



Bernardo Maria Martins Horta Machado da Franca

Gestão de capacidades: uma proposta de análise e melhoria em operações e serviços.

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

Setembro / 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Gestão de capacidades: uma proposta de análise e melhoria em operações e serviços.

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

Capacity management: a proposal for analysis and improvement in operations and services.

Autor

Bernardo Maria Martins Horta Machado da Franca

Orientadores

Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira

Assistente Convidado Pedro Miguel Fernandes Coelho

Júri

Presidente	Professor Doutor Pedro Mariano Simões Neto Professor da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes
Orientador	Ferreira Professor da Universidade de Coimbra

Coimbra, setembro, 2017

“For me, drive means a combination of a willingness to work hard, emotional fortitude, enormous powers of concentration and a refusal to admit defeat”

Sir Alex Ferguson, Leading 2015

Agradecimentos

Sendo este o culminar de todo um percurso académico recheado de vivências e aventuras, não me é possível terminar sem agradecer a todos que colaboraram e me ajudaram nestes últimos anos.

Em primeiro, a quem permitiu que tudo isto fosse possível, à minha família por todo o apoio e por nunca ter colado barreiras aos meus objectivos, por muito disparatados que fossem.

Agradecer aos de sempre, aos amigos de sempre e os que para os que Coimbra me deu, Leonardo, Guilherme, Rita R., Daniela, Mário, Rúben, Tiago, João A., Beatriz, Rita B., Filipe, Gonçalo, Gabriel, aos Bandiduz e Galheteiro,

Ao NEEMAAC, pelos desafios que me permitiu viver durante o período académico e ter-me permitido crescer nas mais diversas vertentes.

Aos Professores Luís Ferreira e Pedro Coelho, pela enorme paciência durante estes meses. Ficarei para sempre grato.

Aos Engenheiros Joaquim Limão e Gonçalo Santos pela disponibilidade e pela facilitação dos dados para o estudo.

Resumo

A presente dissertação teve como fundamento o desafio de estudar a gestão de capacidades de uma empresa que desenvolve o aluguer de equipamentos pesados. O trabalho desenvolvido tem como principal objectivo a análise e avaliação da frota de equipamentos através do uso de uma ferramenta de simulação de eventos discretos.

O desenvolvimento do modelo de simulação e as consequentes análises permitiram o estudo da situação da capacidade instalada da empresa, tendo em consideração as taxas de utilização dos equipamentos, seus usos médios e máximos, podendo assim estudar quais os factores que conduzem a empresa a não ter possibilidade de suprir todas as solicitações de aluguer. Este trabalho mostra que a empresa tem capacidade limitada, não conseguindo servir todos os pedidos por dois motivos: não dispõe da capacidade necessária para dar resposta e alguma da capacidade instalada acaba por ser desperdiçada em operações internas.

Apesar das simplificações realizadas no modelo de simulação, esta dissertação permite concluir a utilidade das ferramentas de simulação para análise de sistemas produtivos de serviços. Para além de ter permitido identificar algumas oportunidades de melhoria na utilização da capacidade instalada. São ainda apresentadas algumas propostas de melhoria que podem traduzir-se num acréscimo da disponibilidade de equipamentos.

Palavras-chave: Equipamentos Pesados, Gestão de Capacidades, Aluguer, Manutenção, Custo de oportunidade.

Abstract

The present dissertation was based on the challenge of studying the capacity management of a company that develops the rental of heavy equipment. The main task of this work is the analysis and evaluation of the equipment fleet using a discrete event simulation tool.

The analysis of the simulation models allowed the study of the management of the company's capacities and considering the equipment usage rates, their average and maximum uses, and thus, to study the factors that led the company to not be able to supply all the requests of intended rental. This work shows that the company has limited capacity due to the lack of certain type of equipment as well as the tasks take a certain time to be carried out.

Despite the simplifications and deductions made in the development of the work, this dissertation leads to significant conclusions. From the data obtained, we can see that the opportunity cost that the company is not winning is a high value. Concluding this study, some improvement proposals are presented to bring advantages to the company and decrease the opportunity cost

Keywords Heavy Equipment, Capacity Management, Rental, Maintenance, Opportunity Cost.

Índice

Índice de Figuras	iii
Índice de Tabelas	iv
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	3
2.1. Operações em serviços	3
2.2. Composição de frotas	5
2.3. Oferta e Procura	7
2.3.1. Revenue management na gestão de frotas de aluguer de veículos	8
2.4. A simulação e o software simul8	10
3. Caso de estudo	13
3.1. Descrição da organização	13
3.2. Processo de negócio	15
3.3. Custos e receitas associados	17
3.4. Diagnóstico do problema	19
3.5. Descrição do modelo	20
4. Análises dos cenários de simulação	23
4.1. Modelo base	23
4.1.1. Impacto no número de equipamentos	26
4.2. Efeitos da sazonalidade	30
4.3. Análise do impacto da manutenção	32
4.3.1. Prioridade da fila de manutenção	33
4.3.2. Diminuição do tempo de manutenção	35
4.4. Discussão dos resultados	37
4.4.1. Discussão dos resultados pela empresa	37
4.4.2. Simulação como solução	38
5. Conclusões e propostas e melhoria	39

6. Referências bibliográficas 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Tipologia de operações em serviços	5
Figura 2.2 - Oferta vs Procura com preço e quantidade em consideração	7
Figura 2.3 - Lógica do uso de modelos de simulação	11
Figura 3.1 - Processo do negócio	16
Figura 3.2 - Interface do modelo de simulação	20
Figura 4.1 - Variação da taxa de utilização com o aumento de empilhadores	26
Figura 4.2 - Variação da taxa de utilização com o aumento de plataformas	28
Figura 4.3 - Oscilação da sazonalidade de acordo com os dias de simulação.....	30
Figura 4.4 - Exemplo dos efeitos da sazonalidade nos equipamentos.....	32
Figura 4.5 - Lógica da definição da regra da prioridade da manutenção	33
Figura 4.6 - Comparação do custo de oportunidade (€/ano)	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Quantidade de equipamentos e respectivos pedidos.....	14
Tabela 3.2 - Tempos médio de aluguer por tipo de equipamento.....	14
Tabela 3.3 - Estimativa dos custos de viagem	18
Tabela 3.4 - Estimativa dos custos de aluguer para clientes	18
Tabela 3.5 - Simplificações e deduções do problema	21
Tabela 3.6 - Distribuição dos destinos dos alugueres	22
Tabela 4.1 - Resultados gerais após finalização das 75 corridas	23
Tabela 4.2 - Resultados finais, por tipo de equipamento	24
Tabela 4.3 - Resultados finais das rejeições, por tipo de equipamento.....	25
Tabela 4.4 - Custo de oportunidade, por tipo de equipamento	26
Tabela 4.5 - Número de encomendas finalizadas com o aumento de empilhadores.....	27
Tabela 4.6 - Custo de oportunidade com o aumento do número de empilhadores	27
Tabela 4.7 - Número de encomendas finalizadas com o aumento de plataformas	29
Tabela 4.8 - Custo de oportunidade com o aumento do número de plataformas.....	29
Tabela 4.9 - Valores dos efeitos de sazonalidade.....	30
Tabela 4.10 - Resultados finais gerais com efeito de sazonalidade	30
Tabela 4.11 - Resultados finais gerais, por tipo de equipamento, com efeitos de sazonalidade	31
Tabela 4.12 - Resultados finais gerais, por tipos de equipamentos, com cenário de prioridade na manutenção.....	34
Tabela 4.13 - Comparação de encomendas finalizadas entre cenários de com e sem manutenção	35
Table 4.14 - Custo de oportunidade com o cenário de regra de prioridade	35
Tabela 4.15 - Resultados finais gerais, por tipos de equipamentos, com cenário de redução dos dias de manutenção.....	36

Tabela 4.16 – Resultados finais de encomendas finalizadas dos cenários de redução dos dias de manutenção	36
Tabela 4.17 – Custo de oportunidade com a diminuição do tempo de manutenção para 3 dias.....	37

1. INTRODUÇÃO

Devido às contantes mudanças nos mercados, as empresas procuram cada vez mais estar preparadas para dar uma resposta eficaz aos desafios que poderão enfrentar. Como resposta a tais mudanças, é importante que estas estudem possíveis futuros cenários e procurem antecipar formas de ultrapassar tais desafios.

Esta dissertação resulta de um problema real existente numa empresa que desenvolve a sua actividade no aluguer de equipamentos pesados, possuindo uma vasta gama de soluções, como por exemplo para construção civil ou organização de eventos. Esta é também responsável pela entrega e recolha dos equipamentos bem como pela manutenção dos mesmos. Contudo, a empresa em questão, não consegue responder a todos os pedidos de diferentes tipos de aluguer que recebe.

Neste tipo de negócio, uma das maiores dificuldades prende-se com a gestão da oferta e da procura. Uma vez que a procura não é estável, torna-se difícil assegurar a gestão de equipamentos para conseguir responder ao maior número de solicitações possíveis sem que ocorra quebra de stock de equipamentos. Este problema das quebras de stock, leva a que empresa rejeite propostas de aluguer devido à falta de capacidade de alocar equipamentos. Partindo deste problema, esta dissertação procura analisar e dimensionar o parque de equipamentos necessários de modo a empresa consiga reduzir o número de rejeições e estar preparada para responder a eventuais oscilações na procura.

Na pesquisa efectuada existe escassa informação sobre abordagens e metodologias que analisem o problema da gestão de capacidade destes tipos de equipamentos. A existência de poucas fontes levou a procurar estudos similares, sendo que alguns desses estudos são sobre alugueres de veículos, sobre as suas frotas, tamanhos e procura. Estes estudos não utilizam habitualmente ferramentas de simulação como solução para encontrar possíveis respostas. Prendem-se com a utilização de modelos de programação matemática e heurísticas de difícil implementação e assim, esta dissertação procura contribuir para esta discussão, utilizando, neste caso em concreto, ferramentas de simulação de eventos discretos.

