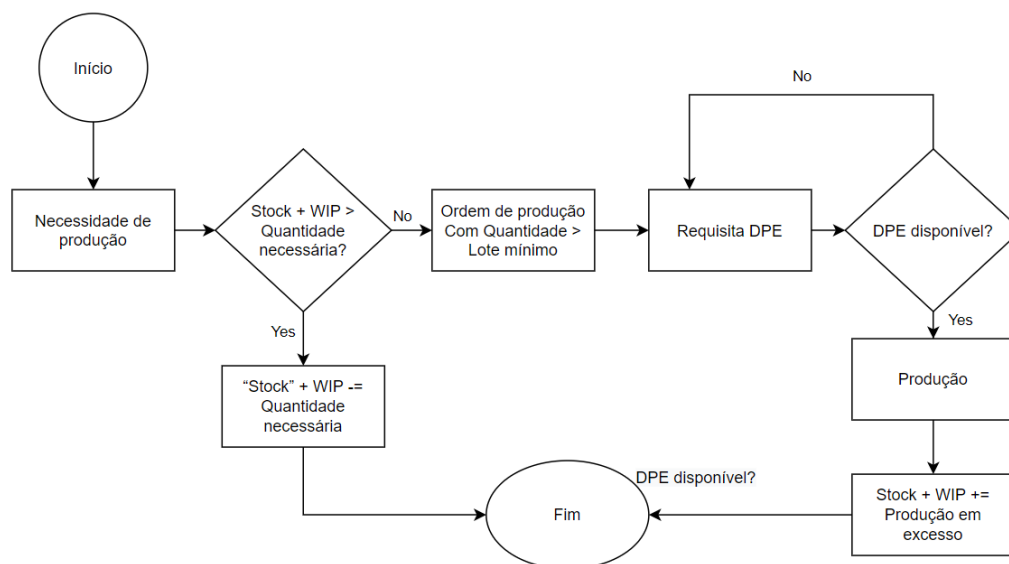


Figura 4-8- Fluxo de uma entidade de produção.

4.3. Pressupostos

De forma a simplificar o modelo e reduzir a complexidade, foram estipulados alguns pressupostos como demonstrados na Tabela 4-2.

A simulação integra um ano de produção, no entanto, visto que existem algumas interrupções, como férias de Natal e verão. Adicionalmente, dado que a empresa trabalha cinco a seis dias por semana, com turnos de oito horas, incluindo meia hora de paragem, foram apenas simulados sem interrupção cerca de duzentos e quarenta e sete dias.

Tabela 4-2- Aspectos não considerados para o modelo de simulação.

Aspetto	Razões para não consideração
Distâncias entre estações e tempo de transporte	O tempo gasto na movimentação entre estações representa pouca percentagem em relação ao tempo de produção. A Movimentação ocorre paralelamente à produção e não existem dados suficientes para a sua inclusão na análise.
Recursos humanos	De acordo com a empresa, a introdução deste aspeto seria irrelevante, pois não iria acrescentar valor ao estudo pretendido, uma vez que os colaboradores não devem ser restrição para o funcionamento do sistema.
Refugo	O refugo pode estar associado à calibração dos equipamentos, a falhas no material, falhas de operação, entre outros. No entanto, devido à sua imprevisibilidade e à impossibilidade de extração direta do sistema da empresa, a introdução no modelo torna-se complexa. No entanto, foi introduzido para cálculo de OEE.
Controlo de qualidade	Os processos de controlo de qualidade são executados em grande parte das estações, mas são efetuados paralelamente à produção.
Paragens de manutenção	Existem diversas paragens de manutenção programada, no entanto, foi considerado que a sua introdução poderia adicionar complexidade, não apresentando relevância para o estudo. Existem também paragens não programadas, o que, devido à sua imprevisibilidade, não existem dados referentes.
Paragens por defeito de fabrico	A paragem por defeito de fabrico está associada ao refugo, dizendo respeito a paragens para calibração/afinação do equipamento. Dito isto, considerou-se que não traria informação relevante ao estudo.
Falta de matéria-prima	A produção não considera a indisponibilidade de matéria-prima, visto que não representa um acontecimento frequente, e não representa interesse para o estudo.
Dimensão do <i>stock</i>	Atualmente, na empresa, o <i>stock</i> final (<i>stock</i> de peças soltas) tem um limite de 120 lotes em estante, tendo espaço para exceder esse limite, caso necessário. Deste modo, foi considerado que não deveria existir restrição.
Limite de WIP no sistema	Sendo as prensas o principal <i>bottleneck</i> do sistema, não foi considerada restrição de WIP no modelo.
Dimensão do modelo (“físico”)	Inicialmente, foi considerado que o modelo não deveria incluir todo o processo produtivo, sendo apenas modelada a produção das pensas soltas, excluindo as linhas de montagem (produção de corrente), estando o sistema produtivo na fábrica representado pela produção de peças soltas e produção de corrente.
Dimensão do modelo (temporal)	De forma a apenas considerar tempo útil na simulação, foram excluídos os sábados, domingos, e os dias de férias de verão (8 de agosto de 2020 a 16 de agosto de 2020) e Natal (20 de dezembro de 2020 a 3 de janeiro de 2021), devido ao fecho da fábrica.

Como já referido anteriormente, todo o processo produtivo pós prensas foi representado por um tempo estimado, isto é, qualquer restrição de processo (e.g. tempo de *setup*) é apenas representado por esse tempo estimado.

Ainda que o número de colaboradores disponíveis por turno seja suficiente para garantir o funcionamento de todos equipamentos, a falta de comparência de colaboradores representa um problema real, pelo que os recursos humanos devem ser introduzidos para estudos futuros.

A qualidade na produção, apesar de não ser considerada de uma forma dinâmica no modelo, existe interesse para a consideração do refugo previsto em conjunto com os tempos de *setup*, uma vez que ambos dizem respeito à calibração do equipamento. No entanto, existe sempre refugo que surge de imprevisibilidades, não sendo possível a sua modelação.

4.4. Medidas de desempenho

Com base em Murino & Romano (2010), as medidas de desempenho consideradas importantes para a análise do modelo foram:

- Produção em Excesso;
- WIP e WIP médio ponderado
- Inventário e Inventário médio ponderado;
- *Lead Time* das peças soltas;
- OEE médio das DPEs;
- Disponibilidade média e diária das DPEs;
- Taxas de utilização médias e diárias das DPEs;
- Tempo de espera e quantidades (totais e médias de escassez de *stock* (*stockout*));
- Consumos/Encomendas atrasados(as);
- Sequência de produção;
- Entre outros.

Como referido acima, quando a quantidade necessária (consumo) não atingir os lotes mínimos de produção, devem ser produzidos lotes em excesso, para que esse limite seja atingido e, deste modo, sejam gerados lotes não atribuídos. O objetivo deste indicador

de desempenho é avaliar o número de lotes que foram necessários produzir em excesso, o que pode significar que o agrupamento está a ser feito num intervalo temporal curto para esta referência ou que o lote mínimo está sobredimensionado.

Tabela 4-3- Produção em excesso e quantidade máxima excedida por referência expresso em lotes obtidos na simulação.

Referência	Produção em excesso	Quantidade máxima excedida	Referência	Produção em excesso	Quantidade máxima excedida
400 31	26	2.0	440 13	0	0.0
400 35	13	2.0	440 14	0	0.0
400 47	88	30.0	440 17	146	24.0
400 48	47	25.0	440 21	22	6.0
400 49	25	11.0	440 23	36	0.0
400 73	3	0.0	440 24	40	0.0
400 75	4	0.0	440 25	7	0.0
400 76	16	0.0	500 17	9	0.0
400 77	23	0.0	500 18	75	1.0
400 78	6	0.0	500 19	26	1.0
400 80	12	0.0	500 20	4	0.0
400 81	43	0.0	500 27	0	0.0
400 82	17	0.0	500 28	0	0.0
400 84	37	0.0	500 29	0	0.0
400 85	19	0.0	500 34	0	0.0
400 88	0	0.0	500 38	11	0.0
440 12	0	0.0	500 41	3	0.0

O *WIP*, sendo um indicador de desempenho reconhecido e vulgarmente utilizado, permite determinar a quantidade de lotes que estão dentro do sistema de produção, ou seja, lotes que já tenham iniciado o seu processo de produção não se encontrando sobre a forma de matéria-prima, mas que também não representem a forma final. Este indicador é dos principais utilizados, pois permite determinar a carga a que o sistema está sujeito, dando visibilidade aos custos que podem estar associados. Como exemplo, o gráfico ilustrativo dos movimentos de *WIP* das peças “500 17” e “440 21”, pode ser consultado no APÊNDICE D.

O *stock*, similarmente ao anterior, é um indicador já frequente, visto que o nível de *stock* representa um custo para a empresa e, dessa maneira, é importante controlar o seu nível com o objetivo de o minimizar, sem prejudicar o resto do sistema. Como exemplo, o gráfico ilustrativo aos movimentos de *stock* das peças “500 17” e “440 21”, pode ser consultado no APÊNDICE E.

O *lead time*, sendo representativo do tempo de produção total de uma entidade (lote), permite traçar um padrão por peça e, assim, comparar o modelo com o sistema real.

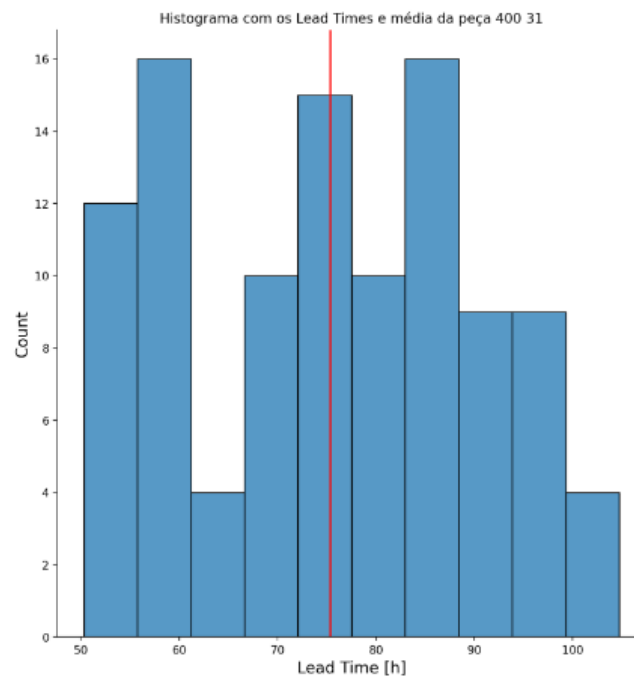


Figura 4-9- Lead time da peça solta “400 31” na simulação.

Os gráficos referentes ao *lead time* das restantes peças soltas podem ser consultados no APÊNDICE F.

Para avaliar o desempenho das prensas, a disponibilidade e o OEE são indicadores que permitem uma boa visibilidade, não só individualmente, como permitem analisar e tirar conclusões de todo o processo produtivo. O OEE representa, para muitas indústrias, um indicador com máxima importância, podendo ser considerado uma medida relevante para assegurar uma produção sustentável.

As taxas de utilização das prensas representam a requisição que uma máquina é sujeita, seja num dia ou em média anual, permitindo determinar o nível de trabalho a que a máquina está sujeita.

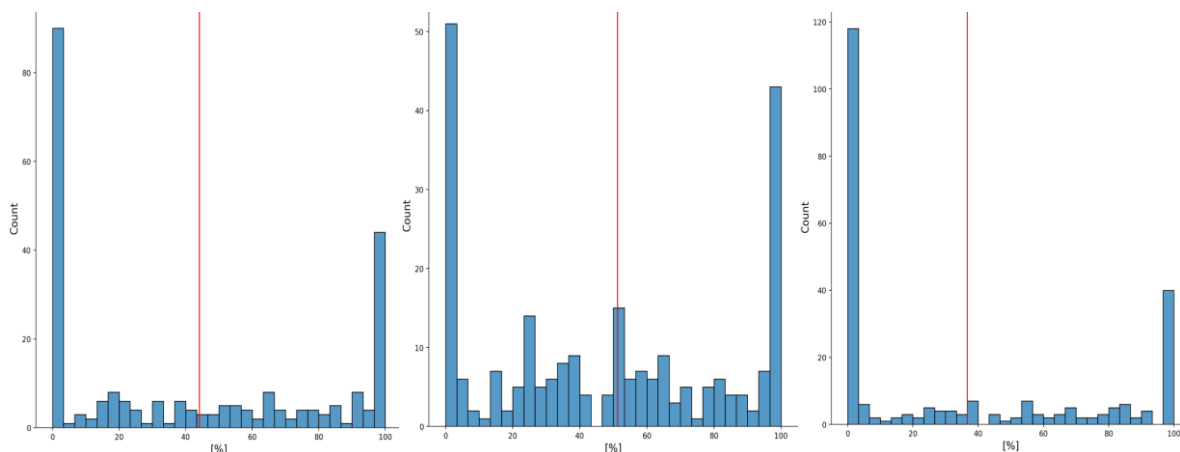


Figura 4-10- Histograma da Taxa de utilização diária das diferentes prensas, PM2, PM3 e P2H100, respetivamente.

Um outro fator que servirá como comparação com o sistema real é o atraso do consumo, pois este tem como objetivo ser o menor possível, sendo um dos principais objetivos da empresa a inexistência de atrasos. Uma das formas de gerir e dar visibilidade a esse indicador é através do rastreio do tempo de espera de cada *stockout*, bem como a quantidade que gerou essa procura para, deste modo, verificar a necessidade de alteração de certos parâmetros, caso o *stockout* tenha dimensões não aceitáveis. A tabela referente aos *stockouts* por peça solta pode ser consultada no APÊNDICE G.

E, por fim, a sequência de produção como um dos principais indicadores deste trabalho, o qual será o principal output do modelo.

Registo produção PM2

	Day	referencia	Sem
2	1.0000	400 47	1
3	1.0000	400 47	1
4	1.0000	400 47	1
5	1.0000	400 47	1
6	1.0000	400 35	1
7	1.0000	400 35	1
8	2.0000	400 35	1
9	2.0000	400 35	1
10	6.0000	400 77	2
11	6.0000	400 77	2

Registo produção PM3

	Day	referencia	Sem
17	7.0000	500 20	2
18	7.0000	500 20	2
19	7.0000	500 20	2
20	8.0000	500 20	2
21	10.0000	500 17	3
22	10.0000	500 17	3
23	10.0000	500 17	3
24	10.0000	500 17	3
25	10.0000	500 17	3
26	10.0000	500 17	3
27	11.0000	500 17	3

Registo produção P2H100

	Day	referencia	Sem
0	0.0000	440 14	1
1	1.0000	440 17	1
2	5.0000	400 84	2
3	6.0000	400 84	2
4	6.0000	400 84	2
5	6.0000	400 84	2
6	6.0000	400 84	2
7	10.0000	440 23	3
8	11.0000	440 23	3
9	11.0000	400 81	3

Figura 4-11- Tabelas de *output* do registo de produção na simulação em *streamlit*.

4.5. Validação

De modo a validar o modelo simulado com o sistema real, foram utilizados alguns dos indicadores de desempenho descritos no subcapítulo anterior.

Para obtenção do *stock* médio real por referência do sistema, entre 1 de julho de 2020 e 30 de junho de 2021, foram retirados do sistema da empresa (SAP) dados com movimentos de *stock* e data associada, alusivos a cada referência.

O *stock* médio ponderado consiste em atribuir peso aos valores, de acordo com a sua contribuição, ou seja, o peso de um valor de *stock* é referente ao espaço temporal em que este se mantém.

O *stock* médio ponderado foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\sum_{i=1}^j \frac{Data_{i+1} - Data_i}{Tempo\ total} \times Stock_i, \quad j = \text{tamanho da amostra.} \quad (4-6)$$

Similarmente, os valores para o *stock* médio na simulação também foram calculados, utilizando a mesma metodologia de ponderação. Como ilustrado na Tabela 4-4.

Tabela 4-4- Comparação do *stock* médio do sistema real e simulado em lotes.

Referência	Stock médio		Variação	Referência	Stock médio		Variação
	Real	Simulação			Real	Simulação	
400 31	3,59	1,86	1,73	440 13	0,52	0,97	0,46
400 35	3,00	1,79	1,21	440 14	0,54	0,55	0,01
400 47	3,84	4,74	0,90	440 17	0,96	2,20	1,24
400 48	2,77	3,22	0,45	440 21	1,74	0,74	0,99
400 49	1,30	2,47	1,17	440 23	2,33	1,20	1,13
400 73	1,94	0,79	1,15	440 24	2,64	1,07	1,57
400 75	1,40	2,02	0,62	440 25	0,00	0,00	N/a
400 76	2,88	1,62	1,25	500 17	7,97	6,00	1,97
400 77	2,01	2,19	0,18	500 18	2,70	2,86	0,17
400 78	1,18	1,23	0,05	500 19	2,22	1,94	0,28
400 80	1,43	1,89	0,45	500 20	2,80	1,95	0,85
400 81	3,69	3,16	0,53	500 27	1,13	2,46	1,33
400 82	1,98	2,87	0,89	500 28	1,63	1,97	0,34
400 84	3,26	2,97	0,30	500 29	4,66	3,28	1,38
400 85	1,84	2,39	0,55	500 34	2,96	2,33	0,63
400 88	1,10	1,00	0,10	500 38	1,04	0,96	0,08
440 12	0,84	0,60	0,24	500 41	2,17	3,34	1,17
Soma					76,08	70,64	5,43
						Média	0,77

Analisando os dados da Tabela 4-4, chega-se à conclusão de que grande parte dos valores médios não revelam variações notáveis, havendo, assim, uma proximidade entre a realidade e a simulação, mantendo, em parte, a seqüência de referências ordenada pela dimensão de *stock* médio.