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos, sendo este o primeiro, que visa a introdução do trabalho. No capítulo seguinte, a revisão de literatura, onde está exposto a

pesquisa teórica necessária para enquadrar o problema em estudo, onde serão abordados quatro temas. No terceiro, é explicado o caso de estudo, com uma apresentação da empresa e exposição dos dados em estudo, seguido do diagnóstico do problema e por fim a exemplificação e descrição do modelo de simulação. De seguida, no capítulo quatro são abordadas e apresentadas as análises aos diversos cenários das simulações realizadas: uma a simulação base, que é o ponto de partida para o estudo do sistema e seguidamente são simulações com o enfoque na sazonalidade e depois na actividade de manutenção. Por fim, será realizada uma discussão geral dos resultados obtidos nas simulações. No quinto, e último capítulo, são apresentadas as conclusões provenientes das análises das simulações e propostas de melhoria que poderiam ser implementadas pela empresa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são abordados os temas identificados no presente documento. Estes temas procuram dar resposta a algumas questões que existem nesta dissertação e enquadrar na literatura o problema apresentado.

Devido à falta de estudos relativos à procura e oferta que envolvem empresas de alugueres de equipamentos pesados, neste capítulo são abordados temas algo idênticos de forma a enquadrar o caso de estudo. É também descrita a forma como funciona o tipo de ferramenta proposta para mais tarde analisar o problema.

2.1. Operações em serviços

Nos dias que correm, observa-se cada vez mais o aumento da concorrência, muito devido à facilidade com que se encontra a informação e existência de mais soluções, pode levar a um maior descontentamento por parte dos clientes, caso as formas de atendimento ou os serviços sejam de fraca qualidade.

Ao estudar o tema das operações em serviços é imperativo ter noção que o processo de negócio não cria apenas o produto, como também é responsável pelo fazer chegar ao cliente. Existem diferentes maneiras de classificar os serviços, dependendo de certos aspectos, como por exemplo a participação dos clientes no serviço. Segundo Giansi e Corrêa (1994), podemos classificar os serviços em quatro dimensões:

- **Intangibilidade:** uma vez que os serviços são intangíveis, não se trata de um produto que se possa tocar.
 - **Percibilidade:** uma vez que os serviços ocorrem em tempo real, é impossível que estes sejam armazenados ou guardados.
 - **Variabilidade:** os serviços são bastante variáveis, uma vez que depende por quem, onde e quando estão a ser realizados. Este factor leva, mais uma vez, a que os clientes procurem informações detalhadas antes de contratar um serviço.
-

- **Simultaneidade de produção e consumo:** os serviços são produzidos ao mesmo tempo que estão a ser consumidos e não existem sem estarem presentes os funcionários que os desempenham. Nos serviços costuma existir uma interação entre cliente e funcionário.

É importante fazer a distinção entre bens e serviços, o que aparenta ser fácil, mas em alguns casos pode existir uma combinação entre ambos. Sasser et al. (1978) consideram que para entender um serviço é preciso avaliar os seus componentes, quer os que são percebidos pelo consumidor e como os vendedores que o fornece.

Existe uma enorme diversidade em termos de serviços, sendo que é necessário agrupá-los em categorias para facilitar o seu estudo. Na literatura, Silvestro (1999) e Corrêa e Caon (2002) consideram que existem três tipos:

- **Serviços profissionais:** o cliente tem uma intervenção bastante activa na prestação do serviço e como os clientes são diferentes, conclui-se que este tipo de serviço tem uma grande flexibilidade para atender diferentes necessidades. Neste tipo de serviços os recursos humanos costumam apresentar altas qualificações e oferecem o atendimento personalizado que é necessário, realizando tarefas com diminuta especificação e repetibilidade.
- **Serviços de massa:** antes do cliente entrar no processo, o serviço já está definido. Existe um elevado grau de padronização e rotinização baseado no que os clientes procuram. No que toca aos recursos humanos, tende-se a dividir o trabalho e a especialização de tarefas para atender a demanda com eficiência.
- **Loja de serviços:** funciona com intermediário entre serviços profissionais e serviços de massa. É um misto de ambos os serviços e tempos como exemplos práticos hotéis, restaurantes, hospitais, etc.

A figura 2.1 seguidamente apresentada, mostra as várias possibilidades de caracterização de serviços. Consultando a figura, podemos caracterizar a empresa analisada nesta dissertação como uma Loja de serviços, devido ao número de solicitações para alugueres que esta recebe por dia. Apoiando esta análise do número de encomendas diárias, o processo tem um grau de customização médio, uma vez que aluga vários tipos de equipamentos, contudo as suas funções são limitadas.

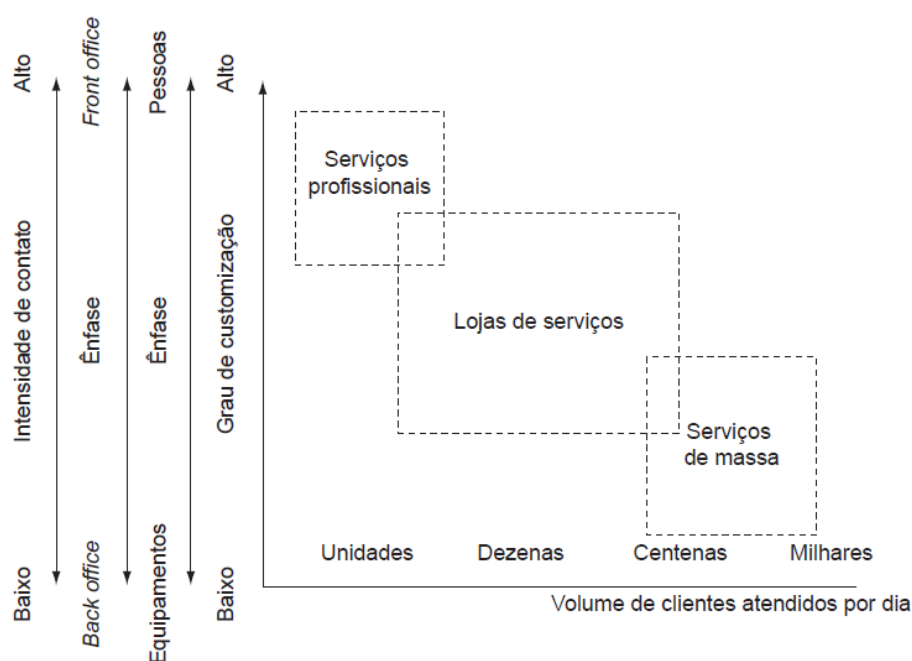


Figura 2.1 - Tipologia de operações em serviços

2.2. Composição de frotas

O transporte eficiente de bens está a tornar-se cada vez mais importante para a sociedade. É comum que o custo de transportes seja próximo de 20% do custo total do produto. Este factor, aliado ao aumento da competição e à necessidade de maior eficiência, leva as empresas a terem de oferecer melhores serviços, responder em menos tempo e serem mais eficientes.

A indústria dos transportes está a encontrar cada vez mais desafios, e existe pressão para a redução de custos, que leva a uma necessidade de mais frequentes ajustes nas suas capacidades.

Existem muitos poucos estudos sobre a análise das frotas nas empresas de aluguer de equipamento pesado, como é o caso da empresa em estudo nesta dissertação, contudo há autores que relacionam a composição de frotas com outro tipo de negócios, como por exemplo o aluguer de carros.

Os autores ao estudar o aluguer de veículos, focam-se, essencialmente, na gestão de cada frota em cada *pool* de veículos. Dentro destas *pools* de veículos as decisões que se tomam são em relação ao seu tamanho e a maneira como são distribuídas entre diferentes

localizações. Na literatura, existem duas perspectivas de como deve ser abordado este problema dos tamanhos de frota:

- Considerando cada *pool* independente da outra;
- Considerando todas as *pools* em simultâneo.

Os autores You e Hsieh (2014), desenvolveram um modelo de programação não linear e propuseram um algoritmo híbrido como forma de resolução. Este trabalho apresentava algumas limitações devido às simplificações assumidas (os autores consideravam, por exemplo, que todos os alugueres apenas duravam um dia e que no final do dia os carros voltariam ao local do aluguer).

Li e Tao (2010), lidaram com ambos os problemas de dimensionamento e de distribuição apresentando um modelo de programação dinâmica onde o tamanho da frota é a decisão da primeira etapa e a política de transferências dos veículos é a segunda decisão. Apresentaram também uma heurística que mostrou bons resultados para a determinar o tamanho de frotas. Contudo, estes trabalhos não assumiam a existência de perdas de alugueres.

Pacho et al (2003), propuseram um modelo focando o desdobramento de frotas considerando que o tamanho da frota é dado como um parâmetro, usando um modelo estocástico. O autor dividiu o problema em dois sub-problemas: o desdobramento, onde procurou definir os níveis da frota em cada local e o transporte de maneira a repor os veículos nas estações de aluguer. O primeiro problema é resolvido através de um modelo estático de controlo de inventário e o problema associado ao transporte através de um programa de optimização linear.

Um dos desafios nesta matéria é a decisão operacional da atribuição dos veículos a determinada localização de aluguer, sendo que este problema é estudado de forma separada dos outros. Os autores Ernst et al (2011), apresentaram um modelo matemático, o problema é resolvido a partir do método de Wedelin actualizando valores como os múltiplos de Lagrange. Este modelo considera vários tipos de veículos com substituições e manutenções planeadas.

Como referido nos parágrafos anteriores, muitos são os estudos que enaltecem a gestão de capacidades de frotas, seu dimensionamento e como as dividir pelos locais de aluguer. Contudo, tais estudos não fazem uso da simulação como método para dar resposta aos problemas identificados.

2.3. Oferta e Procura

Em todos os mercados existem limitações na capacidade de produção dos fabricantes, exigindo às empresas ou indústrias, que necessitam dessas produções, a possuírem um stock de segurança no caso de existir alguma incerteza na procura. Ter um stock de segurança ideal pode equilibrar os custos, isto porque os custos resultantes de não conseguir responder à procura imediata podem ser bastante superiores aos custos do tal stock ideal.

Um dos maiores desafios é o de equilibrar a capacidade de inventário com o custo de manter uma capacidade que satisfaça a procura. Autores consideram a existência de duas abordagens para esta temática: o primeiro associado ao *newsvendor problem* e outro aos modelos de Lindley sobre o custo médio de filas.