A variação entre os valores reais e simulados representa cerca de oito por cento, o que retrata uma grande proximidade entre os dois.

Para cálculo do WIP médio no sistema real, representado na Tabela 4-5, foram utilizados os dados operados no cálculo do *lead time*, contendo informação acerca da data de início de produção e conclusão de cada lote produzido. Deste modo, foi calculada a quantidade de lotes por peça solta no sistema, ao longo do ano, conforme a entrada (início de produção) e a saída (fim de produção) do sistema. Seguidamente, foram calculadas as médias anuais respectivas de cada peça solta.

No sistema modelado, a forma de cálculo foi a mesma à aplicada na alínea anterior, utilizando uma metodologia de ponderação de forma a atribuir pesos, de acordo com a sua contribuição.

Tabela 4-5- Comparação do WIP médio do sistema real e simulado em lotes.

Referência	WIP médio		Variação	Referência	WIP médio		Variação
	Real	Simulação			Real	Simulação	
400 31	1,53	1,35	0,18	440 13	0,04	0,00	0,04
400 35	0,66	0,53	0,13	440 14	0,03	0,02	0,01
400 47	3,52	3,32	0,20	440 17	0,03	0,07	0,04
400 48	1,61	1,56	0,05	440 21	0,21	0,09	0,12
400 49	0,71	0,68	0,03	440 23	0,69	0,28	0,42
400 73	0,06	0,04	0,02	440 24	0,15	0,09	0,06
400 75	0,16	0,10	0,06	440 25	0,00	0,00	0,00
400 76	0,72	0,60	0,12	500 17	8,35	7,95	0,40
400 77	0,87	0,74	0,13	500 18	0,86	0,75	0,12
400 78	0,16	0,14	0,02	500 19	0,76	0,79	0,03
400 80	0,22	0,18	0,04	500 20	1,00	1,01	0,00
400 81	1,24	1,11	0,13	500 27	0,17	0,14	0,04
400 82	0,33	0,39	0,05	500 28	0,27	0,20	0,07
400 84	1,07	0,95	0,11	500 29	2,56	2,58	0,02
400 85	0,56	0,55	0,01	500 34	0,76	0,57	0,19
400 88	0,12	0,07	0,04	500 38	0,08	0,09	0,01
440 12	0,23	0,10	0,13	500 41	0,50	0,00	0,50
				Soma	30,27	27,04	3,22
						Média	0,10

Observando os resultados da Tabela 4-5, verificou-se que são muito similares ao caso anterior, não sendo visíveis discrepâncias relevantes, como pode ser observado pela variação entre os valores de soma, representada por doze por cento.

A quantidade de lotes produzidos no sistema real foi determinada através da soma da quantidade produzida desde o dia 1 julho de 2020 até ao dia 30 junho de 2021, estando expressa no ficheiro de consumo.

No caso da simulação, todos os lotes produzidos foram registados.

As quantidades de lotes produzidos por peça solta obtidas são apresentadas na Tabela 4-6.

Tabela 4-6- Comparação da quantidade produzida do sistema real e simulado em lotes.

Referência	Quantidade Produzida		Variação	Referência	Quantidade Produzida		Variação
	Real	Simulação			Real	Simulação	
400 31	105	107	2	440 13	0	0	0
400 35	43	43	0	440 14	2	3	1
400 47	250	250	0	440 17	2	6	4
400 48	118	118	0	440 21	8	9	1
400 49	51	56	5	440 23	23	25	2
400 73	2	3	1	440 24	7	7	0
400 75	9	10	1	440 25	0	0	0
400 76	46	47	1	500 17	586	590	4
400 77	56	57	1	500 18	49	55	6
400 78	10	10	0	500 19	54	55	1
400 80	13	13	0	500 20	72	74	2
400 81	84	90	6	500 27	10	10	0
400 82	22	28	6	500 28	14	16	2
400 84	69	70	1	500 29	195	199	4
400 85	37	41	4	500 34	40	40	0
400 88	4	5	1	500 38	6	7	1
440 12	6	7	1	500 41	0	0	0
				Soma	1993	2051	58
						Média	1,71

Na primeira análise à Tabela 4-6, é visível, ainda que pouco notória, alguma variação nas quantidades produzidas. No entanto, essa variação pode ser devida à lógica de produção implementada no sistema de simulação, que pode obrigar à produção em excesso. Dessa forma, o modelo é forçado a finalizar com excesso de *stock*, obtendo uma variação entre o total de lotes produzidos no sistema real e simulado de três por cento, revelando assim uma grande proximidade.

No sistema real, o *lead time* referente a cada peça solta foi obtido através do ficheiro que contém datas de início e fim de produção de cada lote, como já mencionado no capítulo 4.1.3. Porém, neste caso, não foram retirados os tempos de corte, de forma a obter o *lead time* total registado no sistema.

Tabela 4-7- Comparação dos *lead times* do sistema real e simulado.

Referência	Lead time [Horas]								Variação			
	Real				Simulação							
	Min	Max	Média	Mediana	Min	Max	Média	Mediana	Min	Max	Média	Mediana
400 31	53	123	83	83	50	105	75	76	3	18	8	7
400 35	59	115	82	83	46	104	75	73	12	11	7	10
400 47	53	121	84	83	47	111	77	78	5	9	6	5
400 48	54	118	82	82	50	110	80	80	3	8	2	1
400 49	63	117	83	81	48	106	75	77	15	11	8	4
400 73	67	91	77	75	58	83	69	68	10	8	8	8
400 75	59	97	87	90	55	114	80	78	4	17	7	12
400 76	61	124	86	85	41	105	75	78	20	19	11	7
400 77	52	110	82	80	40	114	75	74	12	3	8	7
400 78	81	106	88	84	58	87	71	70	23	19	17	14
400 80	63	113	88	88	55	102	82	82	8	11	6	6
400 81	57	114	81	83	52	105	78	79	5	9	3	4
400 82	62	101	79	78	50	110	81	81	12	9	2	3
400 84	60	123	84	83	52	113	80	80	8	11	4	3
400 85	61	122	86	85	46	110	81	82	15	13	6	4
400 88	66	99	84	85	71	107	86	78	5	8	2	7
440 12	78	128	104	104	50	103	78	84	27	25	26	19
440 13	68	96	81	78	54	54	54	54	14	42	27	24
440 14	94	97	96	96	45	46	45	45	50	51	51	51
440 17	121	127	124	124	69	69	69	69	52	58	55	55
440 21	68	107	88	91	54	81	68	66	14	26	20	25
440 23	74	118	95	95	50	82	66	66	24	37	29	30
440 24	56	96	80	86	55	78	70	74	1	17	9	12
440 25	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a	N/a
500 17	53	122	80	80	50	116	80	78	3	6	0	2
500 18	52	118	83	82	49	106	79	76	3	12	4	6
500 19	53	115	82	83	58	102	82	82	5	13	0	2
500 20	53	122	80	82	50	115	78	76	3	7	2	6
500 27	59	107	88	91	55	102	73	69	4	6	16	23
500 28	62	99	84	85	63	93	74	71	1	6	11	14
500 29	52	119	82	82	47	109	78	77	5	11	5	5
500 34	54	116	81	80	78	110	89	87	24	7	7	6
500 38	64	96	82	82	58	89	72	72	6	7	10	11
500 41	N/a	N/a	N/a	N/a	50	105	75	76	53	123	81	80

No caso do modelo simulado, os *lead times* foram registados e analisados de acordo com a referência de peça solta.

Como já observado anteriormente, os *lead times* podem representados por distribuições triangulares. Assim sendo, de forma a analisar os resultados obtidos, foram construídos histogramas, ilustrados no APÊNDICE F e APÊNDICE H, para o sistema real e simulado, respetivamente. A Tabela 4-7 representado o mínimo, o máximo, a média e a mediana, de tempo de produção para cada peça solta.

Numa primeira análise, são visíveis variações notórias em referências como peças soltas “440” (placas de fecho), por exemplo. Estas variações podem ser justificadas pela dimensão dos dados para análise, como descritos no APÊNDICE F e APÊNDICE H, provocando assim oscilações grandes nas medidas de tendências centrais. De uma forma geral, excluindo algumas exceções como as mencionadas acima, os resultados têm pouca variação. É de notar que referências como a “440 25” e “500 41” não possuem resultados devido ao facto de não haver necessidade de produção na simulação.

Apesar de existirem *stockouts* no sistema real, os dados da produção são dados reais do momento do consumo, e não referentes ao momento de necessidade. Pelo que, por vezes, houve necessidade de consumo de inventário, contudo, não é feito o registo por não existir quantidade suficiente para consumo, gerando apenas um ficheiro de produção nas linhas de montagem.

Deste modo, os *stockouts* no sistema simulado devem aproximar-se de zero. Contudo, devido a fatores de variabilidade, como o *lead time* estimado de produção (pós prensa) que é descrito por distribuições triangulares, podem provocar a falta de inventário. Os *stockouts* podem ser consultados no APÊNDICE G. Note-se que, as quantidades de encomendas atrasadas representam pouco mais de meio por cento das encomendas totais, e cerca de dois por cento de lotes em atraso.

A determinação da taxa de utilização real teve em conta o tempo de corte tabelado, o rendimento das prensas no intervalo temporal avaliado, e as quantidades produzidas de cada peça solta acima referidas, através da expressão (4-7).

$$T. \text{utilização} = \sum_{i=0}^j \frac{T_{\text{corte}_i} \times \text{Rendimento} \times \text{Quanti. produzida}_i}{\text{Intervalo temporal}}, \quad (4-7)$$

$j = \text{tamanho da amostra de peças soltas produzidas.}$

A taxa de utilização na simulação foi calculada através da média da taxa de utilização diária. O cálculo teve em conta o tempo de corte e *setup* total presente em cada dia, ou seja:

$$T. \text{utilização}_i = \frac{T_{\text{corte}_i} + T_{\text{setup}_i}}{24 \times 60}, \quad (4-8)$$

$$T. \text{utilização média} = \sum_{i=0}^j \frac{T. \text{utilização}_i}{j \times 24 \times 60}, \quad j = \text{dias de simulação}. \quad (4-9)$$

Os resultados finais encontram-se demonstrados na Tabela 4-8.

Tabela 4-8- Comparação da taxa de utilização do sistema real e simulado.

DPE	Taxa de utilização [%]		
	Real	Simulação	Variação
PM2	52	42	10
PM3	58	50	8
P2H100	43	34	7

4.5.1. Considerações finais

Em suma, grande parte dos indicadores de desempenho avaliados revelam-se muito próximos do sistema real e, além dos indicadores utilizados, é de notar que os *inputs* foram dados reais, tais como: dados de consumo de peças soltas, tempos de corte, tempos de *setup* e tempos de produção. No entanto, o sistema real está sujeito a contratemplos que podem influenciar alguns destes parâmetros e que não podem ser introduzidos neste estudo, como o absentismo, as manutenções não planeadas, a falta de material, entre outros aspetos.

Deste modo, e após as diversas análises de alguns KPI's entre o sistema real e o modelo de simulação, apesar de existirem alguns pressupostos, como os mencionados no capítulo 4.3, é possível declarar que o modelo se encontra próximo ao real.

4.6. Simulador

De forma a visualizar o comportamento do modelo de simulação, foi criada uma interface em *Streamlit*, suportada pelo programa em linguagem *Python*. A Figura 4-9 e a Figura 4-11 são exemplos de *output*.

A interface permite ao utilizador importar diversos ficheiros como: ficheiros de consumo, permitindo “correr” intervalos de produção diferentes e analisar diferentes cenários; ficheiros de produção, podendo alterar e otimizar o intervalo temporal de agrupamento pretendido por DPE; e ficheiros dos tempos de *setup* de cada DPE. Adicionalmente, é também possível variar inventários iniciais de simulação para cada peça solta, como é demonstrado na figura Figura 4-12.



Figura 4-12- Interface da simulação.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo, é elaborada uma análise de sensibilidade a fim de estudar o comportamento do modelo face à variação de alguns parâmetros, como o período de agrupamento e a dimensão de lotes mínimos e máximos face a dois panoramas de procura. Posteriormente, os resultados são analisados e desenvolvidas conclusões.

5.1. Análise de sensibilidade

De modo a analisar o comportamento e sensibilidade do modelo aos diferentes fatores, decidiu-se criar oito cenários possíveis, concebendo três níveis de variação para cada parâmetro de alteração, sendo estes o tamanho do período de agrupamento e o tamanho do lote mínimo e máximo. A análise foi realizada para dois ambientes de procura distintos, para o período de 2020/2021 e de 2021/2022.

Assim, como o centro do estudo, foi criado o cenário base, estipulado pelos gestores de produção como o cenário mais aproximado à realidade, conforme é demonstrado na Tabela 5-1.

Tabela 5-1- Cenários para o desenho de experiências.

		Dimensão do lote mínimo e máximo		
		Pequeno	Médio	Grande
Agrupamento	Pequeno	Cenário 8	Cenário 6	Cenário 7
	Médio	Cenário 2	Cenário Base	Cenário 1
	Grande	Cenário 5	Cenário 3	Cenário 4

Primeiramente, foi criado o cenário um, onde foi mantido o período de agrupamento do cenário base e aumentado o tamanho de lotes mínimos e máximos, de acordo com a família. De seguida, foi criado o cenário dois, onde foi mantido o período de

agrupamento e diminuído o tamanho de lotes mínimos e máximos, como é visível nas tabelas abaixo.

Tabela 5-2- Parâmetros de cada cenário considerado.

	Agrupamento [Dias]			Lotes mínimos e máximos: placas 400								
	PM2	PM3	P2H1000	31/35	47/48/49	73/75/76/77/88	78/80/81/82/84/85					
Cenário base	5	3	5	4	7	6	8	4	6	6	10	
Cenário 1	5	3	5	4	7	8	11	6	8	8	10	
Cenário 2	5	3	5	3	5	4	7	3	5	4	6	
Cenário 3	7	5	7	4	7	6	8	4	6	6	10	
Cenário 4	7	5	7	4	7	8	11	6	8	8	10	
Cenário 5	7	5	7	3	5	4	7	3	5	4	6	
Cenário 6	3	2	3	4	7	6	8	4	6	6	10	
Cenário 7	3	2	3	4	7	8	11	6	8	8	10	
Cenário 8	3	2	3	3	5	4	7	3	5	4	6	
	Lotes mínimos e máximos: placas 440				Lotes mínimos e máximos: placas 500							
	12/13/14	17/21	23/24/25		17/18/41	38/19/20	27/28/29/34					
Cenário base	1	3	1	2	2	4	6	10	4	7	4	6
Cenário 1	1	3	1	2	3	5	9	13	5	9	7	9
Cenário 2	1	3	1	2	1	3	4	8	3	5	3	5
Cenário 3	1	3	1	2	2	4	6	10	4	7	4	6
Cenário 4	1	3	1	2	3	5	9	13	5	9	7	9
Cenário 5	1	3	1	2	1	3	4	8	3	5	3	5
Cenário 6	1	3	1	2	2	4	6	10	4	7	4	6
Cenário 7	1	3	1	2	3	5	9	13	5	9	7	9
Cenário 8	1	3	1	2	1	3	4	8	3	5	3	5

Nos cenários três e seis, foi introduzido um agrupamento superior e inferior, respetivamente, relacionando-os com as três possibilidades de dimensão de tamanhos de lote gerando os cenários quatro, cinco, sete e oito.

Os fatores analisados foram: a soma dos inventários médios mantidos ao longo da simulação (*stock* médio total), visto que este representa um custo para a empresa; o máximo de inventário atingido, pois o acondicionamento superior a cento e vinte lotes não é possível devido a restrições; o *WIP* máximo no sistema, sendo que este representa a quantidade de lotes que o sistema deve poder acomodar; a quantidade máxima produzida, uma vez que, quando não atingidos os lotes mínimos, são produzidos lotes em excesso; o tempo de *stockout* total, visto que representa o indicador que mais importância tem para a empresa; a quantidade de lotes que sofreram atrasos; de forma a ter visibilidade do *stockout*;

o rácio entre tempos de *setup* e tempos de corte, pois permite analisar qual o nível de produção; o tempo de *setup* por lote produzido relativo a cada prensa, de modo a analisar as variações de *setup* entre cenários; e o tempo de produção por lote, permitindo analisar os ganhos entre os cenários.

5.2. Análise para o ano modelo de 2021

A tabela abaixo demonstra os resultados atingidos na simulação para a procura de 2020/2021.

Tabela 5-3- Resultados de alguns indicadores dos diferentes cenários para a procura de 2020/2021.

Cenário		Base	1	2	3	4	5	6	7	8
Soma <i>stock</i> médio [Lotes]		65	91	47	57	89	52	68	97	50
<i>Stock</i> máx. [Lotes]		120	164	106	122	157	114	125	160	103
WIP máx. [Lotes]		51	59	49	59	59	55	45	55	48
Quantidade produzida [Lotes]		2056	2064	2034	2040	2074	2029	2063	2095	2047
Tempo de <i>stockout</i> total × 1000 [Min]		35,8	10,2	36,0	32,0	8,3	43,0	14,8	16,3	31,2
Quantidade de <i>Stockout</i> [Lotes]		9,02	1,71	24,11	14,59	7,40	20,85	8,90	4,17	22,36
<i>Tempo setup</i> <i>Tempo de corte</i> [%]	PM2	6	4	8	6	4	8	5	4	7
	PM3	6	4	8	6	4	7	6	4	8
	P2H100	7	5	10	9	6	10	6	5	9
$\frac{\text{Tempo setup}}{\text{Quantidade produzida}}$ [$\frac{\text{min}}{\text{Lote}}$]	PM2	11	8	15	12	9	16	10	7	14
	PM3	10	7	11	9	7	10	10	6	13
	P2H100	26	19	36	31	21	37	22	18	32
$\frac{\text{Tempo setup} + \text{tempo corte}}{\text{Quantidade produzida}}$ [$\frac{\text{min}}{\text{Lote}}$]	PM2	204	201	208	205	201	208	203	200	206
	PM3	161	158	163	160	158	161	161	157	164
	P2H100	392	386	403	398	382	401	388	383	397

Após análise dos resultados da Tabela 5-3, são notórias algumas variações, como oscilações de *stock* médio de cinquenta lotes, apresentando para todos os cenários um *stock* médio perfeitamente acomodável pela capacidade de armazenamento da fábrica de cento e vinte lotes. Todavia, os *stocks* máximos atingidos tornam os cenários um, quatro e sete não viáveis, por se encontrarem muito acima do disponível.

No WIP máximo atingido, não existe uma variação significativa, sendo representável por um valor máximo de cinquenta e nove lotes, o que é perfeitamente acomodado pelo processo produtivo ainda que a média de lotes no sistema, real e simulado, se mantenha inferior aos trinta lotes.

A quantidade de lotes produzida tem uma variação de sessenta e seis lotes, no entanto, este indicador não está sujeito a nenhuma restrição. Deste modo, apenas é possível concluir que, os cenários com uma quantidade de produção superior representam uma produção em excesso mais elevada.

O tempo de *stockout* é, na verdade, um dos indicadores mais importantes, visto que o principal objetivo da empresa é minimizar o atraso nas encomendas. Existe uma variação de cerca de trinta mil minutos de *stockout* total entre os cenários extremos. Como o objetivo é procurar um cenário que apresente melhores resultados que o cenário base, os cenários dois e cinco são inviáveis, uma vez que apresentam resultados próximos ou piores ao cenário base.

Analisando o rácio entre o tempo de *setup* e o tempo de corte, existe uma grande variação, sendo que o pior cenário representa o dobro dos tempos de *setup* do melhor cenário. Conquanto, em relação ao cenário base, existe uma variação de cinquenta por cento.

Deste modo, perante as restrições atuais da fábrica, os cenários não excluídos são os cenários três, seis e oito. Todos estes cenários são aceitáveis, todavia, cada um representa o cenário ótimo consoante o objetivo e o peso atribuído pela empresa aos diferentes indicadores, sendo estes:

- O *stock* médio - de modo a minimizar os custos associados ao inventário;
- O tempo de *stockout* - de modo a minimizar as encomendas atrasadas e a insatisfação do cliente;
- O tempo de *setup* - de modo a otimizar a produção.

É possível assumir que qualquer um destes cenários é aceitável tendo melhores resultados gerais do que o cenário base, sem ser necessário qualquer investimento. Contudo não representam o melhor cenário possível.

Analisando o cenário quatro, embora não seja aceite perante as restrições atuais da fábrica, é atingida uma redução de cerca de setenta e sete por cento do tempo de *stockout* em relação ao cenário base, representando uma quantidade total de cerca sete lotes atrasados. É também possível observar uma redução de dois por cento do rácio entre tempo de *setup* e tempo de corte por cada DPE.

Este cenário implica o investimento da empresa em espaço de armazenamento, sensivelmente cinco estantes similares às utilizadas, uma vez que o *stock* máximo atingido representa cento e cinquenta e sete lotes. Contudo, as melhorias associadas à adoção deste, não só permitem manter um nível de serviço superior, como permitiram um aumento de produção, uma vez que existe redução dos tempos de *setup*.

Sendo que, no ano de 2020/2021, a SRAMPort teve uma produção de cinco milhões oitocentos e vinte mil metros de corrente, a utilização deste cenário pode permitir um aumento de até um por cento e meio, uma vez que as peças soltas produzidas na PM3 representam a restrição de fabrico, totalizando um aumento de oitenta e quatro mil metros de corrente, como demonstrado na Tabela 5-4.

Tabela 5-4- Faturação real e possível para o ano 2020/2021.

	Cenário Base	Cenário 4	Cenário 6
Redução de tempo de produção[%]	N/a	2,06	-0,05
Produção × 1 milhão [metros]	5,82	5,90	5,82

5.3. Análise para o ano modelo de 2022

Após a obtenção dos resultados dos vários cenários para a procura de 2021/2022, descritos na Tabela 5-5, é visível que os indicadores do *stock* médio, *stock* máximo, WIP máximo, quantidade produzida e de *stockout*, têm um comportamento muito similar aos resultados obtidos anteriormente (Tabela 5-3), sendo visível um aumento de produção em

relação ao anterior, uma vez que a procura também aumentou. Contudo, ainda que o rácio entre o tempo de *setup* e o tempo de corte tenha uma propensão semelhante à análise anterior, o tempo de *stockout* não é possível ser descrito pela mesma tendência. Deste modo, não foram obtidos cenários aceitáveis, dado que os cenários um, quatro e sete são excluídos devido a restrições de armazenamento e os cenários restantes são excluídos devido a não apresentarem melhorias a nível de tempo de *stockout*.

Tabela 5-5- Resultados de alguns indicadores dos diferentes cenários para a procura de 2021/2022.

Cenário		Base	1	2	3	4	5	6	7	8
Soma <i>stock</i> médio [Lotes]		66	90	50	59	87	55	67	99	46
<i>Stock</i> máx. [Lotes]		124	160	112	122	157	113	125	160	100
WIP máx. [Lotes]		55	54	52	58	59	59	57	53	54
Quantidade produzida [Lotes]		2257	2269	2235	2245	2281	2234	2273	2306	2239
Tempo de <i>stockout</i> total × 1000 [Min]		30,7	43,3	77,3	59,5	27,4	65,4	53,4	19,7	52,3
Quantidade de <i>Stockout</i> [Lotes]		8,24	8,41	68,18	24,80	6,01	29,10	17,96	5,34	34,38
$\frac{\text{Tempo setup}}{\text{Tempo de corte}}$ [%]	PM2	5	5	8	6	5	8	6	4	8
	PM3	7	4	8	6	4	7	7	4	8
	P2H100	8	5	11	9	6	11	7	5	11
$\frac{\text{Tempo setup}}{\text{Quantidade produzida}}$ $\left[\frac{\text{min}}{\text{Lote}}\right]$	PM2	10	9	16	13	10	15	11	7	14
	PM3	10	6	12	9	6	11	10	6	13
	P2H100	27	19	38	32	21	38	24	18	37
$\frac{\text{Tempo setup} + \text{tempo corte}}{\text{Quantidade produzida}}$ $\left[\frac{\text{min}}{\text{Lote}}\right]$	PM2	203	202	209	206	203	208	204	200	207
	PM3	161	158	163	160	158	162	161	158	164
	P2H100	374	364	386	380	369	386	369	364	383

Analisando o cenário sete, embora não seja aceite perante as restrições atuais da fábrica, é atingida uma redução de cerca de trinta e seis por cento do tempo de *stockout* em relação ao cenário base, representando uma quantidade total de cerca de cinco lotes

atrasados. É também possível observar uma redução de sete por cento do rácio entre o tempo de *setup* e o tempo de corte totalizado.

Este cenário implica o investimento da empresa em espaço de armazenamento, sensivelmente cinco estantes similares às utilizadas, uma vez que o *stock* máximo atingido representa cento e sessenta lotes. Contudo, as melhorias associadas à adoção deste, não só permitem manter um nível de serviço superior, como permitiram um aumento de produção, uma vez que existe redução dos tempos de *setup*.

Sendo que, no ano de 2021/2022, a SRAMPort teve uma produção de quatro milhões setecentos e sessenta mil metros de corrente, a utilização deste cenário pode permitir um aumento de até dois por cento, totalizando um aumento de noventa e dois mil metros de corrente, como demonstrado na Tabela 5-6.

Tabela 5-6- Faturação real e possível para o ano 2021/2022.

	Cenário Base	Cenário 4	Cenário 7
Redução de <i>setups</i> [%]	N/a	2,11	2,12
Produção × 1 milhão [metros]	4,76	4,85	4,85

5.4. Considerações e comparação entre análises

Devido a algumas restrições de dimensão de lote, referidas no capítulo 3.2, a quantidade de cartões por peça solta deve ser alvo de análise uma vez que ao analisar o dimensionando do número de *Kanbans*, através da equação (2-1), para a peça solta “440 14”, com uma procura anual de cerca de dois lotes e meio, *lead time* aproximado de quatro dias e tempo de espera no quadro de setenta e seis dias, retirado do SAP, é atingido um valor inferior a um cartão, como demonstrado:

$$y = \frac{2,5 \times 250}{247} \cdot (76 + 4) \approx 0,8 \text{ Cartões.} \quad (5-1)$$

Deste modo, o mau dimensionamento, não só pode estar a provocar *stockouts* (Yavuz & Şatir, 1995), como está a congestionar a prensa P2H100, uma vez que para a produção dessas quantidades nas DPE, é necessário cerca de cinco vezes o tempo de produção habitual.

Por fim, comparando os dois cenários base dos dois panoramas de procura de forma a compreender a variação da taxa de utilização, é visível que, para um aumento de produção de cerca de duzentos lotes, houve um aumento de sensivelmente cinco por cento da taxa de utilização das prensas como é visível na Tabela 5-7.

Tabela 5-7-Comparação dos cenários base face à variação da procura.

	Procura 2020/2021			Procura 2021/2022			Variação		
	PM2	PM3	P2H100	PM2	PM3	P2H100	PM2	PM3	P2H100
Taxa de utilização [%]	42	50	34	47	56	39	5	6	5
Quantidade produzida [Lotes]	2056			2257			199		

5.5. Implementação futura

Após os resultados analisados, a próxima etapa consiste na implementação do trabalho desenvolvido.

De forma a implementar a lógica de produção desenvolvida, existem alguns passos necessários. As etapas para a utilização do estudo são as seguintes:

1. O ficheiro de consumo (necessidades de consumo) deve ser tratado de forma a ser obtido um ficheiro como o demonstrado no capítulo 4.1.1;
2. O ficheiro de produção deve ser obtido de acordo com os parâmetros pretendidos, os quais, como demonstrado no subcapítulo anterior como demonstrado no capítulo 4.1.4;
3. Posteriormente, devem ser iteradas várias simulações, de forma a prever os possíveis efeitos;
4. Similarmente ao desenvolvido no capítulo 5.1, deve ser feito um desenho de experiências, de modo a verificar qual é a configuração com melhores resultados;
5. Em caso de necessidade de alteração dos parâmetros, devem ser feitas várias iterações de simulação;

6. Após conformidade dos resultados, a produção deve ser feita de acordo com o ficheiro de produção gerado, e os cartões devem ser inseridos no quadro *Heijunka* conforme as necessidades. Caso não haja necessidade, o cartão deve permanecer no quadro *Kanban* de acumulação, como descrito no capítulo 2.4.1;
7. Por fim, deve haver uma monitorização de forma a avaliar a necessidade de mudança de aspetos.

Adicionalmente, é necessário haver ações de formação de modo a apresentar a nova metodologia aos colaboradores. Deve também haver preocupação em manter quadros visuais para análise do comportamento do novo sistema.

Por fim, é de notar que não foi possível tanto a implementação como a análise dos resultados da aplicação em fábrica do estudo desenvolvido, devido ao curto espaço temporal para a conclusão dessa etapa.

6. CONCLUSÃO

Com a necessidade de estabelecer um poder de resposta mais flexível face à imprevisibilidade da procura e um contacto mais próximo com o consumidor, as empresas dedicadas à produção de componentes de bicicletas procuram desenvolver técnicas de produção igualmente flexíveis e eficientes. Por isso, a utilização de métodos de controlo e planeamento de produção eficientes, capazes de dimensionar e sequenciar a procura e lidar com a variabilidade a que esta está sujeita, podem ser decisivos para o futuro de uma empresa. Quando a produção está sujeita a tempos de *setup* variáveis conforme a sequência de produção, o dimensionamento e o sequenciamento adquirem uma importância acrescida. Assim, a criação de metodologias para o auxílio na tomada dessas decisões revela um elevado interesse de estudo.

Neste âmbito, surge o trabalho elaborado no estudo apresentado, com o objetivo principal de desenvolver e otimizar uma metodologia de sequenciamento e loteamento com base na criação de um modelo.

Uma das maiores dificuldades sentidas no desenvolvimento deste trabalho foi na conceptualização do modelo, devido às restrições e à complexidade do sistema em questão.

Os objetivos inicialmente delineados foram atingidos em parte, uma vez que foram desenvolvidos cenários capazes de otimizar a produção, permitindo atingir aumentos de cerca de um por cento e meio e dois por cento, nos períodos 2020/2021 e 2021/2022, respetivamente, trazendo benefícios a nível global. Devido à complexidade do estudo e às características do sistema, não foi possível a implementação das conclusões da análise desenvolvida.

Concluindo, o modelo criado possui capacidade para ilustrar o sistema atual, possibilitando obter resultados interessantes no comportamento do modelo face à alteração de parâmetros de planeamento de produção. Adicionalmente, devido as características do modelo de simulação, foi também possível o estudo de diferentes cenários. Como tal, o modelo desenvolvido tem um elevado potencial de aplicação, demonstrando ser uma ferramenta útil para auxiliar a equipa de planeamento na tomada de decisões, sendo este uma das principais motivações deste estudo.