O autor Van Mieghem (2003) realizou estudos sobre ambos. Sobre o modelo de *newsvendor problem*, Van Mieghem and Rudi (2002) estudaram este método com o objetivo de resolver o problema da capacidade óptima de inventário com vários produtos, usando um cenário de perdas de vendas. Também Angelus e Porteus (2002) procuraram resolver o problema da capacidade de inventário para produtos com ciclo de vida curto tendo em conta que as decisões de inventário podiam ser tomadas em todos os períodos. A figura 2.2, mostra a relação de equilíbrio entre os preços e quantidade, tendo como referências a procura e oferta, factores que a empresas devem procurar atingir.

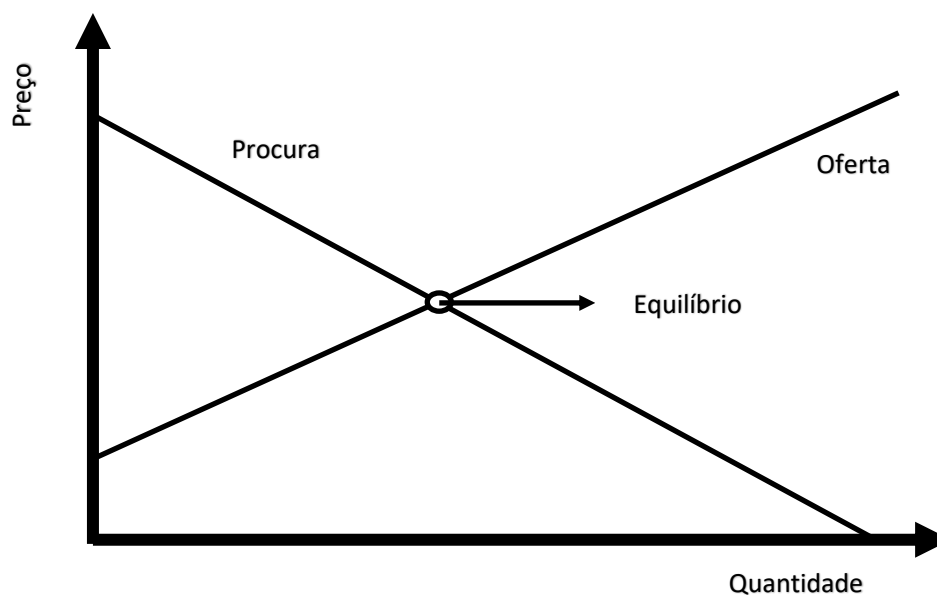


Figura 2.2 - Oferta vs Procura com preço e quantidade em consideração

A vantagem dos modelos de *newsvendor problem* é o facto de poderem tratar a informação relativa à evolução de inventário, contudo, isto torna difícil encontrar um nível de capacidade óptimo.

A segunda teoria que é também bastante usada na literatura prende-se com o balanço do *trade-off* da capacidade de inventário com o custo médio nos modelos das teorias das filas. Bradley and Glynn (2002), usando o conceito de *shortfall* (conceito usado para medir o risco financeiro de uma actividade económica) resolveram soluções para o stock básico óptimo e testaram aproximações para uma capacidade de sistemas de filas G/M/1 (a fila deste tipo representa o tamanho da fila onde o tempo entre chegadas tem uma distribuição arbitrária e o tempo do trabalho tem uma distribuição exponencial).

Em suma, a teoria das filas aparece na literatura para caracterizar a capacidade de investimentos para tratar as chegadas e a satisfação da procura como um processo contínuo, com o inventário a ser continuamente revisto.

Outras teorias têm sido estudadas, sendo de realçar os estudos relativos à diversificação dos fornecimentos para conseguir gerir de melhor forma as incertezas e riscos. Dada et al (2007) e Federgruen e Yang (2008) investigaram modelos de períodos únicos onde a oferta pode ser adquirida a vários fornecedores que têm rendimento ou capacidades incertas. Anupindi e Akella (1993) e Erden (1999) focaram o seu trabalho a investigar os inventários com ofertas diversificadas quando há incerteza no fornecimento. Outros autores procuraram saber qual a influência de contratar outro fornecedor de forma a melhorar a cadeia de oferta com o intuito de precaver problemas sobre falta de informação sobre uma possível interrupção do fornecer principal.

2.3.1. Revenue management na gestão de frotas de aluguer de veículos

Estudos sobre os problemas dos serviços de aluguer de veículos têm-se prendido com o *revenue management* (processo de conhecer, compreender, antecipar e reagir às tendências da procura, para maximizar a receita ou ocupação), com especial atenção nos controlos de capacidades. Em suma, é decidir se é possível aceitar ou se é necessário rejeitar propostas de aluguer que chegam, de modo a não prejudicar o negócio a jusante.

O autor Tainiter (1964) introduziu modelos de stock estocásticos para descrever as flutuações de tempo dos níveis de inventário no negócio de aluguer de carros. Mais tarde,

em 1998, o estudo de Caseau e Kokeny propôs um conjunto de avaliações comparativas práticas para a resolução dos excessos de stocks.

Cooper (2002) usou propriedades assintóticas de geração de receita que derivam de um programa linear para gerar alocações considerando um comportamento contraintuitivo que decorria aquando das actualizações das reservas.

Anderson et al (2004), introduziram uma nova abordagem para gerar receita no negócio de aluguer de carros, estes propuseram um modelo que gerasse os preços de acordo com o número de carros disponíveis consoante o tempo de aluguer e o número de carros em stock. Neste modelo, surgiu a hipótese de descontos consoante o tempo aquando de solicitado o aluguer. Contudo, este estudo apenas considerava um tipo de automóveis.

Hong et al (2007), descreveram qual a importância de prever os valores da receita mensal, discriminado por cada veículo, de modo a conseguir criar uma base para os preços anuais.

Conejero et al. (2014) criaram um algoritmo que verifica a admissibilidade do aluguer procurando encontrar um fluxo máximo numa rede auxiliar baseado nos estudos de Ford-Fulkerson, que após a verificação os autores propõem um método iterativo baseado numa simplificação dessa mesma rede. Este estudo foi realizado com o objectivo de estudar o impacto das reservas unidireccionais no balanço da frota.

Guerriero e Olivito (2014) estudaram a aceitação e rejeição de propostas usando técnicas de *revenue management*. Estes criaram uma fórmula de programação dinâmica e usaram aproximações lineares (como por exemplo modelos estáticos resolvidos de forma “dinâmica”, isto é, actualizando os valores de procura e capacidades) para derivar políticas aceitáveis baseadas em definir limites de reservas e de preços.

Steinhardt e Gonsh (2012) tiveram como foco principal a integração das decisões de aceitação/rejeição com actualizações planeadas. Mais uma vez, nasceu um modelo de programação dinâmica, com a junção de duas abordagens de decomposição (em dias e recursos), e heurísticas para resolver o exercício.

Van Ryzin e Talluri (2005) assumiram que se pode caracterizar o *revenue management* de duas formas com o intuito de gerir a procura, sendo elas a forma quantitativa, ou tendo em consideração o preço. A escolha entre estes dois modelos é dependente do contexto do negócio e da flexibilidade que a empresa possui para mudar as variáveis.

Usualmente, as indústrias que se centram na quantidade são, por exemplo, as empresas de linhas aéreas, enquanto as mais focadas nos preços encontramos as empresas de aluguer.

Face aos estudos analisados, é de realçar a importância do *revenue management* e a preponderância dos estudos relacionados com a fixação dos preços nos serviços de aluguer.

2.4. A simulação e o software *simul8*

A simulação está posicionada como uma ferramenta de avaliação do impacto de mudanças em sistemas ou novos processos num modelo já existente através da criação de novos cenários. A simulação permite testar tais cenários e examinar os testes de modo a saber quais podem ser os resultados, antes de implementados no sistema real.

Segundo Law e Kelton (2000) as características da simulação permitem considerá-la como uma das técnicas de gestão de operações mais usada e indicada para sistemas complexos. Na literatura, encontramos várias formas de definir simulação, como por exemplo segundo Banks et al, (2000), simulação é a imitação de uma operação ou sistema do mundo real. Esta envolve a generalização de uma história para desenhar inferências em relação às características do sistema que é representado. Law e Kelton, (2000) sugerem que a simulação pode ser considerada apenas como uma ferramenta estatística que permite fazer análises de sistemas reais pois imita o funcionamento lógico do sistema ao longo do tempo.

Tudo isto mostra que a simulação não é uma ferramenta que produz soluções totalmente exactas, mas sim é uma ferramenta que permite ao utilizador criar vários cenários e assim escolher as soluções que após análise dão maiores garantias de sucesso no contexto do modelo real (Pidd, 1998). A figura 2.1, mostra a lógica do uso da criação de um modelo de simulação.

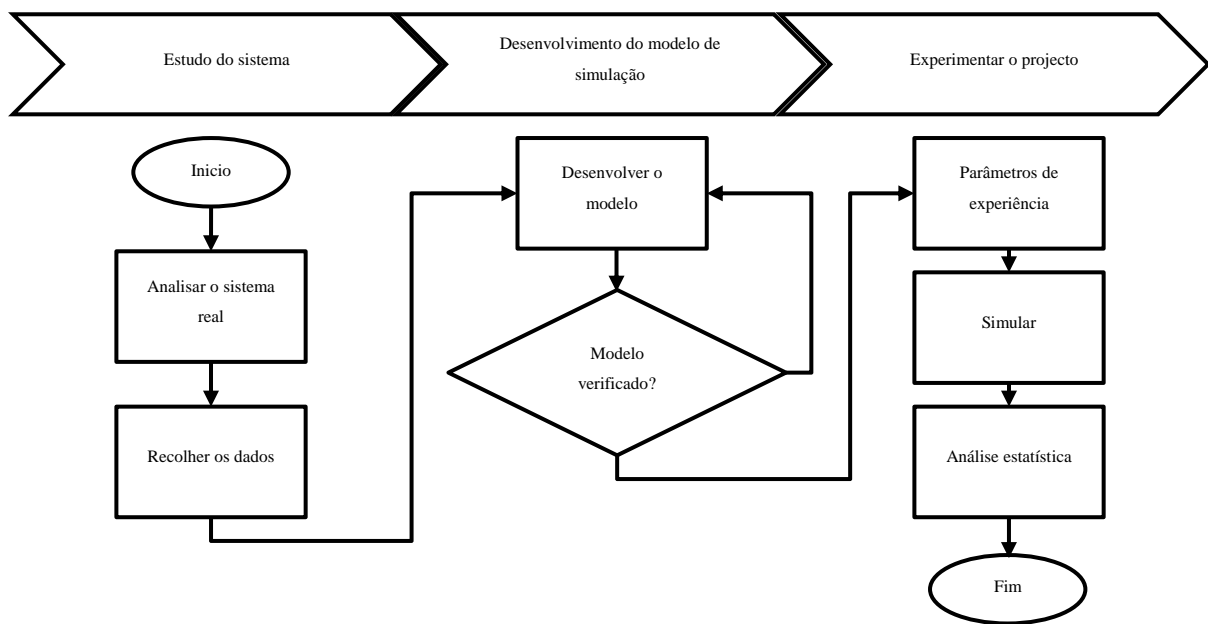


Figura 2.3 - Lógica do uso de modelos de simulação

Segundo Law e Kelton, 2000, existem 3 hipóteses para classificar os modelos, quanto as suas dimensões, sendo:

- **Modelos Estáticos vs dinâmicos** – O factor desta tipologia de modelo principal é o tempo. Diz-se estático quando o sistema é representado num instante em concreto e dinâmico quando a simulação apresenta uma evolução temporal.
- **Modelos Determinísticos vs estocásticos:** têm como factor principal a aleatoriedade do modelo. O modelo determinístico não tem factores probabilísticos, sendo possível antecipar o seu comportamento e nos estocásticos existe variabilidade.
- **Modelos contínuos vs discreto:** a classificação destes modelos são as mudanças das suas variáveis. No contínuo as variáveis alteram-se de forma continua e nos modelos discretos as variáveis só se alteram em tempos específicos.

Tendo em conta estas características, para o estudo deste problema, podemos usar a simulações com ferramenta para estudar determinados cenários e proceder à sua análise. O software utilizado para este trabalho é o *Simul8*. Este software permite criar simulações

discretas a partir de uma interface gráfica, que resulta num processo de construção de modelos de forma interactiva através dos seus componentes já pré-definidos. O *Simul8* tem nas suas funções a possibilidade de programar devido à existência de uma linguagem de programação própria do software denominada de *Visual Logic* que permite desenvolver os modelos de forma mais completa introduzindo lógicas reais para o modelo ficar como pretendido.

O *Simul8* dispõe de objectos que representam as características dos sistemas e as ligações entre todos os componentes do modelo, sendo eles:

- “*Start point*” – objecto que faz a entrada de “work itens” no sistema. Pode-se escolher ou criar diversas distribuições para definir a taxa de entrada. Dá também a possibilidade de atribuir *labels* às entidades que entram;
- “*Queues*” – tal como o nome indica, são filas de espera. São o local onde o work item está antes de entrar para actividade (posto de trabalho);
- “*Activity*” – é o posto de trabalho e onde a entidade irá ser executada por um certo período de tempo, dependendo sempre da distribuição probabilista que lhe está associada.
- “*End Point*” – Representa o final das entidades do modelo. No final indica quantas entidades finalizaram os modelos, bem como os tempos de permanência no sistema
- “*Resources*” – são objectos que podem ser requeridos por várias actividades para que estas possam funcionar, costumam ser usadas para representar funcionários ou equipamentos. Esta ferramenta permite bloquear a actividade se os recursos não estiverem disponíveis.

Outros componentes, importantes da simulação, são os *work itens*, que são as entidades a ser trabalhadas e fazem o percurso no sistema, sendo que podem representar pessoas, ordens de trabalho, equipamentos, entre outros. Aos *work itens* podem ser atribuídas *labels* que funcionam como um rótulo e lhes permite conter informação necessária.

Observando estes factores característicos da simulação e, em concreto, deste *software*, o problema retratado no caso de estudo é possível de ser representado recorrendo a este método, uma vez que a simulação permitirá retirar vários cenários possíveis de acontecer na realidade e permitir a sua avaliação e impacto.

3. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo é apresentada a organização, com a sua contextualização e exposição dos dados facultados para o seu estudo, o desenvolvimento de um diagnóstico identificando os principais problemas da empresa nos quais esta dissertação procurará dar resposta e, por fim, o modelo e a ferramenta de simulação utilizada para as diversas análises.

3.1. Descrição da organização

A empresa em análise tem mais de 30 anos de história e assume-se como o líder no mercado de aluguer de equipamentos dando resposta com uma ampla e diversificada oferta de equipamentos. A empresa aluga equipamentos para todo o país e, mais recentemente procurou soluções no mercado internacional, sendo que as suas principais actividades são a construção civil, eventos e festas e apoio a indústria.

A empresa tem mais de 500 colaboradores, tendo como missão principal procurar manter a liderança na área do aluguer de equipamentos, sempre com o crescimento em vista nos segmentos mais atrativos. Procuram várias as oportunidades de negócio, oferecendo ao mercado uma solução integrada em rapidez, competência, segurança e eficiência com o intuito de deixar os clientes satisfeitos.

Os equipamentos encontram-se na sede da empresa e, é a partir daí, que se dá o transporte para o resto do país. Para os efeitos deste estudo, serão avaliados os alugueres de quatro categorias de equipamentos: empilhadores, compressores, plataformas e geradores. Além dos equipamentos, no parque da sede existe a oficina responsável pela manutenção dos mesmos.

Segundo os dados fornecidos, a empresa dispõe no total de 1042 equipamentos divididos pelos quatro tipos já identificados. Cada tipo de equipamento tem valores médios diferentes de procura mensal. Ambos os valores estão apresentados na tabela seguinte:

Tabela 3.1 - Quantidade de equipamentos e respectivos pedidos.

Tipo de Equipamento	Número de equipamentos	Pedidos médios mensais	Pedidos médios anuais
Empilhadores	147	159	1908
Compressores	44	32	384
Plataformas	539	740	8880
Geradores	312	153	1836
Total	1042	1084	13008

No entanto, a empresa não consegue satisfazer todos estes pedidos e apresentou três razões para tais rejeições, sendo elas:

- **Rejeições por questões relacionadas com crédito** – a empresa após analisar o cliente decide rejeitar o pedido por receio deste não conseguir cumprir com o contrato. Muitas vezes esta rejeição acontece devido a compromissos financeiros anteriores que não foram cumpridos.
- **Rejeições por questões de competição** – o valor apresentado na proposta não é economicamente competitivo, sendo que a alternativa no mercado é mais satisfatória para o cliente.
- **Rejeição por falta de equipamento** – os equipamentos da empresa estão em aluguer e não é possível satisfazer o pedido.

Além dos diferentes valores de pedidos por equipamento, estes também têm diferentes tempos médios de aluguer. Sendo que os dados cedidos pela empresa são os seguintes:

Tabela 3.2 - Tempos médio de aluguer por tipo de equipamento.

Tipo	Período médio de aluguer (dias)
Empilhadores	18
Compressores	16
Plataformas	13
Geradores	23

A empresa aluga equipamentos para todo o país, contudo não foram divulgados os dados relativos à distribuição dos locais das entregas.

3.2. Processo de negócio

O processo de negócio resulta da chegada à empresa, de uma proposta para aluguer de um equipamento pesado por parte de um potencial cliente. Após a avaliação e se existe a possibilidade de alocar o equipamento e de avaliar o cliente economicamente, cabe a empresa orçamentar e assim possibilitar ao cliente tomar a decisão de aceitar ou rejeitar a proposta apresentada.

Seguida da confirmação do aluguer, a empresa é responsável por entregar o equipamento ao cliente, no local onde ele escolher ficando o mesmo com o cliente o tempo que este solicitar.

Após o aluguer, a empresa realiza a recolha do equipamento e este retorna ao parque. À sua chegada, existe uma verificação técnica que avalia a necessidade de manutenção e, caso exista essa necessidade, a empresa assegura as reparações nas suas oficinas. Caso não seja preciso manutenção o equipamento fica novamente disponível para aluguer. O número de equipamentos que seguem para manutenção foi estimado em aproximadamente 12%, sendo que o tempo médio de duração da manutenção é de 5 dias. Após a actividade de manutenção o equipamento fica novamente disponível para aluguer.

Todo este processo do aluguer dos equipamentos segue a seguinte linha cronológica que mostra de forma simplificada toda o sistema dos alugueres da empresa.