6.1. Recomendações

Apesar dos resultados positivos, é necessário ter em consideração que, por vezes, não é possível ter em conta no modelo a complexidade de um sistema. Deste modo, devido às restrições do sistema e à impossibilidade de implementação no decorrer do estudo, a aplicação da metodologia carece de uma análise interna por parte da SRAMPort. Complementarmente, é sugerido um redimensionamento da quantidade *Kanbans*, alterando a quantidade *standart* de lote para peças com menor procura, de forma a permitir uma uniformização do processo de produção e estudar o efeito nos *stockouts*. É ainda sugerido a implementação de técnicas SMED (*single-minute-exchange-of-die*), com o objetivo de fornecer uma maior flexibilidade ao sistema, uma vez que serão possíveis reduções no tamanho de lotes mínimos de produção, e conseqüentemente reduções de WIP e *stock* médio. Adicionalmente, não foi possível um estudo aprofundado sobre metodologias presentes na literatura, relativas ao sequenciamento e loteamento para máquinas únicas com tempo de *setup* dependente da sequência (*Single Machine with sequence dependet setup times*), pelo que é de extremo interesse a análise do comportamento do sistema sujeito a heurísticas já desenvolvidas. É também recomendado, caso seja do interesse da empresa, a criação de uma aplicação que integre o trabalho desenvolvido neste estudo, com vista a facilitar e a tornar intuitivo o manuseamento, sem a necessidade de conhecimento a nível de programação. Suplementarmente, é recomendado uma ampliação do estudo de forma a incluir o sistema produtivo não modelado permitindo outras análises.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akturk, M. S., & Erhun, F. (1999). An overview of design and operational issues of kanban systems. *International Journal of Production Research*, 37(17), 3859–3881. <https://doi.org/10.1080/002075499189808>
- Banks, J., & Carson II, J. S. (1986). Introduction to discrete-event simulation. In *Proceedings of the 18th Conference on Winter Simulation*, 17–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/318242.318253>
- Berkley, B. J. (1992). A review of the kanban production control research literature. *Production and Operations Management*, 1(4), 393–411. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.1992.tb00004.x>
- Bernegger, P. M., & Webster, S. (2014). Fixed-cycle smoothed production improves lean performance for make-to-stock manufacturing. *Interfaces*, 44(4), 411–427. <https://doi.org/10.1287/inte.2014.0750>
- Coleman, B. J., & Vaghefi, M. R. (1994). Heijunka (?): A key to the Toyota production system. *Production and Inventory Management Journal*, 35(4), 31.
- Davis, W. J., & Stubit, S. J. (1987). Configuring a kanban system using a discrete optimization of multiple stochastic responses. *International Journal of Production Research*, 25(5), 721–740. <https://doi.org/10.1080/00207548708919873>
- Deng, Q., & Wang, J. (2012). Leveling-based kanban calculation in production system. *Applied Mechanics and Materials*, 229–231, 2514–2517. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.229-231.2514>
- el Abbadi, L., Houti, M., Abbadi, L. el, Manti, E., & Elrhanimi, S. (2018). Kanban System for Industry 4.0 Environment. *Article in International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 60–65. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.16.21780>
- Elrhanimi, S., & el Abbadi, L. (2020). Raw material stock optimization and implementation of Kanban system. *2020 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies, ISAECT 2020*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISAECT50560.2020.9523709>
- Furmans, K. (2005). Models of heijunka-levelled kanban-systems. In *5th International Conference on Analysis of Manufacturing Systems-Production and Management*, 243–248.
- Huang, C. C., & Kusiak, A. (1996). Overview of kanban systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 9(3), 169–189. <https://doi.org/10.1080/095119296131643>

- Hüttmeir, A., de Treville, S., van Ackere, A., Monnier, L., & Prenninger, J. (2009). Trading off between heijunka and just-in-sequence. *International Journal of Production Economics*, 118(2), 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.12.014>
- Kotani, S. (2007). Optimal method for changing the number of kanbans in the e-Kanban system and its applications. *International Journal of Production Research*, 45(24), 5789–5809. <https://doi.org/10.1080/00207540601096940>
- Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis: Vol. Vol.5*. www.averill-law.com
- Lyonnet, B. (2010). *Amélioration de la performance industrielle : vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00655808>
- Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, 7–13.
- Matta, A., Dallery, Y., & di Mascolo, M. (2005). Analysis of assembly systems controlled with kanbans. *European Journal of Operational Research*, 166(2), 310–336. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.09.035>
- Matzka, J., di Mascolo, M., & Furmans, K. (2012). Buffer sizing of a Heijunka Kanban system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(1), 49–60. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0317-3>
- Missbauer, H., & Uzsoy, R. (2022). Order release in production planning and control systems: challenges and opportunities. *International Journal of Production Research*, 60(1), 256–276. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1994165>
- Murino, T., & Romano, E. (2010). Optimal size of kanban board in a single stage multi product system. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 5(6), 464–473. <http://www.impianti.unina.it>
- Parsons, D., Thorn, R., & Inkila, M. (2018). Using Trello to support agile and lean learning with Scrum and Kanban in teacher professional development. *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 720–724. <https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615399>
- Schmidt, J.W., and R.E. Taylor (1970). *Simulation and Analysis of Industrial Systems*, Richard D. Irwin, Homewood, Illinois.
- Schonberger, R. J. (1983). Applications of single-card and dual-card kanban. *Interfaces*, 13(4), 56–67. <https://doi.org/10.1287/inte.13.4.56>
- Sendil Kumar, C., & Panneerselvam, R. (2007). Literature review of JIT-KANBAN system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3), 393–408. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0340-2>

-
- Singh, N., & Brar, J. K. (1992). Modelling and analysis of just-in-time manufacturing systems: a review. *International Journal of Operations and Production Management*, 12(2), 3–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/01443579210009005>
- Spearman, M. L., Woodruff, D. L., & Hoppt, W. 1. (1990). CONWIP: a pull alternative to kanban. *The International Journal of Production Research*, 28(5), 879–894. <https://doi.org/10.1080/00207549008942761>
- Spenhoff, P., Wortmann, J. C., & Semini, M. (2020). EPEC 4.0: an Industry 4.0-supported lean production control concept for the semi-process industry. *Production Planning and Control*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1864496>
- Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. In *International Journal of Production Research* (Vol. 43, Issue 5, pp. 869–898). <https://doi.org/10.1080/0020754042000298520>
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>
- Wang, S., & Sarker, B. R. (2006). Optimal models for a multi-stage supply chain system controlled by kanban under just-in-time philosophy. *European Journal of Operational Research*, 172(1), 179–200. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.10.001>
- Yang, K. K. (2000). Managing a flow line with single-kanban, dual kanban or CONWIP. *Production and Operations Management*, 9(4), 349–366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2000.tb00463.x>
- Yavuz, I. H., & Şatir, A. (1995). A kanban-based simulation study of a mixed model just-in-time manufacturing line. *International Journal of Production Research*, 33(4), 1027–1048. <https://doi.org/10.1080/00207549508930192>

ANEXO A

Velocidade	Designação	Descrição	Corrente				Elo de fecho	
			Placa Exterior	Placa Interior	Eixo	Rolo	Placa	Eixo
1SPD	PC1 Niq.	08 COR PC1 NIQUELADA - 1MT	400 20	500 18	700 13	815 12	419 11 900 13	705 13
7SPD	PC10 Niq.	Cor. PC10 SRAM NIQ/REV 1MT	400 34	500 41	700 17	815 22	440 13	705 10
8SPD	PC830	CO PC830 - 1 METRO	400 47	500 17	700 17	815 22	440 12	705 10
	PC850	COR. PC850 CINZENTA - 1MT	400 48	500 17	700 18	815 22	440 12	705 10
	PC870	CO PC870 - 1 METRO	400 49	500 17	700 18	815 22	440 12	705 10
9SPD	PC951	Cor. PC951 SRAM CINZA - 1MT	400 31	500 17	700 16	815 16	440 14	705 11
	PC971	CORRENTE PC971 - 1 MT	400 35	500 17	700 16	815 16	440 14	705 11
10SPD	PC1031	CO PC1031 - 1 METRO	400 77	500 20	703 10	815 17	440 17	708 10
	PC1051	CO PC1051 - 1 METRO	400 76	500 19	703 10	815 17	440 17	708 10
	PC1071	CO PC1071 - 1 METRO	400 75	500 20	702 17	815 17	440 17	708 10
	PC1091R	Cor. PC1091R SRAM PRATA - 1MT	400 73	500 19	702 17	815 17	440 17	708 10
	EX1	CO EX1 GENÉRICO - 1 MT	400 88	500 38	703 10	815 23	440 17	708 10
11SPD	PC1110	CO PC1110 GENÉRICO - 1MT	400 81	500 29	703 11	815 17	440 21	708 13
	PC1130	CO PC1130 GENÉRICO - 1MT	400 84	500 29	703 11	815 17	440 21	708 13
	PC1170	CO PC1170 GENÉRICO - 1MT	400 82	500 29	702 18	815 17	440 21	708 13
	PCX1	CO PCX1 GENÉRICO - 1MT	400 85	500 34	703 11	815 17	440 21	708 13
	PCXX1	CO PCXX1 - 1 MT	400 78	500 27	702 18	815 23	440 21	708 13
	RED 22	CO PCRED22 GENÉRICO - 1MT	400 80	500 28	702 18	815 17	440 21	708 13
12SPD	GX Eagle	CO GX EAGLE GENERIC ASSEMBLY	400 79	500 39	703 12	815 27	440 23	708 15
	NX Eagle	CO NX EAGLE GENERIC ASSEMBLY	400 86	500 40	703 12	815 27	440 23	708 15
	SX Eagle	CO SX EAGLE GENÉRICO 1 METRO	400 95	500 42	703 12	815 27	440 23	708 15
	X01 Eagle	CO EAGLE X01 GENERIC ASSEMBLY	400 79	500 35	702 22	815 24	440 23	708 15
	XX1 Eagle	CN EAGLE XX1 GENERIC ASSEMBLY	400 79	500 35	702 21	815 24	440 23	708 15
	XX1 Eagle Solid Pin	CO EAGLE XX1 SOLID PIN GENERIC ASSEMBLY	400 79	500 35	703 12	815 24	440 23	708 15
	FORCE D1	CO FORCE D1 GENÉRICO 1 METRO	400 89	500 37	703 13	815 26	440 24	708 16
	RED D1	CO RED D1 GENÉRICO 1 METRO	400 87	500 37	702 20	815 26	440 24	708 16
	RIVAL D1	CO RIVAL D1 GENÉRICO 1 METRO	400 96	500 43	703 13	815 28	440 24	708 16
	X0 T-TYPE	CO X0 T-TYPE GENERIC ASSEMBLY	400 99	500 37	703 13	815 26	440 25	708 16
	XX T-TYPE	CO XX T-TYPE GENERIC ASSEMBLY	400 97	500 37	702 20	815 26	440 25	708 16
	XX SL T-TYPE	CO XX SL T-TYPE GENERIC ASSEMBLY	400 98	500 37	702 20	815 26	440 25	708 16

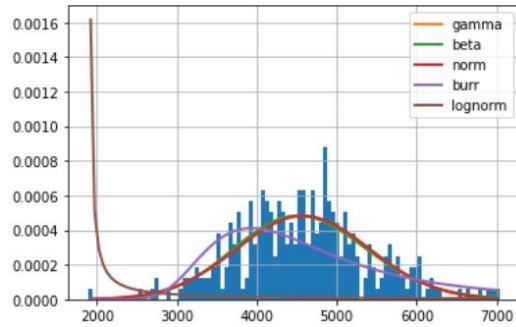
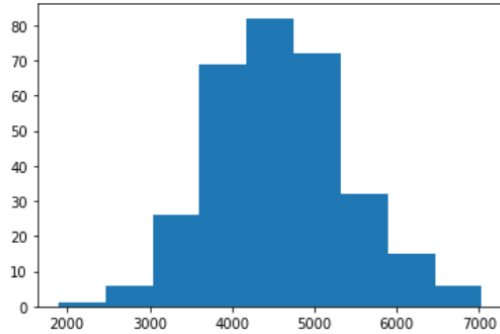
APÊNDICE A

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
419 11	440 13	440 14	440 17	440 21	440 24	400 78	400 81	440 23	400 79	400 95	500 28	500 34	500 29	500 42	500 27	500 17	500 18	500 41	900 13
440 12	400 31				440 25	400 80	400 86				500 43	500 39	500 40		500 35	500 20	500 19		
400 20	400 47					400 82									500 37				
400 34	400 48					400 84									500 38				
400 35						400 85													
400 49						400 87													
400 73						400 88													
400 75						400 89													
400 76						400 96													
400 77						400 97													
						400 98													
						400 99													

APÊNDICE B

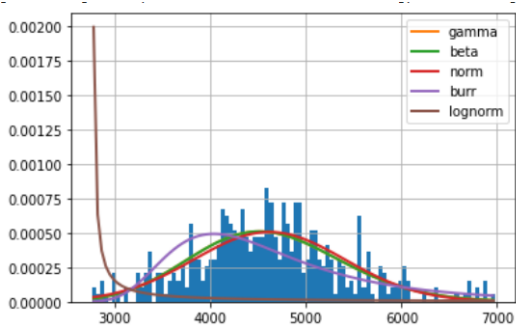
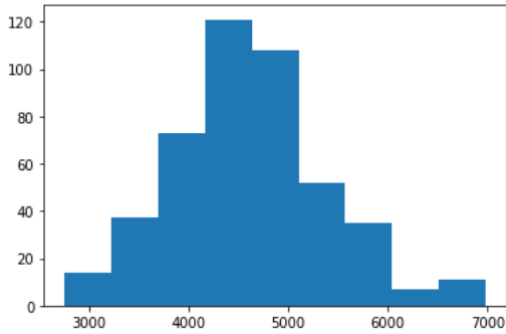
Família 1

Min: 1895 Max: 7033 Mean: 4583
 Median: 4576 Mode: 4464



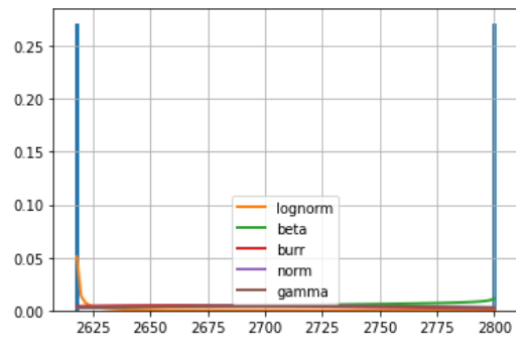
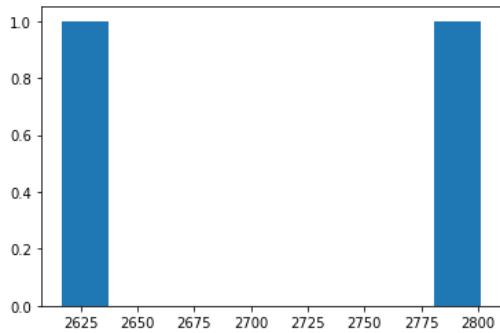
Família 2

Min: 2760 Max: 6978 Mean: 4619
 Median: 4598 Mode: 4400



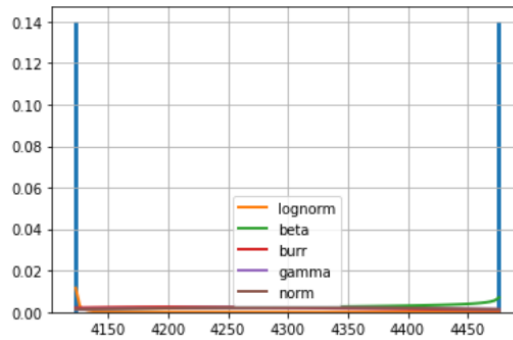
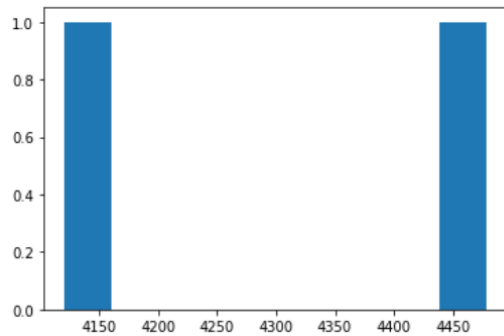
Família 3

Min: 2617 Max: 2801 Mean: 2709
 Median: 2709 Mode: 2627



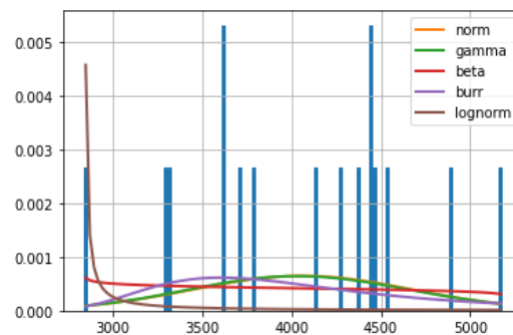
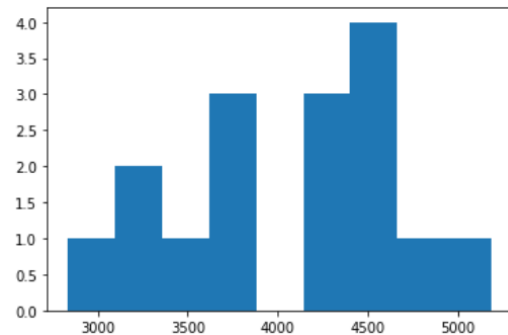
Família 4

Min: 4121 Max: 4478 Mean: 4300
 Median: 4300 Mode: 4141



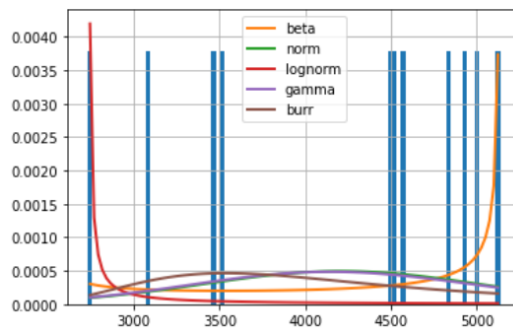
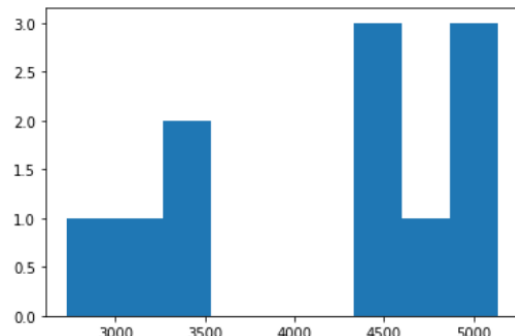
Família 5

Min: 2837 Max: 5183 Mean: 4061
 Median: 4216 Mode: 4531



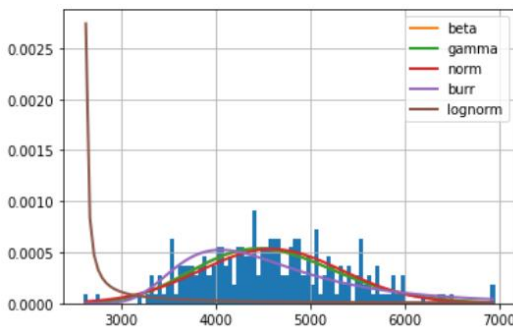
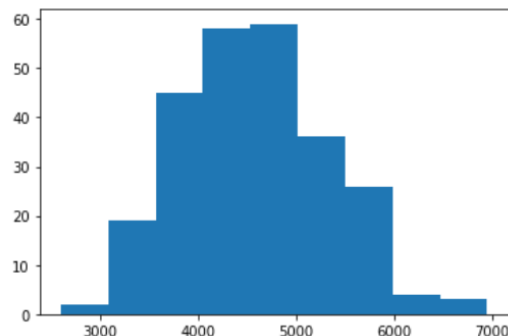
Família 6

Min: 2732 Max: 5135 Mean: 4209
 Median: 4520 Mode: 4468

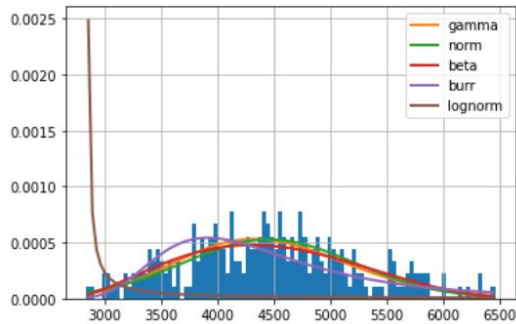
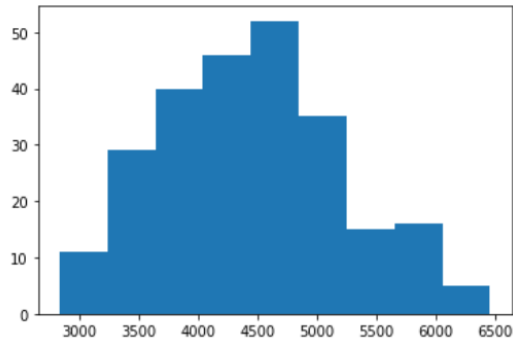


Família 7

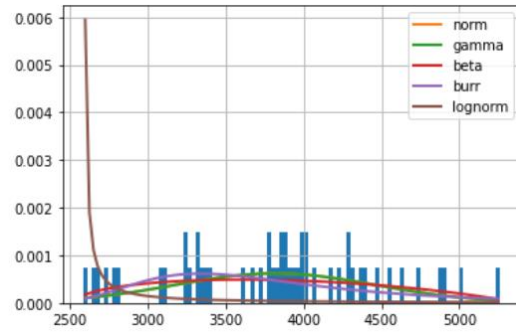
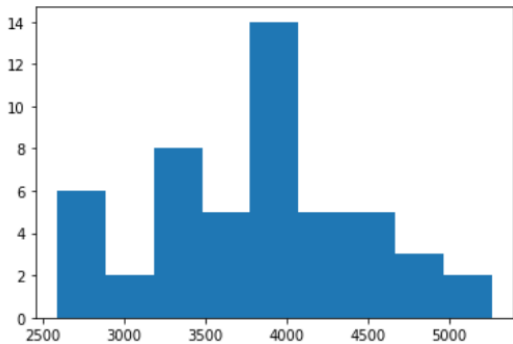
Min: 2598 Max: 6953 Mean: 4586
 Median: 4552 Mode: 4776



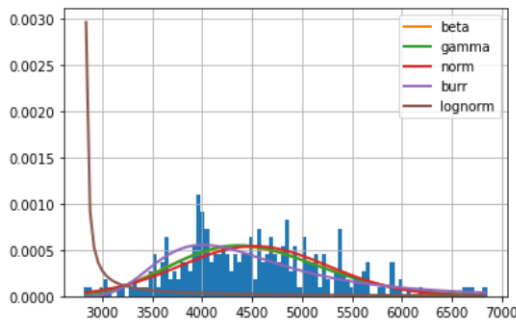
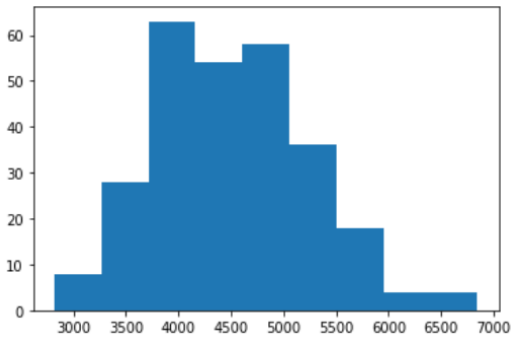
Família 8
 Min: 2833 Max: 6457 Mean: 4453
 Median: 4438 Mode: 4645



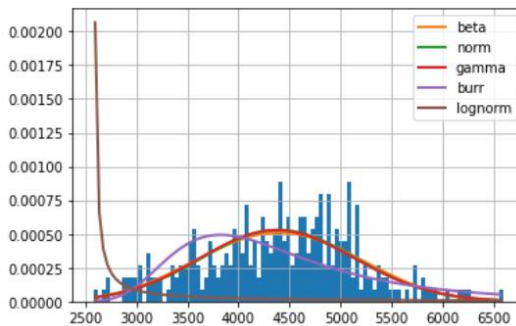
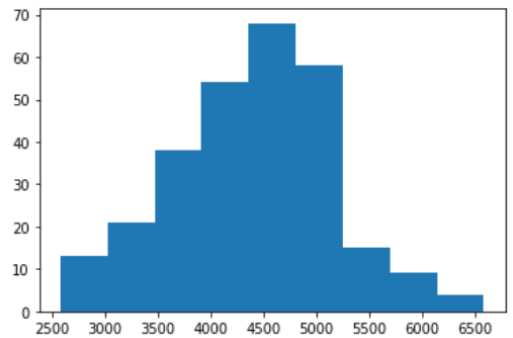
Família 9
 Min: 2587 Max: 5261 Mean: 3821
 Median: 3866 Mode: 3924



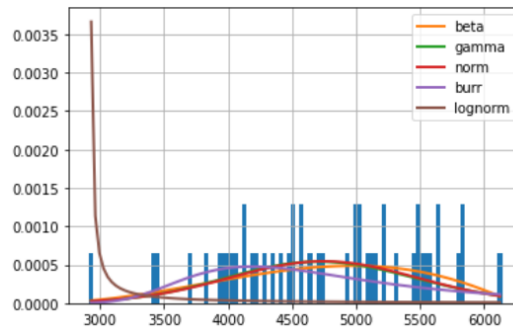
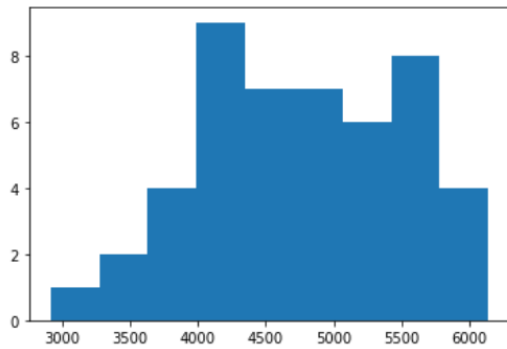
Família 10
 Min: 2820 Max: 6848 Mean: 4520
 Median: 4479 Mode: 3939



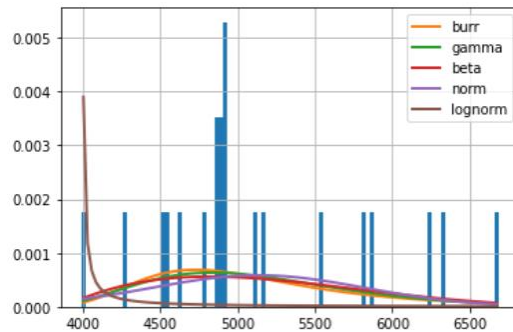
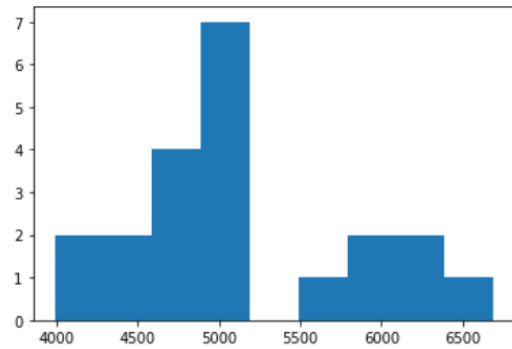
Família 11
 Min: 2577 Max: 6590 Mean: 4393
 Median: 4438 Mode: 4584



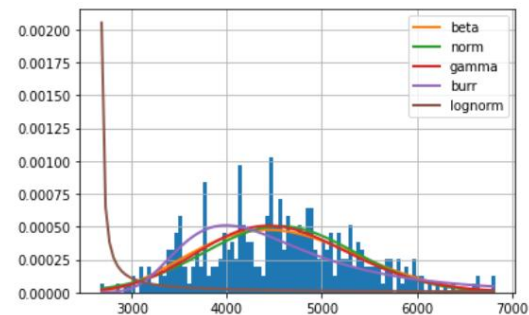
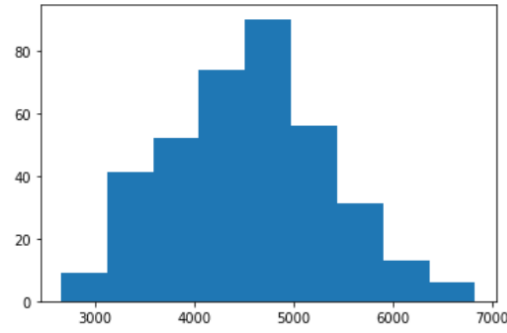
Família 12
 Min: 2915 Max: 6139 Mean: 4746
 Median: 4724 Mode: 4169



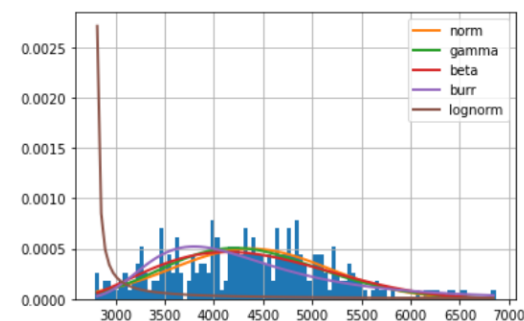
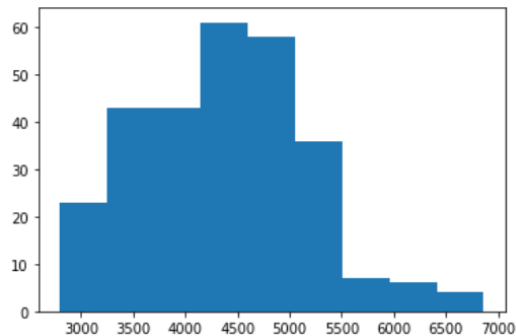
Família 13
 Min: 3992 Max: 6690 Mean: 5135
 Median: 4925 Mode: 5041



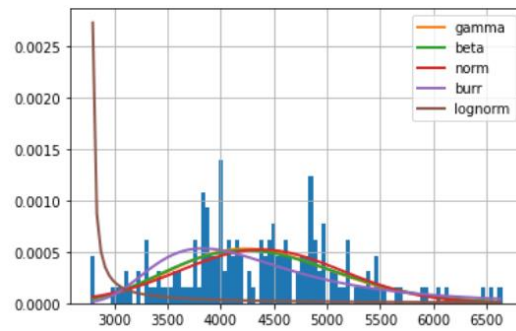
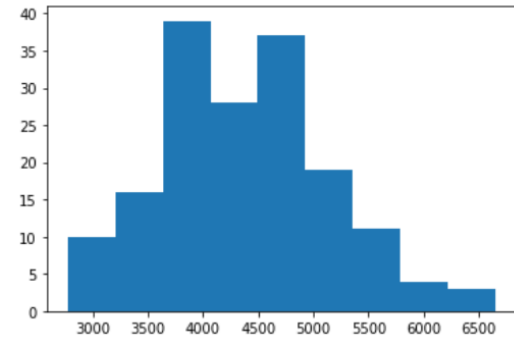
Família 14
 Min: 2660 Max: 6827 Mean: 4557
 Median: 4548 Mode: 4744



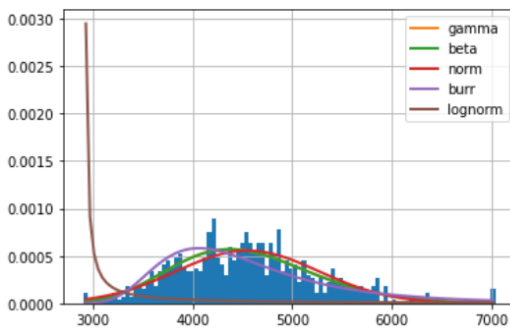
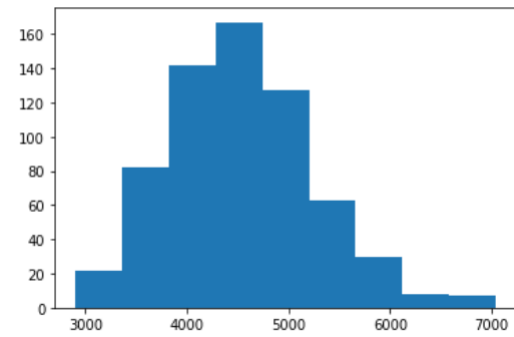
Família 15
 Min: 2794 Max: 6863 Mean: 4370
 Median: 4373 Mode: 4376



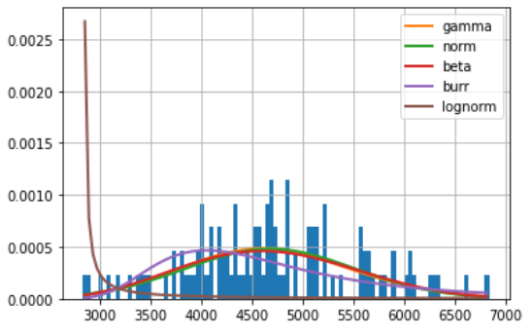
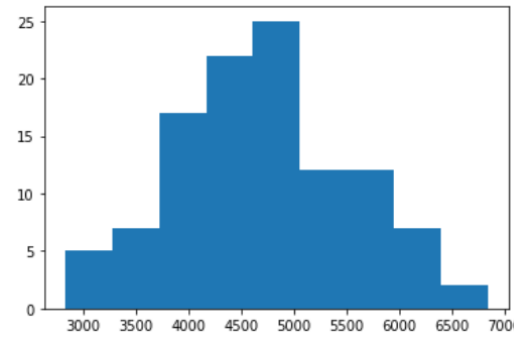
Familia 16
 Min: 2776 Max: 6645 Mean: 4377
 Median: 4379 Mode: 3851



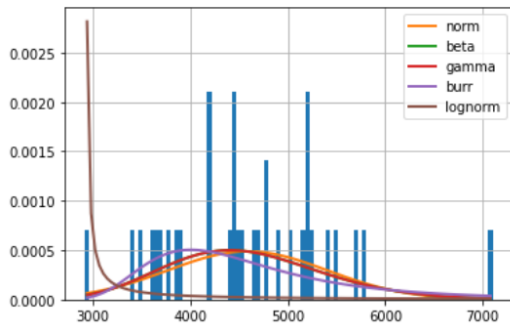
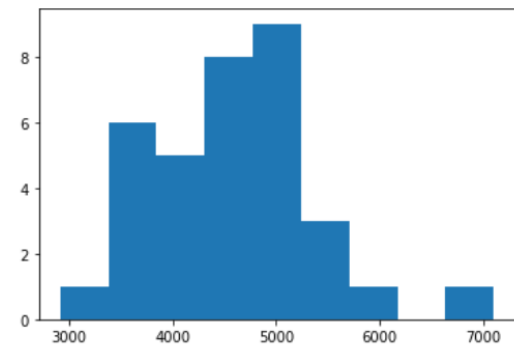
Familia 17
 Min: 2906 Max: 7037 Mean: 4550
 Median: 4522 Mode: 4512