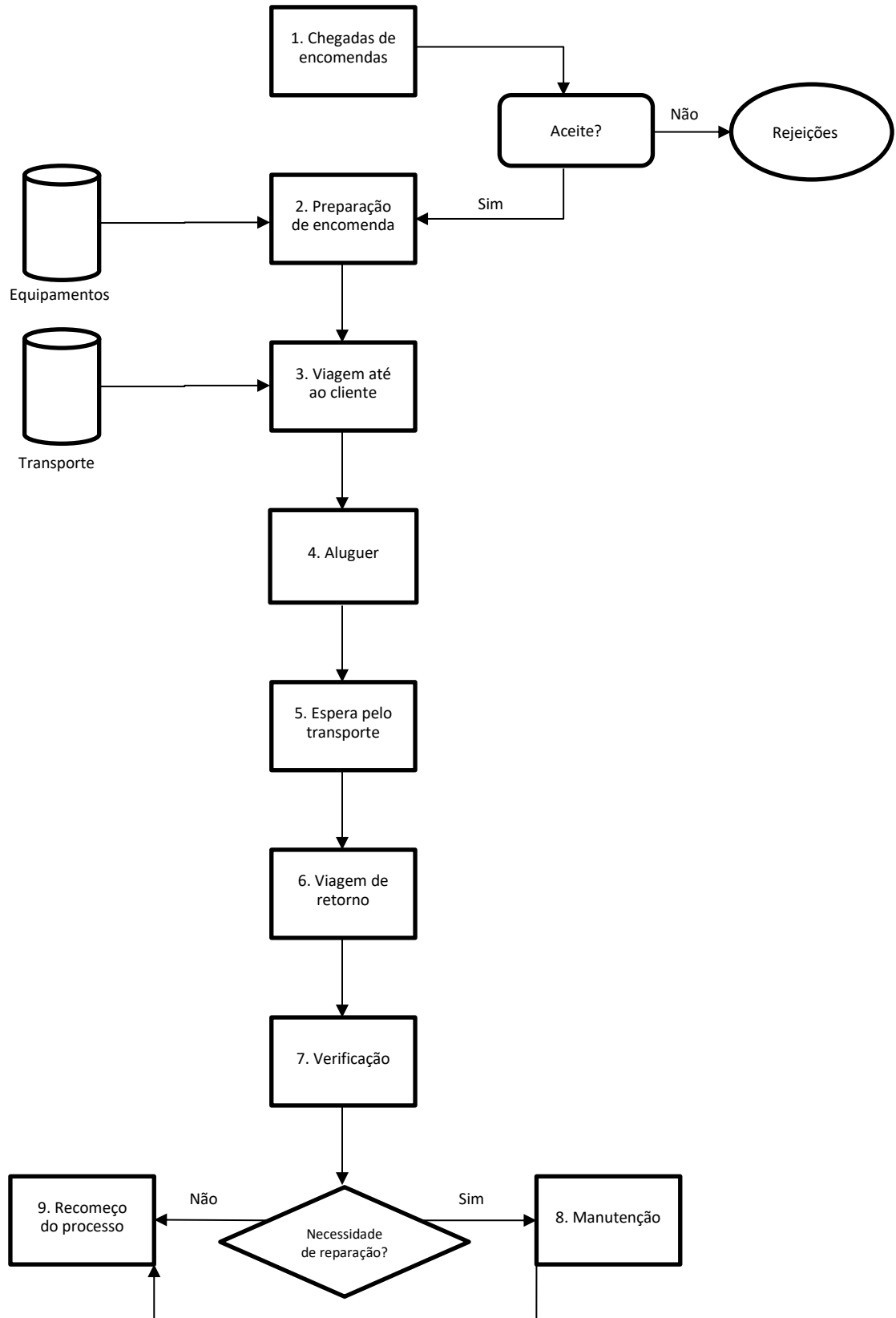


Figura 3.1 - Processo do negócio

1. **Chegada de encomendas:** durante o ano em estudo chegaram cerca de aproximadamente 13000 encomendas. Aproximadamente 10% são rejeitadas pelas razões de crédito e de concorrência.
2. **Preparação de encomenda:** após a encomenda ser aceite, a ordem de trabalho segue para o parque onde serão alocados o equipamento para aluguer e o transporte para realizar a viagem até ao cliente.
3. **Viagem até ao cliente:** realiza-se o transporte até ao local onde o cliente indicou para o aluguer.
4. **Aluguer:** durante este período o equipamento está entregue ao cliente e a realizar o trabalho.
5. **Espera pelo transporte:** após finalizado o trabalho, o equipamento fica nas mãos do cliente à espera que a empresa aloque e disponibilize um transporte para o recolher.
6. **Viagem de retorno:** Retorno do equipamento para o parque.
7. **Verificação:** nesta etapa o equipamento é verificado e avaliado quanto à necessidade de sofrer manutenção. Caso não seja necessária manutenção o processo acaba e o equipamento fica de novo disponível para aluguer.
8. **Manutenção:** Processo de reparação dos equipamentos necessitados
9. **Recomeço do processo:** O equipamento fica de novo disponível para aluguer.

3.3. Custos e receitas associados

A melhoria procurada no mundo empresarial tem sempre em conta os custos e cada vez mais existe uma atenção acentuada em os reduzir e aumentar as receitas.

Existem 2 tipos de custos associados a este sistema:

- **Custo de transporte:** custos de realização do transporte do equipamento, e de manutenção do meio de transporte;
 - **Custo de serviço:** custo associado à manutenção do equipamento após ter estado com o cliente.
-

Temos como custo médio por cada quilometro realizado aquando do transporte uma média de 0,537€. Este valor tem em consideração o gasto de combustível, pneus e manutenção preventiva anual.

Considerando a distância em km de cada capital de região à sede, podemos considerados seguintes custos de transporte:

Tabela 3.3 - Estimativa dos custos de viagem

Região	Distância(km)	Preço por cada viagem (€)
Braga	298	160
Bragança	420	226
Porto	248	133
Coimbra	138	74
Lisboa	80	43
Setúbal	118	63
Évora	160	86
Faro	300	161

Por cada encomenda, este valor por viagem duplica devido à recolha do equipamento.

Além dos custos, a empresa forneceu uma estimativa dos preços médios que cobra, por cada dia de aluguer, para cada tipo de equipamento, sendo que estão apresentados na tabela seguinte:

Tabela 3.4 - Estimativa dos custos de aluguer para clientes

Tipo de equipamento	Receita por dia (€)
Empilhadores	125
Compressores	125
Plataformas	185
Geradores	150

Os valores apresentados na tabela anterior vão servir para estimar os custos de oportunidade que a empresa apresenta devido aos pedidos de aluguer que são rejeitados por falta de equipamento.

3.4. Diagnóstico do problema

Apesar da empresa ser líder de mercado, esta não consegue satisfazer toda a procura, não apresentando solução para todas as encomendas que lhe são solicitadas e, a principal razão e na qual se foca esta dissertação é a falta de disponibilidade dos equipamentos para alugar em certos momentos.

Partindo desse objectivo, as análises efectuadas irão procurar perceber quais os problemas do sistema real na sua gestão de capacidades e a partir dos resultados obtidos apresentar propostas de melhoria para a empresa.

O estudo focar-se-á no número de equipamentos que a empresa dispõe, a avaliação dos efeitos de sazonalidade e no impacto que a actividade de manutenção tem nos equipamentos.

A ferramenta escolhida para estas análises foi uma simulação de eventos discretos, pois permite aos utilizadores, após o modelo estar finalizado, de alterar dados de forma relativamente fácil e rápida, apresentando os resultados em poucos minutos. Este trabalho também procurará auferir se este tipo de ferramentas é uma solução viável para este tipo de análise.

As análises realizadas vão focar-se em três aspectos essenciais, sendo eles:

- **Análise geral aos equipamentos:** irão ser calculados os valores da análise base, recolher os valores e procurar definir qual o melhor número de equipamentos, procurando reduzir as suas elevadas taxas de utilização, diminuindo o número de rejeições e potenciando o número de encomendas finais completas.
- **Manutenção:** apenas 12% das encomendas sofrem manutenção, contudo devido ao elevado número de solicitações a manutenção tem um peso significativo em todo o sistema, devido ao seu elevado tempo de duração.
- **Sazonalidade:** outro factor em ter em consideração, é a sazonalidade. É importante perceber quais os problemas que advêm dela, como se comporta o sistema e quais os parâmetros capazes de ser melhorados.

Por fim, será importante avaliar a utilidade do processo de simulação neste tipo de problemas, uma vez que pela pesquisa efectuada na literatura não existe nenhuma proposta de simulação de eventos discretos para a resolução deste tipo de problemas.

3.5. Descrição do modelo

Como referido, utilizando o software de simulação SIMUL8, foi possível modelar o processo de negócio da empresa. Para a criação deste modelo foram usados os dados apresentados pela empresa e realizadas algumas simplificações, que serão abordadas mais à frente no documento.

Com esta ferramenta é possível simular a actividade da empresa no contexto de um ou mais anos de mercado de forma rápida, alterar os parâmetros de modo a estudar as causas e avaliar os efeitos de tais alterações.

Este modelo foi apresentado à empresa, nomeadamente aos engenheiros responsáveis pela gestão do parque e pelas operações, tendo estes validado o modelo.

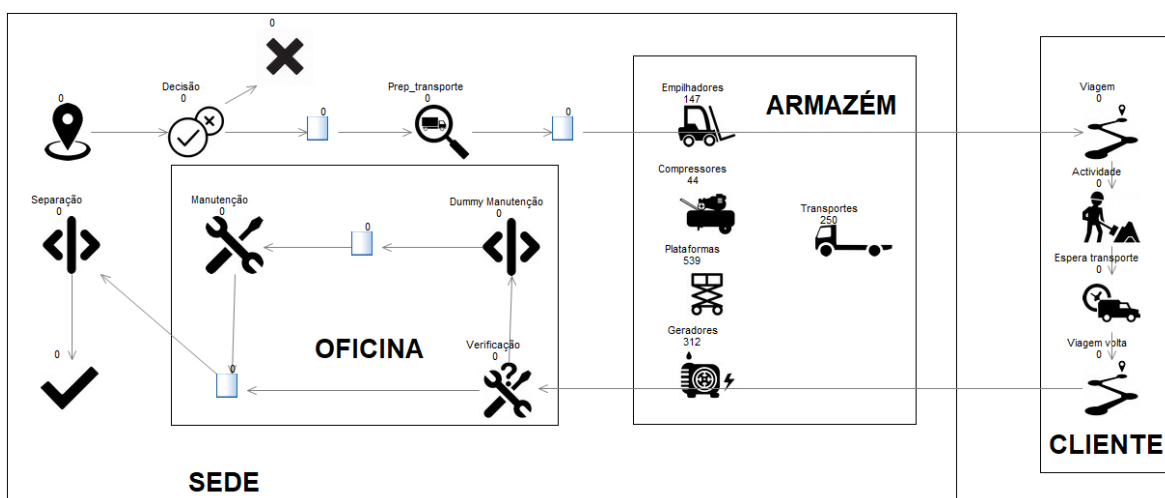


Figura 3.2 - Interface do modelo de simulação

Para o desenvolvimento do modelo de simulação é necessário definir alguns dos pressupostos, para que este possa correr e dar como *outputs* os resultados esperados, assim algumas das situações foram:

- Unidade de tempo em dias;
- Período em avaliação é de cerca de um ano de trabalho, que corresponde a 260 dias uteis;

- O *warm up time* do modelo foi estimado em 30 dias. Este valor representa o número de dias que o sistema vai simular antes de tirar os resultados para análise. O valor foi encontrado através da estabilização de parâmetros como as taxas de utilização;
- Durante o ensaio são realizadas 75 corridas, este valor deve-se ao facto de, por tentativas, os resultados terem estabilizado.

Além das situações já identificadas, foram realizadas certas simplificações para adaptar o problema ao software devido à ausência de dados facultados pela empresa. Esses valores estão discriminados na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Simplificações e deduções do problema

Actividade	Tempos	Distribuição
Chegada de encomendas	0,02/dias entre chegada de encomendas	Poisson
Viagens de ida e retorno	1 dia	Normal (com desvio padrão de 25%)
Aluguer	Empilhadores – 18 dias Compressores – 16 dias Plataformas – 13 dias Geradores – 23 dias	Log Normal
Espera de transporte	Entre 1 a 3 dias	Uniforme
Verificação	1 dia	Normal (com desvio padrão de 25%)
Manutenção (só 12% dos equipamentos passam pela manutenção)	5 dias	Normal (com desvio padrão de 25%)

Uma vez que a empresa é responsável pela entrega dos equipamentos aos clientes, esta possui uma frota de veículos especializados para esse fim. Uma vez que não foram divulgados os dados respectivos do número de transportes, para o modelo de simulação, a

capacidade dos veículos foi considerada como ilimitada, significando que nenhum aluguer é rejeitado devido à falta de transporte.