Familia 18
 Min: 2838 Max: 6836 Mean: 4684
 Median: 4672 Mode: 4837



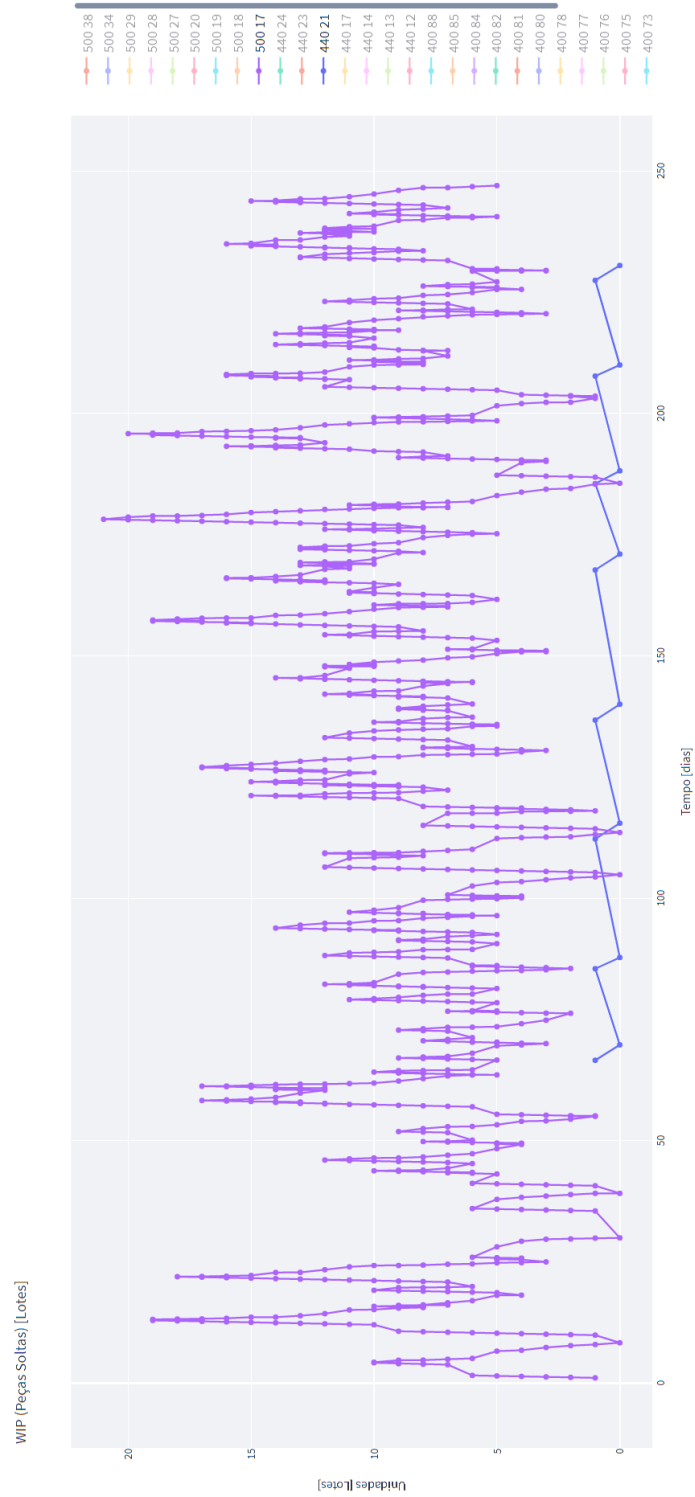
Familia 19
 Min: 2917 Max: 7101 Mean: 4586
 Median: 4512 Mode: 5009



APÊNDICE C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
400 31	400 47	400 73	400 78	440 12	440 17	440 23	500 17	500 19	500 27
400 35	400 48	400 75	400 80	440 13	440 21	440 24	500 18	500 20	500 28
	400 49	400 76	400 81	440 14		440 25	500 41	500 38	500 29
		400 77	400 82						500 34
		400 88	400 84						
			400 85						

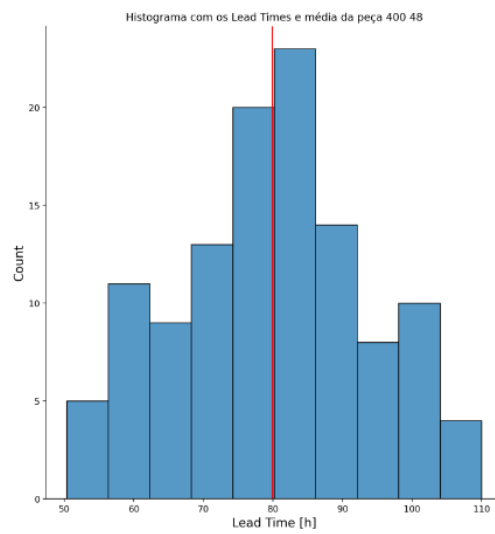
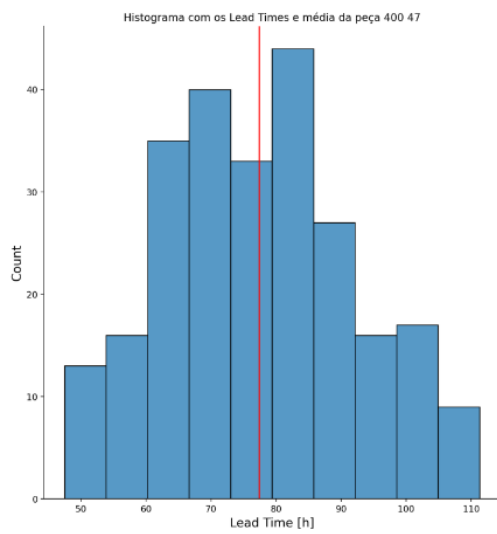
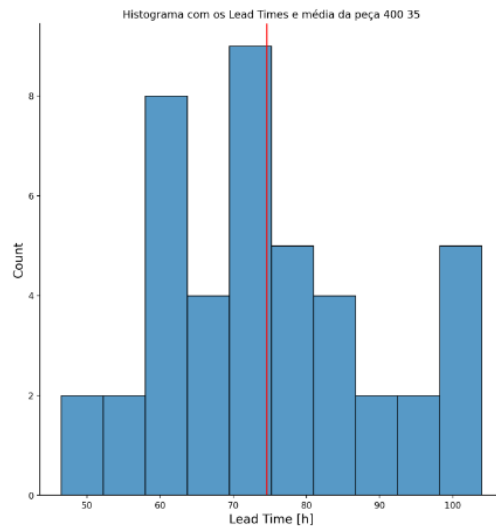
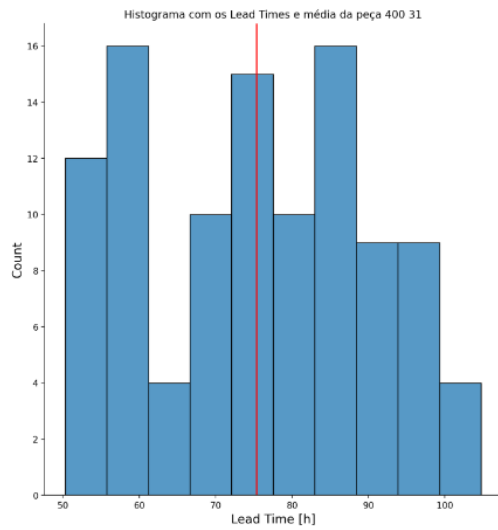
APÊNDICE D

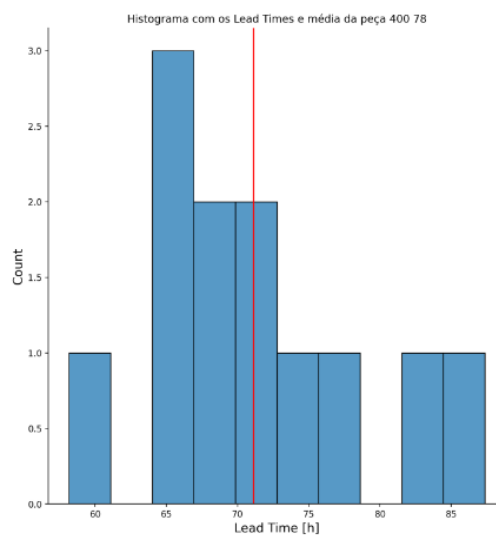
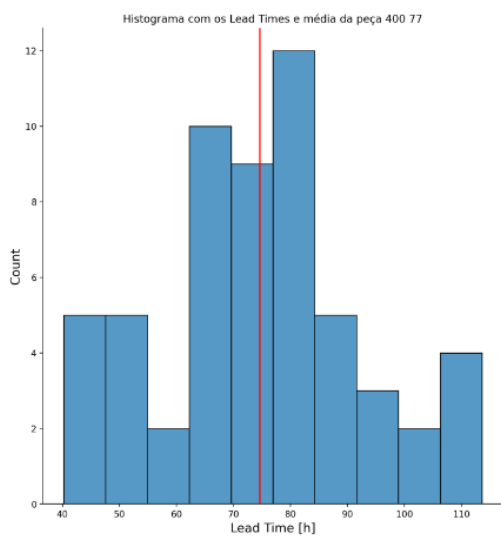
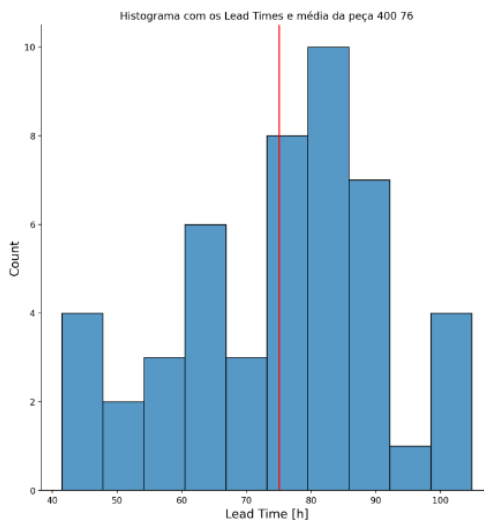
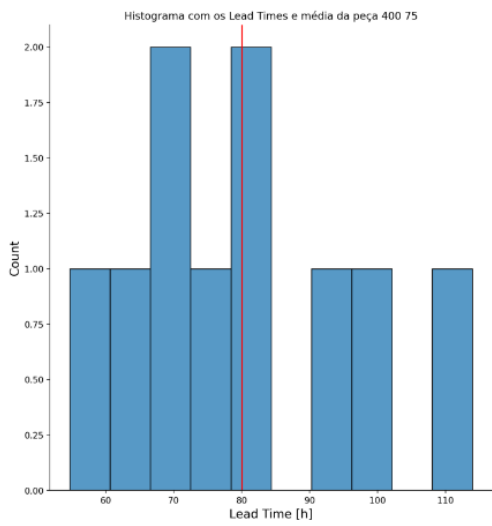
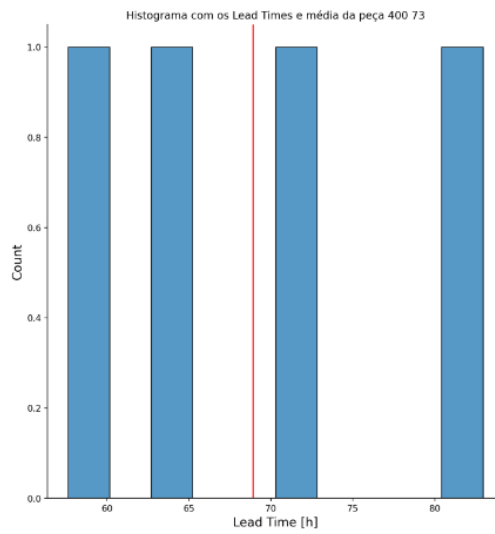
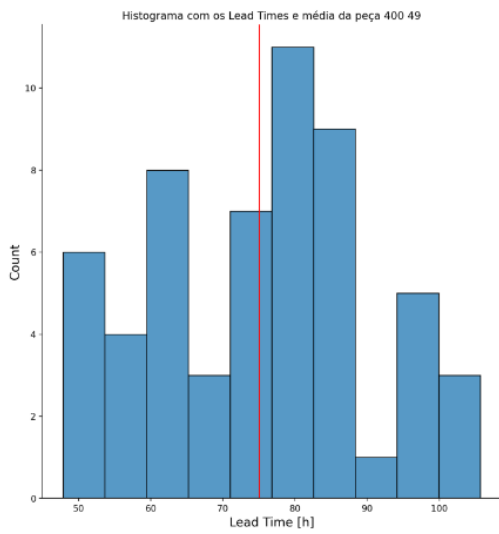


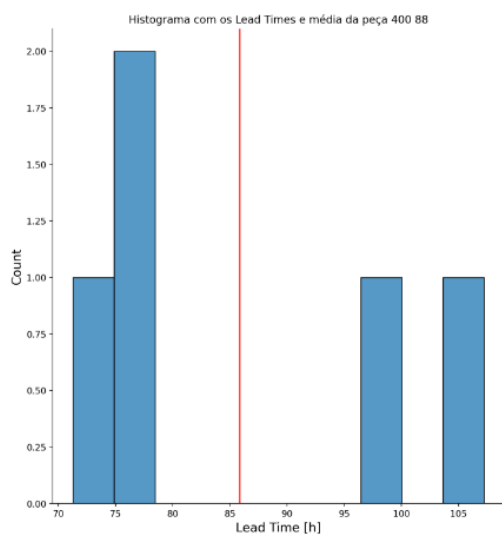
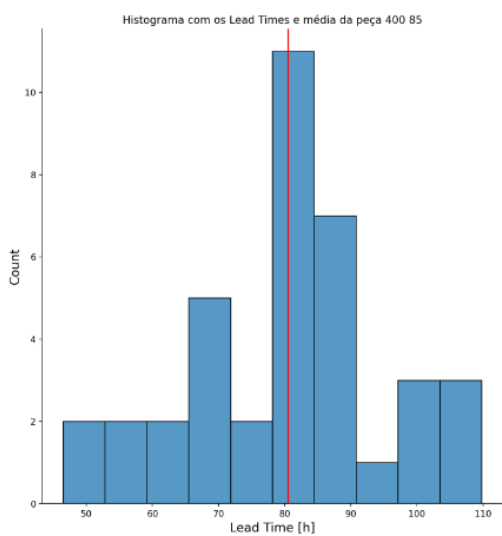
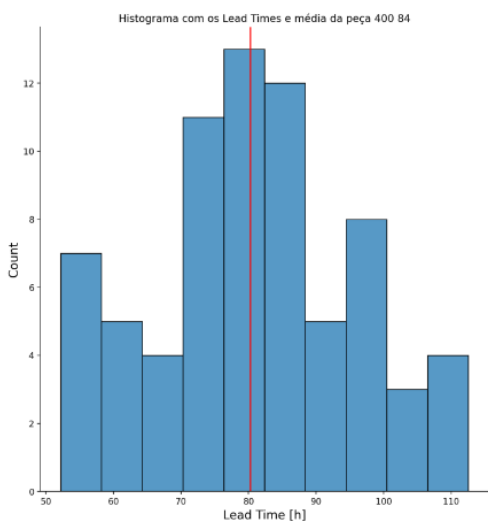
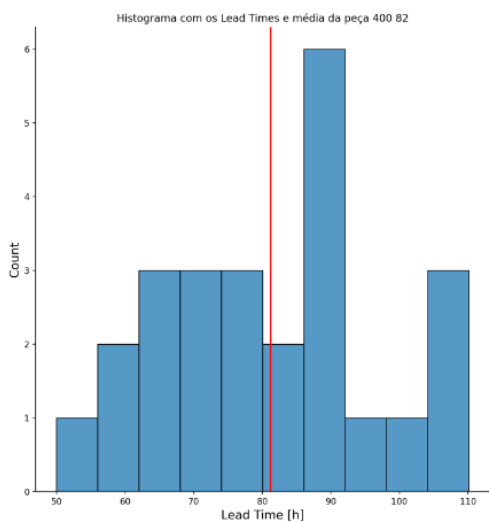
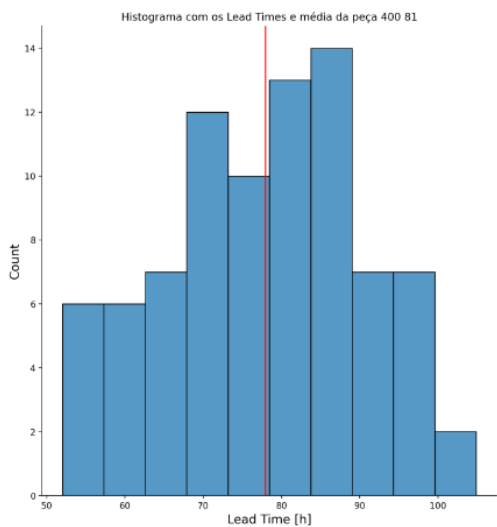
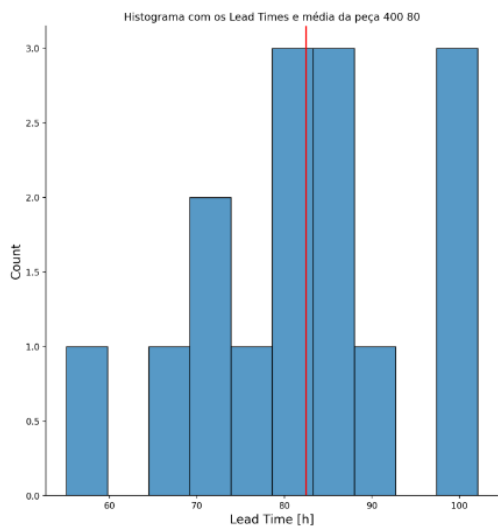
APÊNDICE E