Para criação do modelo do sistema, considerou-se que a empresa entrega os equipamentos para oito regiões do nosso país, sendo que a distribuição foi criada pelo índice do número de trabalhadores em cada região.

Tabela 3.6 - Distribuição dos destinos dos alugueres

Região	Nº trabalhadores na região (dados do INE)	Distribuição
Braga	203581	6,58%
Bragança	46130	1,49%
Porto	872393	28,20%
Coimbra	210601	6,81%
Lisboa	1405058	45,42%
Setúbal	58514	1,89%
Évora	76564	2,47%
Faro	220961	7,14%
Totais	3093802	100%

4. ANÁLISES DOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Neste capítulo serão analisadas algumas situações em diversos cenários criados para avaliação do modelo real.

Na primeira análise é apresentada a simulação base, que simula o sistema real sem perturbações ou alterações na procura, com o objectivo de estudar qual o impacto que resulta do aumento ou da diminuição do número de equipamentos. Seguidamente, vai-se estudar o efeito da sazonalidade e por fim o impacto da manutenção em todo o sistema e perceber o como este reage a alguma alterações tendo em conta o número de encomendas finalizadas e à taxa de ocupação dos equipamentos.

4.1. Modelo base

No modelo base tratam-se os dados como descritos no capítulo anterior, que serve de princípio para gerir os modelos seguintes a partir dos valores facultados e das simplificações criadas.

Os outputs da simulação base dão a resposta para perceber se o modelo de simulação identifica-se ao real. Para esta avaliação, mostram-se os resultados finais médios do número de encomendas que chegaram ao sistema, o número de rejeições e o número de encomendas finalizadas.

Tabela 4.1 - Resultados gerais após finalização das 75 corridas

	Resultado médio	Intervalo de resultados com 95% de confiança
Chegada de encomendas	13018	[12833; 13203]
Encomendas rejeitadas	4217	[4061; 4374]
Encomendas finalizadas	8787	[8755; 8818]

Observando os valores apresentados na tabela anterior, existe uma discrepância entre a soma das encomendas rejeitadas e finalizadas, com o valor da chegada das encomendas.

Isso deve-se ao facto de ao fim dos 260 dias de avaliação existirem equipamentos a correr no sistema, quer seja em aluguer, viagens, verificações ou manutenção.

Após esta análise, é importante auferir a razão das encomendas serem rejeitadas e quais os equipamentos que mais sofrem as quebras de stock. Na tabela 4.2 são apresentados, por diferentes tipos, os valores médios correspondentes às suas taxas de utilização, número médio de unidades usadas e uso máximo, apresentando esses resultados com um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 4.2 - Resultados finais, por tipo de equipamento

		Resultado médio	Intervalo de resultados com 95% de confiança
Empilhadores	Utilização %	94.10	[93.79; 94,40]
	Uso médio	138.32	[137.88;138,77]
	Uso máximo	147	[147; 147]
Compressores	Utilização %	76.83	[75.73; 77,93]
	Uso médio	33.81	[33.32; 34,29]
	Uso máximo	43.99	[43.96;44]
Plataformas	Utilização %	94.25	[93.95; 94,54]
	Uso médio	507.99	[506.40; 509,59]
	Uso máximo	539	[539;539]
Geradores	Utilização %	67.78	[66.75; 68,81]
	Uso médio	211.48	[208.26; 214,69]
	Uso máximo	287.99	[283.15; 292,82]

Os resultados obtidos estão de acordo com o sistema real e comparando entre equipamentos existem valores dispersos de taxas de utilização, devido aos seus diferentes tempos médios de aluguer e procura por parte dos clientes.

Os valores de uso máximo e elevados valores de uso médio dos Empilhadores e Plataformas mostram que estes originam quebras de stocks, as suas taxas de utilização acima dos 90%, mostram que o número de encomendas rejeitadas devido à falta de equipamento, provém essencialmente destes dois tipos. O valor médio dos seus usos máximos atinge

sempre o valor máximo de stock, que significa que em todas as corridas o stock atingiu o limite.

Os Compressores, apesar de mostrarem valores elevados de uso médio são os que têm menos procura, o que leva a concluir que apesar de terem a maioria das vezes as suas unidades todas alocadas, se a procura for constante e o período médio de aluguer se mantiver idêntico, o seu número de unidades é suficiente para dar resposta à grande maioria dos alugueres propostos pelos clientes.

Por último, os Geradores são o tipo de equipamento que apresenta a menor taxa de utilização, e que durante o *trial* da simulação ocorre durante poucas vezes o problema de falta de equipamento para alugar.

Na tabela seguinte, são apresentados os valores médios de rejeições por cada tipo de equipamento, tendo em conta o valor total médio de encomendas. Os resultados indicam o que já foi identificado, as elevadas taxas de utilização transformam-se num maior número de rejeições.

Tabela 4.3 - Resultados finais das rejeições, por tipo de equipamento

	Número de rejeições	Percentagem de rejeições
Empilhadores	505	3,88 %
Compressores	24	0,18 %
Plataformas	2349	18,04 %
Geradores	4	0,03%
Total	2882	22,14 %

Como indicado, os valores cujas as taxas de utilização são maiores, são os que mais vezes são rejeitados devido a falta de equipamentos aquando do pedido de aluguer.

Esta perda representa uma quebra de receita para a empresa. Segundo os valores apresentados pela empresa dos seus preços/dia de aluguer por cada tipo de equipamento, o total perdido pela empresa devido às 2882 encomendas por falta de equipamento encontra-se seguidamente na tabela 4.4:

Tabela 4.4 - Custo de oportunidade, por tipo de equipamento

Equipamentos	Período médio de aluguer	Número médio de rejeições	Dias totais rejeitados	Custo de oportunidade perdido (€/ano)
Empilhadores	16	505	8080	1 010 000 €
Compressores	18	24	432	54 000 €
Plataformas	13	2349	30537	5 649 345 €
Geradores	23	4	92	13 800 €
Totais		2882		6 727 145 €

4.1.1. Impacto no número de equipamentos

Uma vez que dois tipos de equipamentos, os empilhadores e plataformas, apresentam uma taxa de utilização bastante elevada e conseqüentemente, um grande número de alugueres rejeitados devido à ausência de stock, este capítulo irá estudar a variação do número destes tipos de equipamentos de forma a estudar o impacto no sistema.

Como forma de estudar a gestão de capacidades destes dois tipos de equipamentos, realizaram-se diversas simulações alterando o valor dos equipamentos da *pool* da empresa, de forma a estudar as suas percentagens de utilização, número de rejeições e a variação do número de encomendas finalizadas ao fim de um ano.

4.1.1.1. Aumento de Empilhadores:

Uma vez que empresa possui cerca de 147 unidades e respectiva taxa de utilização é de 94,10%. O gráfico seguinte mostra a evolução da taxa tendo em consideração a redução até 132 unidades e o aumento até 222. Estas oscilações resultam de uma diminuição aproximadamente de 10% e um aumento de 50% de unidades.

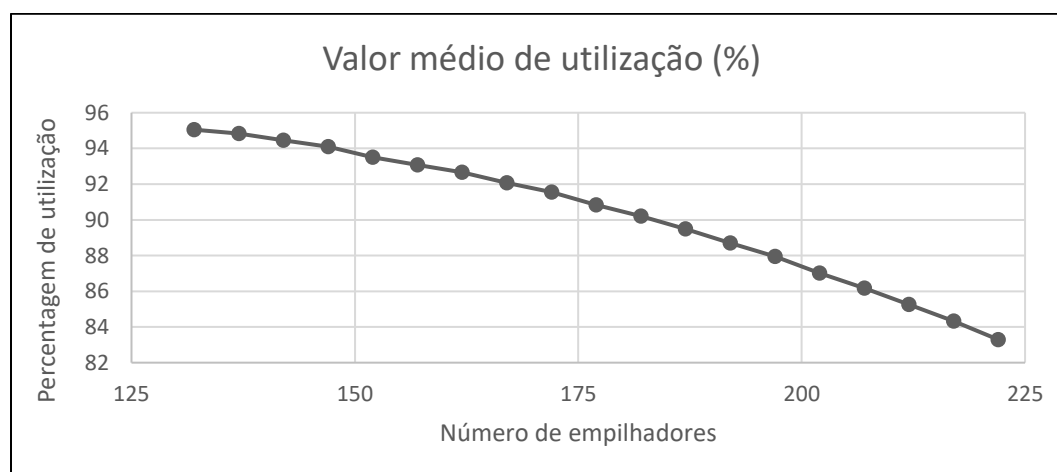


Figura 4.1 - Variação da taxa de utilização com o aumento de empilhadores

A figura 4.1 mostra que para reduzir a taxa de ocupação para um valor abaixo de 85% é necessário um aumento da frota em quase 65 unidades. Este aumento de equipamentos não se traduz numa diminuição assintótica uma vez que este aumento traz consequências a jusante no processo, como por exemplo na função de manutenção, pois existirá um maior número de solicitações.

Porém, o aumento da frota traz retorno, uma vez que o aumento do número de encomendas finalizadas cresce com aumento do número de empilhadores, como se observa seguidamente na tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Número de encomendas finalizadas com o aumento de empilhadores

Empilhadores	Encomendas finalizadas
132	8707
147	8787
187	8964
212	9038
217	9054
222	9066

Na tabela 4.5 estão indicados os valores médios das encomendas finalizadas para a redução de 10%, e um aumento para lá de 50% de unidades na frota dos empilhadores. Este aumento no número de empilhadores traz uma diminuição quanto aos valores das rejeições, como pode ser visto na tabela 4.6

Tabela 4.6 - Custo de oportunidade com o aumento do número de empilhadores

Equipamentos	187 empilhadores		212 empilhadores	
	Número médio de rejeições	Custo de oportunidade perdido (€/ano)	Número médio de rejeições	Custo de oportunidade perdido (€/ano)
Empilhadores	260	520 000 €	147	294 000 €
Compressores	25	56 250 €	25	56 250 €
Plataformas	2431	5 846 555 €	2461	5 918 705 €
Geradores	5	17 250 €	5	17 250 €
Totais	2882	6 440 055 €	2638	6 286 205 €

Pelos dados apresentados na tabela anterior podemos observar que o aumento de número de empilhadores e respectiva diminuição do número de encomendas rejeitadas, leva

a uma redução do custo de oportunidade quando comparado com o modelo base, isto significa, que com o aumento de empilhadores a empresa não perderia tanto lucro devido às rejeições.

Na tabela anterior, observa-se um aumento de rejeições nos outros equipamentos. Isso deve-se ao facto do aumento de equipamento levar a um aumento de solicitações na manutenção e criando obstruções devido ao aumento de encomendas aceites.

4.1.1.2. Aumento de Plataformas

Realizou-se o mesmo estudo, realizado para os empilhadores, tendo em consideração o número de plataformas. Sendo o valor base das plataformas bastante superior aos dos empilhadores, neste caso, para reduzir a taxa de utilização é necessário um aumento muito elevado do número de unidades.

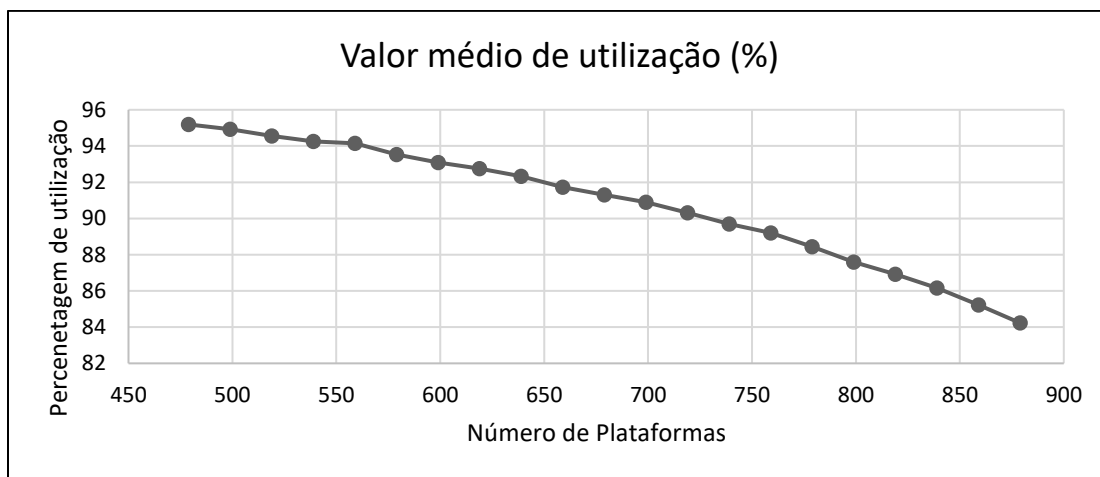


Figura 4.2 - Variação da taxa de utilização com o aumento de plataformas

Na figura 4.2 observamos a relação da redução da taxa considerando o aumento de unidades. Uma vez que a maior parte de propostas rejeitadas, se deve à falta de plataformas, o aumento de unidades destas, diminui significativamente o número de rejeições, aumentando o número de encomendas finalizadas. Contudo, tal como verificado para o número de empilhadores, esta redução não é assintótica uma vez que o aumento do número de encomendas finalizadas faz com que mais equipamentos criem mais obstruções.

A tabela 4.7 mostra os valores das encomendas finalizadas, com alteração no número de plataformas, para a redução de 10%, e novamente para próximo de valores 50% acima do número de unidades inicial.

Tabela 4.7 - Número de encomendas finalizadas com o aumento de plataformas

Plataformas	Encomendas finalizadas
479	8350
539	8787
674	9526
809	10100
859	10268

Tal como nos empilhadores, este aumento de unidades das plataformas resulta num menor número de rejeições, como se pode ver na tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Custo de oportunidade com o aumento do número de plataformas

Equipamentos	674 Plataformas		809 Plataformas	
	Número médio de rejeições	Custo de oportunidade perdido (€/ano)	Número médio de rejeições	Custo de oportunidade perdido (€/ano)
Empilhadores	549	1 098 000 €	583	1 166 000 €
Compressores	30	67 500 €	34	76 500 €
Plataformas	1554	3 737 370 €	872	2 097 160 €
Geradores	7	24 150 €	11	37 950 €
Totais	2140	4 927 020 €	1500	3 377 610 €

O efeito do aumento de equipamentos, neste caso das plataformas, leva a uma diminuição do número médio dos alugueres rejeitados. Uma vez que este tipo de equipamento tem o custo por dia mais elevado, a diminuição das rejeições torna-se, em termos monetários, bastante acentuada.

No próximo capítulo, será estudado o sistema com flutuações na procura devido aos efeitos de sazonalidade que a empresa vive, como forma de avaliar como esse se comporta.

4.2. Efeitos da sazonalidade

Neste subcapítulo serão estudados e analisados os efeitos da alteração da distribuição de chegada de encomendas de modo a simular as alterações ocorridas por acréscimos e decréscimos da procura em determinadas alturas do ano.

Neste modelo o objectivo é simular, a partir da distribuição de chegadas da simulação base, sendo que os valores facultados pela empresa para simular o efeito da sazonalidade encontram-se discriminados por tipo de equipamento na tabela 4.9

Tabela 4.9 - Valores dos efeitos de sazonalidade

Equipamento	Oscilação da sazonalidade
Empilhadores	20%
Compressores	20%
Plataformas	30%
Geradores	30%

De maneira a criar o sistema o mais real possível, a oscilação da procura está distribuída como representada na figura 4.3

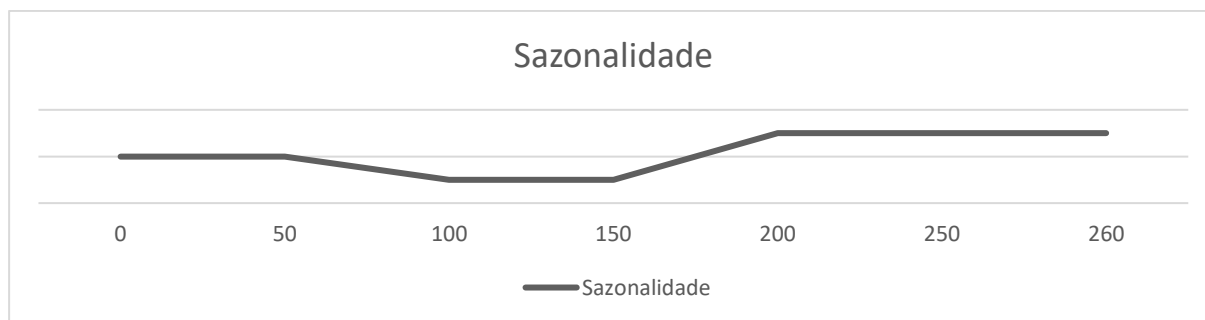


Figura 4.3 - Oscilação da sazonalidade de acordo com os dias de simulação

Seguidamente, na tabela 4.10, são apresentados os resultados finais da simulação.

Tabela 4.10 - Resultados finais gerais com efeito de sazonalidade

	Resultado médio	Intervalo de resultados com 95% de confiança
Chegada de encomendas	13702	[13497;13907]
Encomendas rejeitadas	4384	[4246; 4522]
Encomendas finalizadas	9201	[9166; 9235]

Comparando com o modelo base, observa-se a entrada de uma maior número de encomendas durante os 260 dias, que resulta num maior número de encomendas rejeitadas. Quanto à avaliação por diferente tipo de equipamentos, obtiveram-se os seguintes valores, apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.11 - Resultados finais gerais, por tipo de equipamento, com efeitos de sazonalidade

		Resultado médio	Intervalo de resultados com 95% de confiança
Empilhadores	Utilização %	92.95	[92.56; 93,34]
	Uso médio	136.64	[136.07; 137,21]
	Uso máximo	147.00	[147; 147]
Compressores	Utilização %	74.74	[73,76; 75,72]
	Uso médio	32.89	[32.45; 33,32]
	Uso máximo	44	[44; 44]
Plataformas	Utilização %	93.04	[92.68, 93,40]
	Uso médio	501.50	[499,56; 503,44]
	Uso máximo	539	[539; 539]
Geradores	Utilização %	65.77	[64,75; 66,79]
	Uso médio	205.20	[202,03; 208,38]
	Uso máximo	299.32	[295.20; 303,44]

Comparando estes últimos valores com os valores recolhidos do modelo base, observa-se um aumento da chegada de encomendas e encomendas rejeitadas, mas uma diminuição do número médio de encomendas finalizadas.

Assume-se desde já que a empresa teria problemas a lidar com picos na procura. Seguidamente, na figura 4.4, está exemplificado a reação da procura dos equipamentos em relação às mudanças devido à sazonalidade.