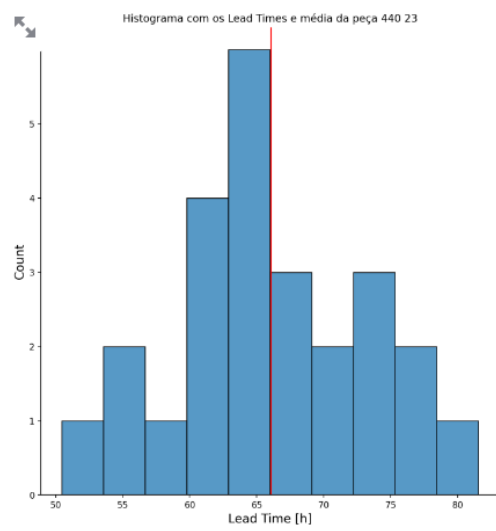
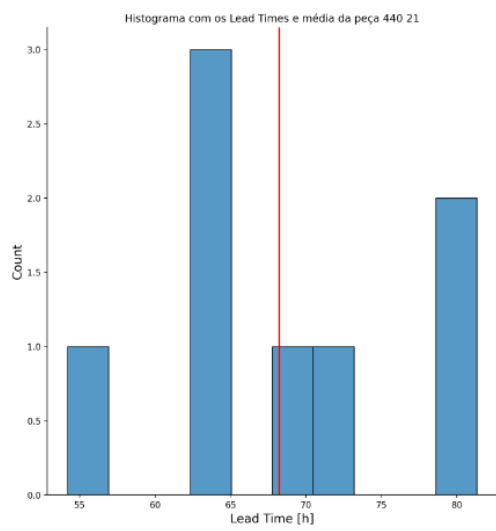
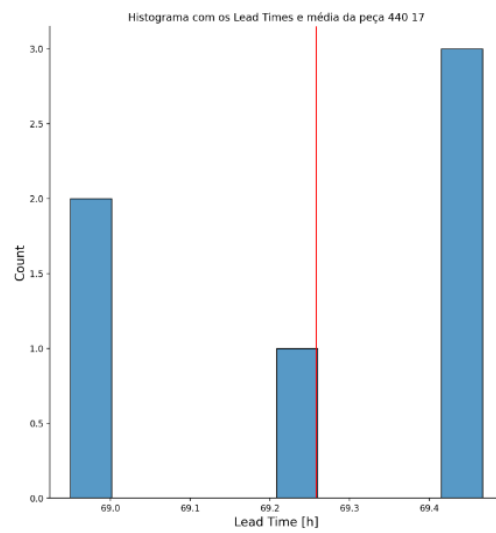
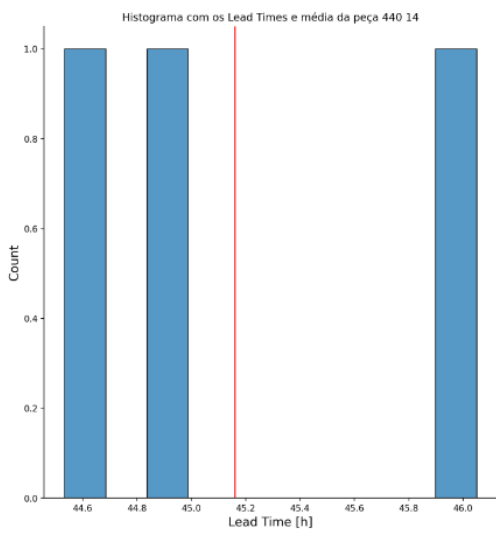
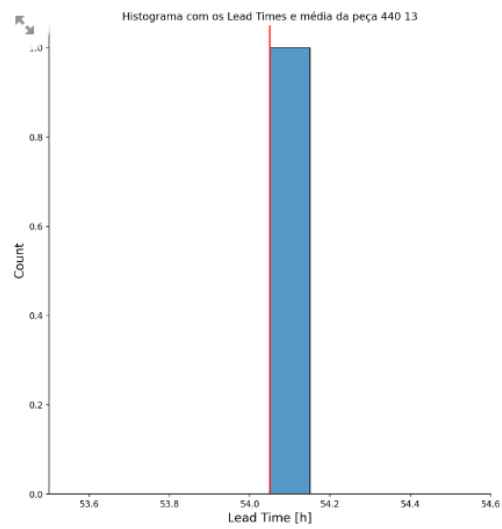
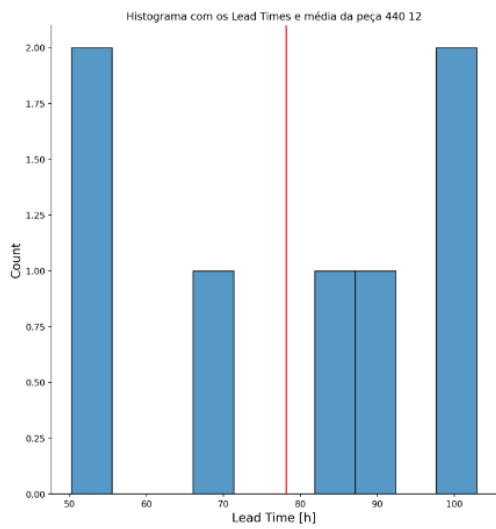


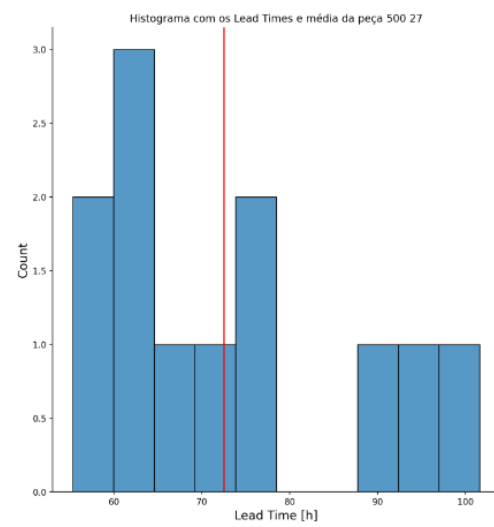
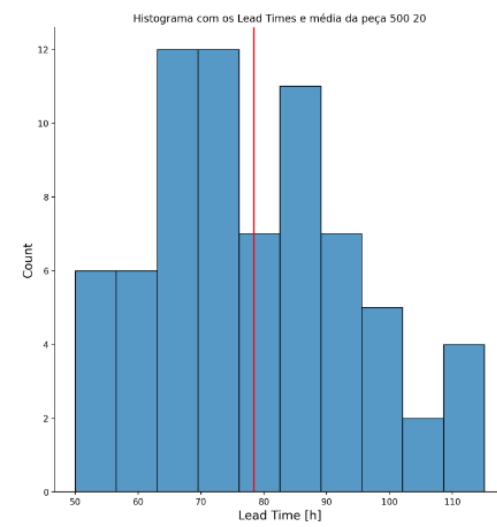
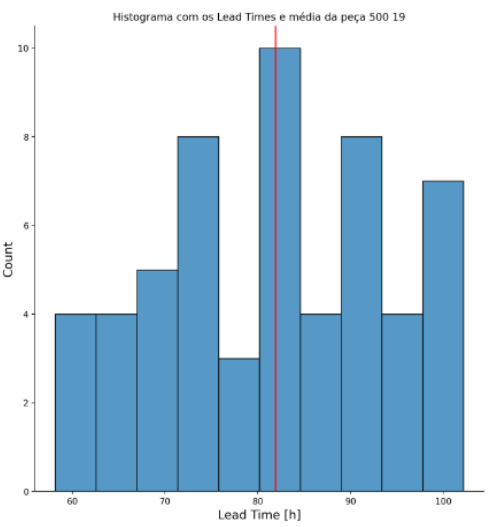
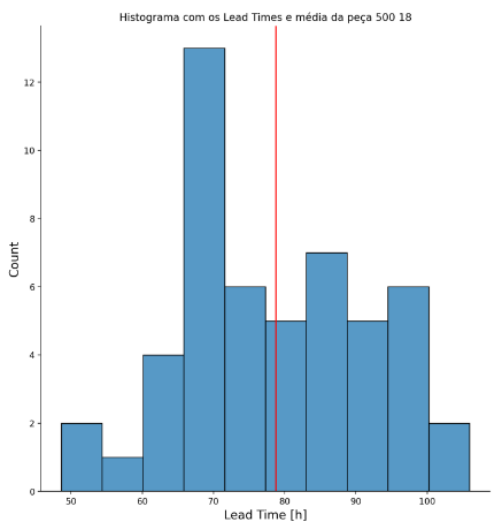
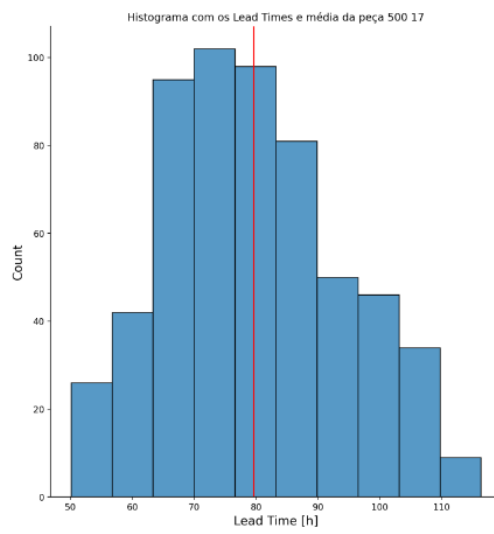
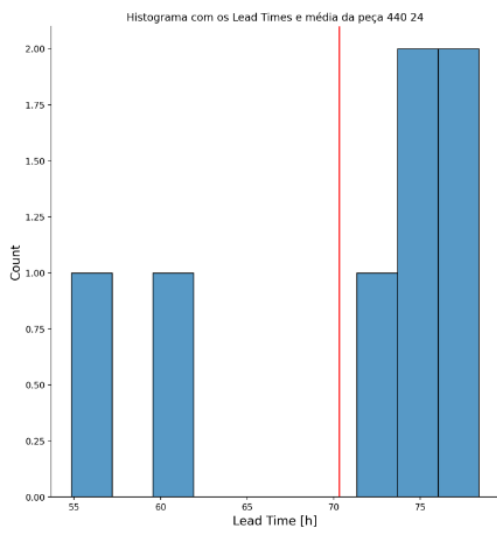
APÊNDICE F

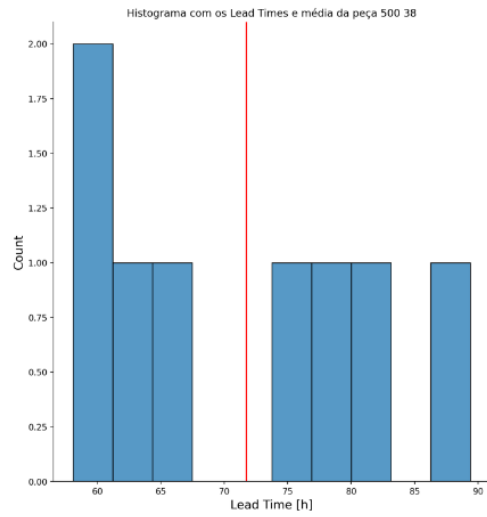
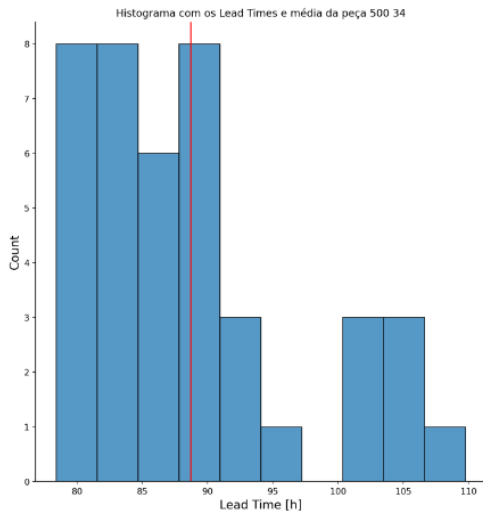
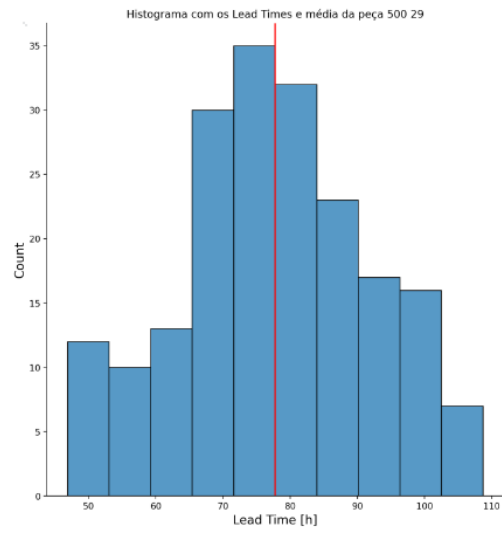
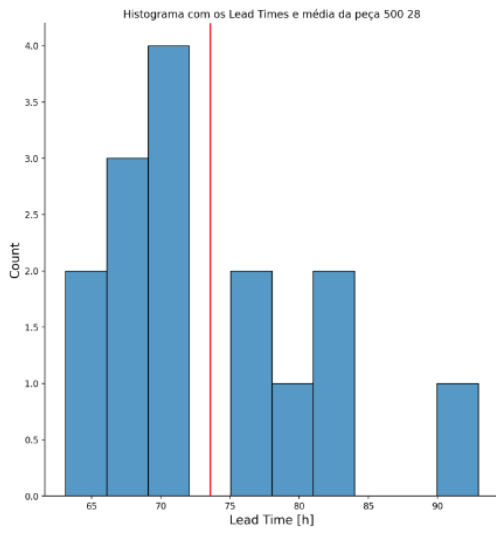










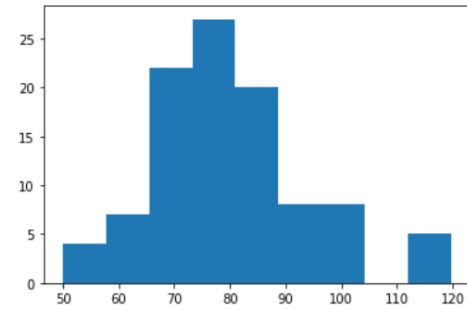


APÊNDICE G

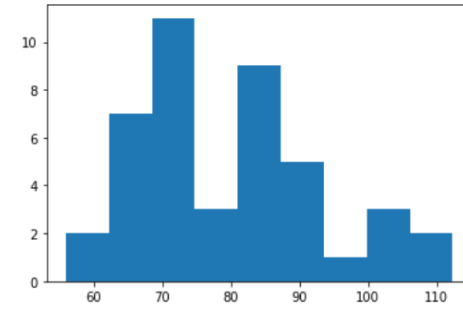
Ref	Tempo de stockout Total[min]	Quantidade Total [lotes]	Encomendas atrasadas	Encomendas totais	Tempo de stockout médio[min]	Quantidade média [lotes]
0 440 14	13,686.8500	0.0556	11.0000	345.0000	1,244.2591	0.0051
1 440 21	12,649.8000	0.1227	11.0000	727.0000	1,149.9818	0.0112
2 400 76	4,849.7833	1.0220	3.0000	114.0000	1,616.5944	0.3407
3 400 31	2,386.3000	2.1580	6.0000	243.0000	397.7167	0.3597
4 500 34	1,465.9767	1.2980	2.0000	99.0000	732.9883	0.6490
5 500 17	579.9167	0.8540	1.0000	1,181.0000	579.9167	0.8540
6 500 20	508.5633	1.5130	3.0000	186.0000	169.5211	0.5043
7 500 29	407.4967	0.3020	1.0000	516.0000	407.4967	0.3020
8 500 19	182.6467	0.5420	1.0000	135.0000	182.6467	0.5420

APÊNDICE H

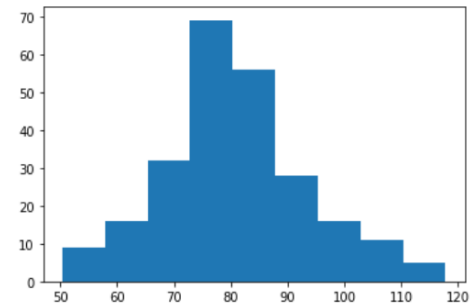
400 31
 Min: 50 Max: 120 Mean: 80
 Median: 80 Mode: 77



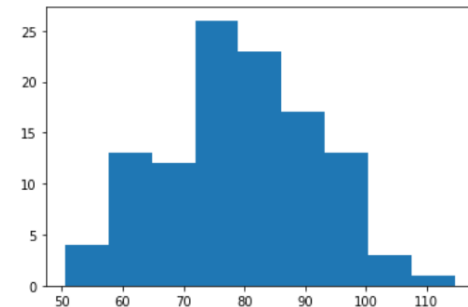
400 35
 Min: 56 Max: 112 Mean: 79
 Median: 80 Mode: 72



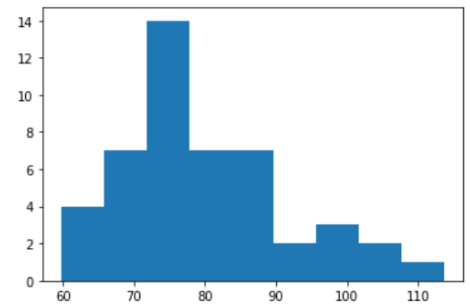
400 47
 Min: 50 Max: 118 Mean: 81
 Median: 80 Mode: 77



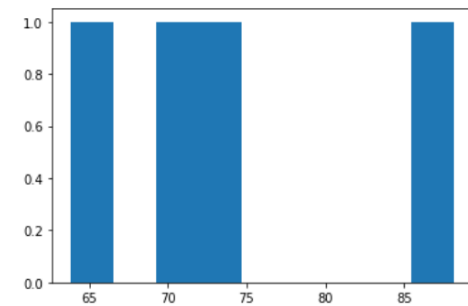
400 48
 Min: 51 Max: 115 Mean: 79
 Median: 79 Mode: 75



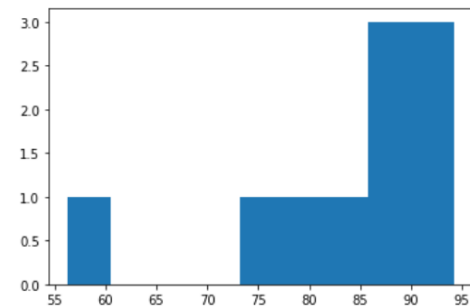
400 49
 Min: 60 Max: 114 Mean: 80
 Median: 78 Mode: 75



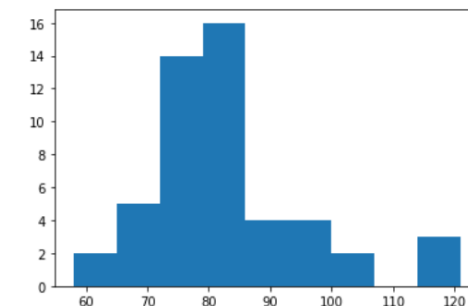
400 73
 Min: 64 Max: 88 Mean: 74
 Median: 72 Mode: 65



400 75
 Min: 56 Max: 94 Mean: 84
 Median: 87 Mode: 88

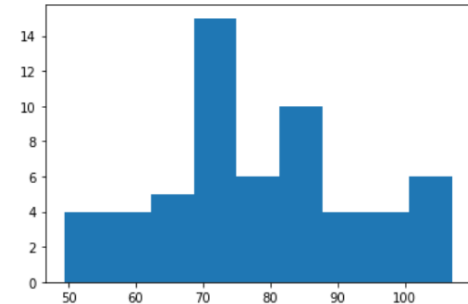


400 76
 Min: 58 Max: 121 Mean: 83
 Median: 82 Mode: 82



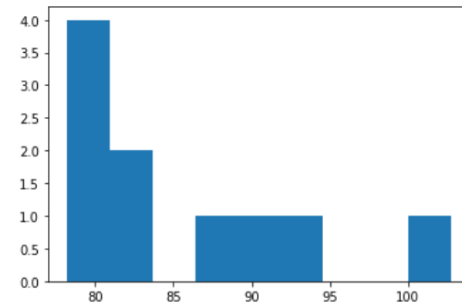
400 77

Min: 49 Max: 107 Mean: 79
 Median: 77 Mode: 72



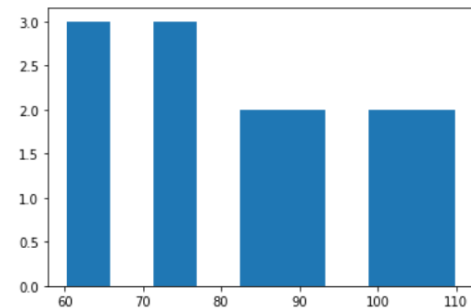
400 78

Min: 78 Max: 103 Mean: 85
 Median: 81 Mode: 80



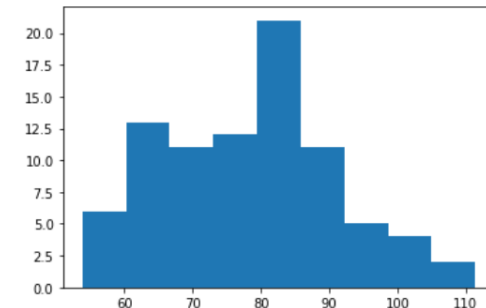
400 80

Min: 60 Max: 110 Mean: 85
 Median: 85 Mode: 63



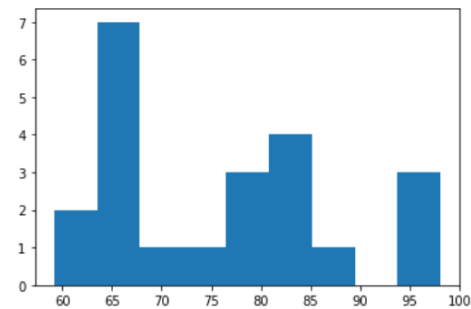
400 81

Min: 54 Max: 111 Mean: 78
 Median: 80 Mode: 83



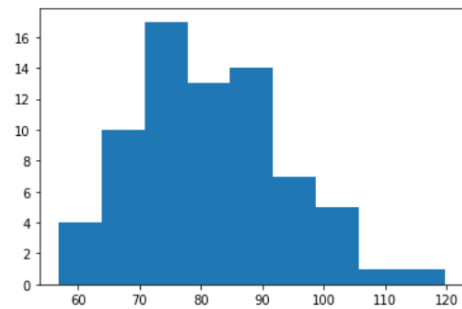
400 82

Min: 59 Max: 98 Mean: 76
 Median: 75 Mode: 66



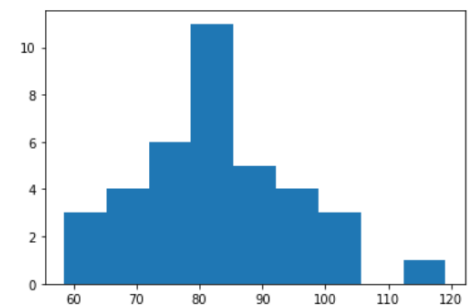
400 84

Min: 57 Max: 120 Mean: 81
 Median: 80 Mode: 74



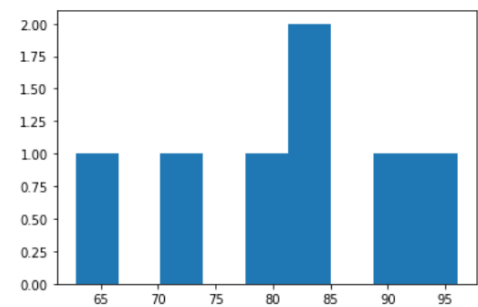
400 85

Min: 58 Max: 119 Mean: 83
 Median: 82 Mode: 82

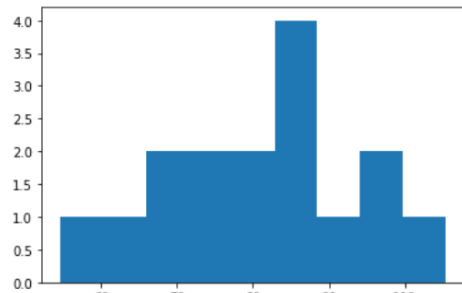


400 88

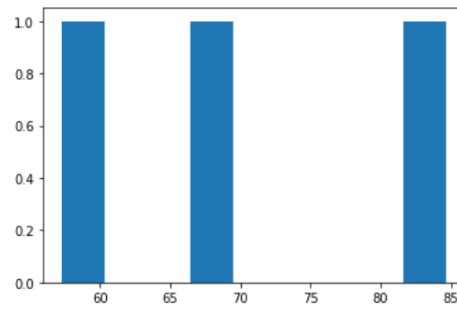
Min: 63 Max: 96 Mean: 81
 Median: 82 Mode: 83



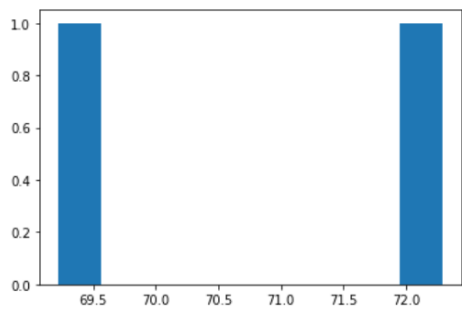
440 12
 Min: 55 Max: 105 Mean: 81
 Median: 81 Mode: 86



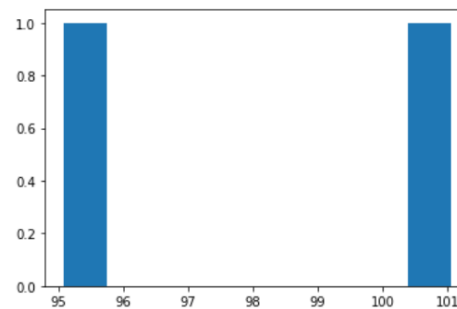
440 13
 Min: 57 Max: 85 Mean: 70
 Median: 67 Mode: 59



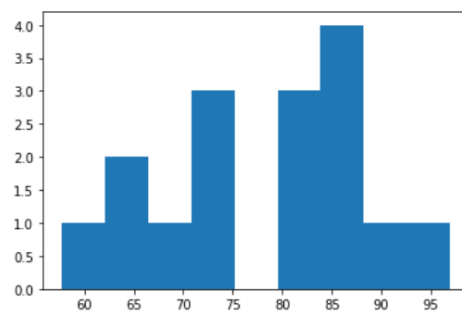
440 14
 Min: 69 Max: 72 Mean: 71
 Median: 71 Mode: 69



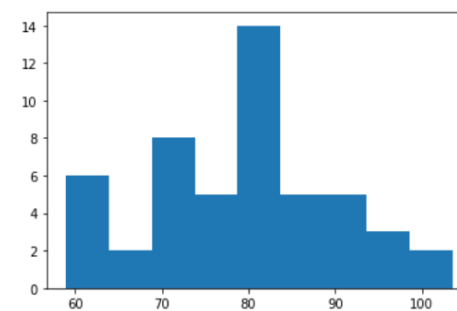
440 17
 Min: 95 Max: 101 Mean: 98
 Median: 98 Mode: 95



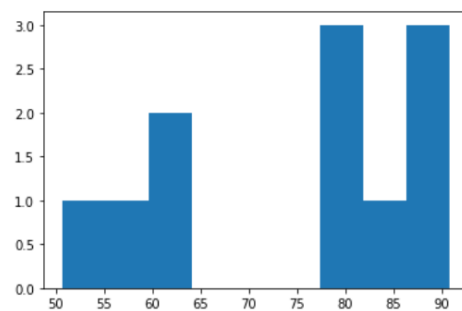
440 21
 Min: 58 Max: 97 Mean: 78
 Median: 81 Mode: 86



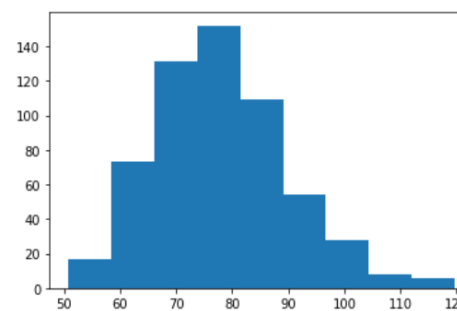
440 23
 Min: 59 Max: 103 Mean: 80
 Median: 80 Mode: 81



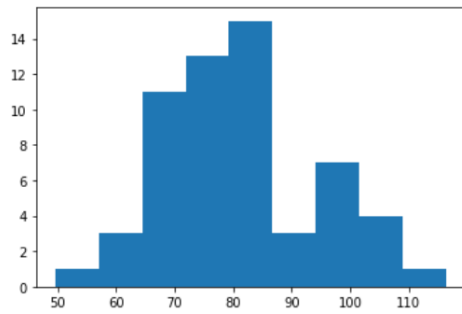
440 24
 Min: 51 Max: 91 Mean: 75
 Median: 81 Mode: 80



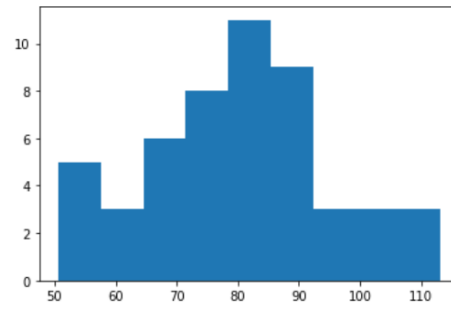
500 17
 Min: 51 Max: 120 Mean: 78
 Median: 78 Mode: 78



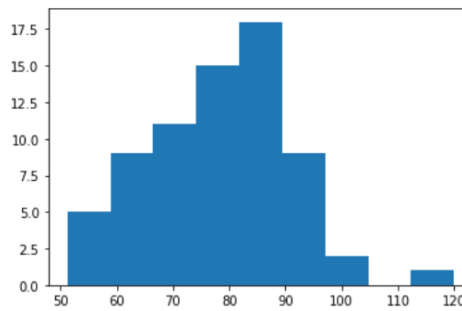
500 18
 Min: 50 Max: 116 Mean: 81
 Median: 80 Mode: 83



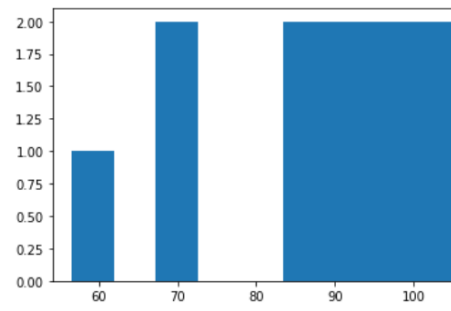
500 19
 Min: 51 Max: 113 Mean: 80
 Median: 81 Mode: 82



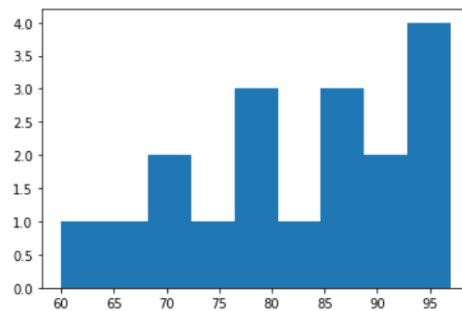
500 20
 Min: 51 Max: 120 Mean: 78
 Median: 80 Mode: 86



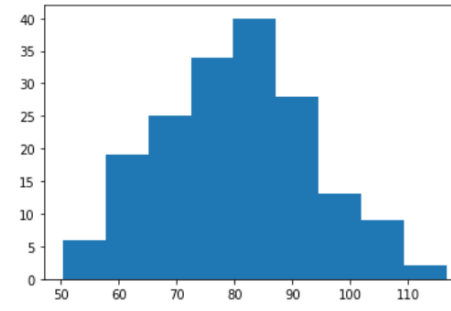
500 27
 Min: 57 Max: 105 Mean: 86
 Median: 89 Mode: 70



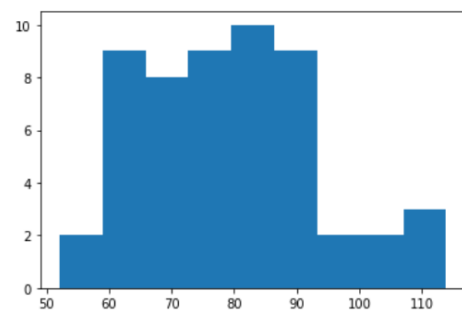
500 28
 Min: 60 Max: 97 Mean: 82
 Median: 83 Mode: 95



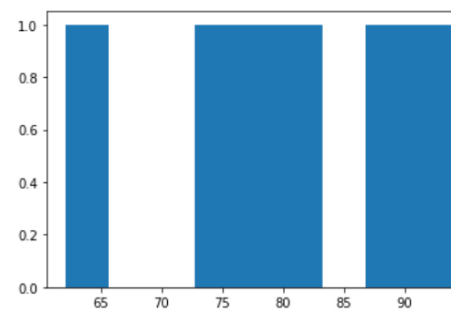
500 29
 Min: 50 Max: 117 Mean: 80
 Median: 80 Mode: 83



500 34
 Min: 52 Max: 114 Mean: 79
 Median: 78 Mode: 83



500 38
 Min: 62 Max: 94 Mean: 80
 Median: 80 Mode: 64



500 41
 Min: 51 Max: 121 Mean: 79
 Median: 78 Mode: 86