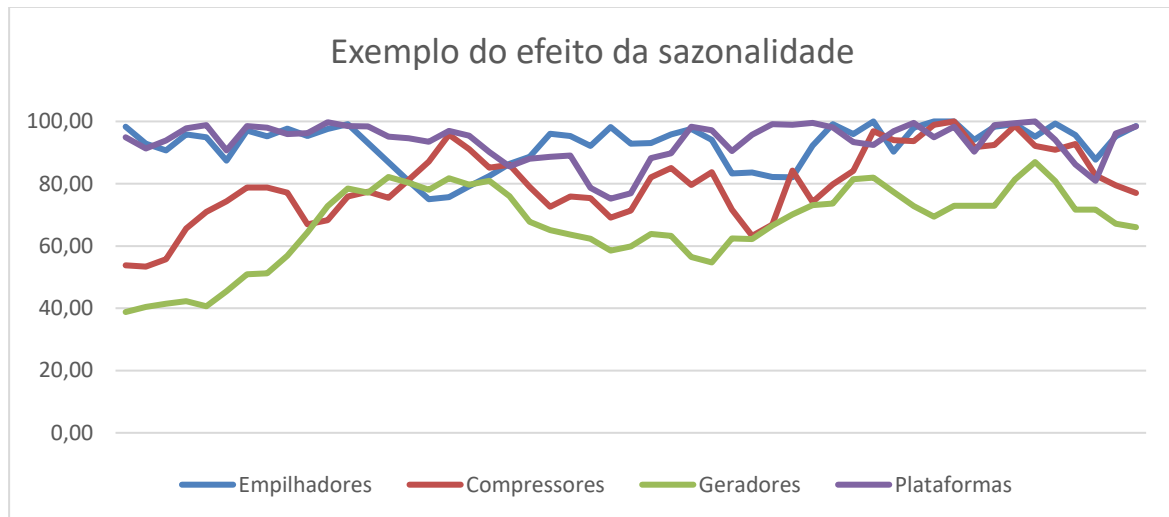


Figura 4.4 - Exemplo dos efeitos da sazonalidade nos equipamentos

Observando os gráficos da utilização dos equipamentos ao longo dos 260 dias apesar de algumas nuances no número médio de equipamentos usados, apenas nos geradores se nota de maneira acentuada o pico da procura. Isto deve-se ao facto dos restantes equipamentos terem uma taxa de utilização bastante elevada e existirem um número significativo de encomendas que são rejeitadas devido à ausência de capacidade. Uma vez que nos geradores não existem quebras de stock, observa-se a diminuição e depois o aumento relativo à sazonalidade.

Seguidamente, é importante estudar os efeitos do impacto da manutenção em todo o sistema, de modo a conhecer se existe potencial para melhorar o processo.

4.3. Análise do impacto da manutenção

Nesta fase, após análise do modelo base e reação às alterações nos números de equipamentos, há a necessidade de estudar o processo de manutenção. Apesar de apenas 12% dos equipamentos necessitarem de manutenção (e como apenas 20 equipamentos podem estar em reparação em simultâneo), esta com o seu elevado tempo de actividade atrasa os equipamentos a estarem de novo disponíveis para o aluguer.

No subcapítulo 4.3.1, irá ser analisada a criação de uma regra de prioridade na fila para a manutenção, dando hipótese dos equipamentos que estão com uma maior taxa de utilização de sofrerem as manutenções primeiro.

Após essa análise, estudar-se-á a redução dos tempos de manutenção e o efeito que esta traz ao modelo.

4.3.1. Prioridade da fila de manutenção

A empresa não tem estabelecido nenhum tipo de prioridade dos equipamentos que necessitam de manutenção, ou seja, o primeiro a chegar a fila é também o primeiro a sofrer os arranjos necessários (regra FIFO). Assim, devido à ausência de uma regra, seguidamente vão ser apresentados os dados da implementação de um modelo que dá prioridade aos equipamentos.

A regra de prioridade escolhida consiste na comparação da percentagem em stock de cada família de equipamento. Ao fim de cada dia de simulação, o sistema lê a quantidade de equipamentos em stock e o equipamento que tiver a menor percentagem em stock, terá prioridade na manutenção.

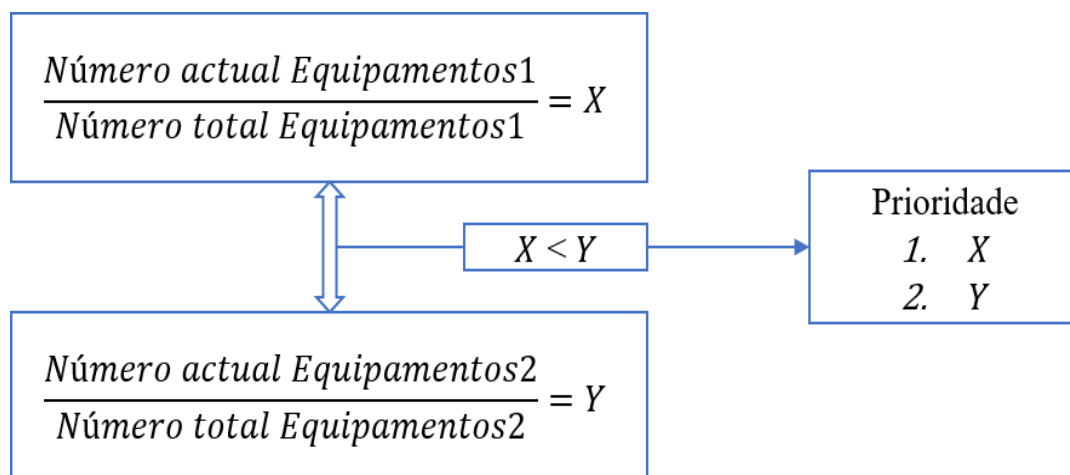


Figura 4.5 - Lógica da definição da regra da prioridade da manutenção

Na tabela seguinte, tabela 4.11, estão apresentados os resultados, após a simulação, deste cenário com a prioridade.

Tabela 4.12 - Resultados finais gerais, por tipos de equipamentos, com cenário de prioridade na manutenção.

		Resultado médio	Intervalo de resultados com 95% de confiança
Empilhadores	Utilização %	93.55	[93,26; 93,85]
	Uso médio	137.52	[137,09; 137, 96]
	Uso máximo	147.00	[147; 147]
Compressores	Utilização %	75.19	[74,15; 76,23]
	Uso médio	33.08	[32,63; 33,54]
	Uso máximo	43.97	[43,92; 44]
Plataformas	Utilização %	93.55	[93,25; 93,85]
	Uso médio	504.26	[502,64; 505,87]
	Uso máximo	539	[539; 539]
Geradores	Utilização %	66.34	[65,42; 67,25]
	Uso médio	206.97	[204,11; 209,83]
	Uso máximo	283.29	[278,18, 288,41]

Os resultados presentes na tabela anterior mostram que a utilização dos equipamentos, quando existe a prioridade na manutenção, diminui. Porém, a redução é muito pouco acentuada. Assim, é necessário estudar o valor final de encomendas finalizadas de modo a estudar o efeito da prioridade no número de encomendas finalizadas.

Tabela 4.13 - Comparação de encomendas finalizadas entre cenários de com e sem manutenção

		Resultado médio	Resultados com intervalo de confiança de 95%
Encomendas terminadas	Sem prioridade	8787	[8755, 8818]
	Com prioridade	8979	[8929, 9029]

Os valores expostos na tabela 4.12 mostram que a prioridade na manutenção leva a um aumento no número final de pedidos finalizados. Este aumento e a pequena diminuição da taxa de utilização confirma que existem demasiadas encomendas que são rejeitadas devido à falta de stock de equipamentos, ou seja, elas mantêm o mesmo valor de utilização, mas realizam mais alugueres, o que origina um maior número de encomendas finalizadas.

Esta última afirmação pode ser confirmada ao analisar os valores do custo de oportunidade que a empresa perdeu devido as rejeições.

Table 4.14 - Custo de oportunidade com o cenário de regra de prioridade

Equipamentos	Número médio de rejeições	Custo de oportunidade perdido (€/ano)
Empilhadores	476	952 000 €
Compressores	21	47 250 €
Plataformas	2229	5 360 745 €
Geradores	3	10 350 €
Totais	2729	6 370 345 €

4.3.2. Diminuição do tempo de manutenção

Outro factor que pode ter preponderância em todo o sistema, é a redução do tempo de manutenção. Como já foi referido, o tempo de manutenção é, em média cinco dias e, comparando com os restantes tempos das actividades é um valor bastante alto.

Assim, a seguinte análise consiste na redução dos tempos de manutenção. Mais uma vez serão analisados, na tabela 4.13, os valores das taxas de utilização de equipamentos e número de encomendas finalizadas.

Tabela 4.15 - Resultados finais gerais, por tipos de equipamentos, com cenário de redução dos dias de manutenção

		3 dias	- 95%	4 dias	- 95%
			+ 95%		+ 95%
Empilhadores	Utilização %	93.22	92.88	93.42	93.10
	média		93.55		93.75
Compressores	Utilização %	74.70	73.65	75.21	74.18
	média		75.74		76.23
Plataformas	Utilização %	93.27	92.96	93.47	93.19
	média		93.58		93.74
Geradores	Utilização %	65.81	64.91	66.11	65.22
	média		66.71		67.00

Mais uma vez, e comparando com os valores da tabela anterior, podemos ver que as diferenças, apesar de existirem e diminuírem à medida que se reduz o número de dias de manutenção, a diferença é reduzida. Assim, para perceber melhor a influência dos dias de manutenção, são expostos na tabela seguinte, os valores das encomendas finalizadas.

Tabela 4.16 – Resultados finais de encomendas finalizadas dos cenários de redução dos dias de manutenção

	Dias de manutenção	Média de encomendas finalizadas	Resultados com intervalo de confiança de 95%
Encomendas terminadas	3	9040	[8999;9080]
	4	9004	[8965;9043]
	5	8787	[8755; 8818]

Ao observarmos o número de encomendas finalizadas, existe um aumento nesses valores. Voltando a aplicar o método já anteriormente aplicado em relação ao cálculo da perda do custo de oportunidade para os três dias de manutenção, obtiveram-se os seguintes resultados, expostos na tabela 4.15.

Tabela 4.17 – Custo de oportunidade com a diminuição do tempo de manutenção para 3 dias

Equipamentos	Número médio de rejeições	Custo de oportunidade perdido (€)
Empilhadores	467	934 000€
Compressores	20	45 000 €
Plataformas	2175	5 230 8755 €
Geradores	2	6 900 €
Totais	2664	6 216 775 €

Mais uma vez, podemos concluir que apesar de a manutenção só acontecer em cerca de 12% dos equipamentos, esta tem um peso significativo em todo o sistema e que a redução dos seus tempos pode trazer vantagens à empresa.

4.4. Discussão dos resultados

Concluídas as análises ao sistema, nos diversos cenários, o presente ponto servirá para discutir os resultados obtidos tendo em conta as suas implicações para a empresa, bem como a utilização da ferramenta de simulação de eventos discretos como método para o estudo de problemas de gestão de capacidades.

4.4.1. Discussão dos resultados pela empresa

Com os resultados finais das análises dos modelos de simulação podemos retirar várias ilações sobre os resultados obtidos. O modelo indica que a empresa não consegue dar resposta a aproximadamente 22% dos pedidos que recebe, devido à falta de disponibilidade dos equipamentos, um valor que é altíssimo e significa uma grande perda de rendimento para a empresa.

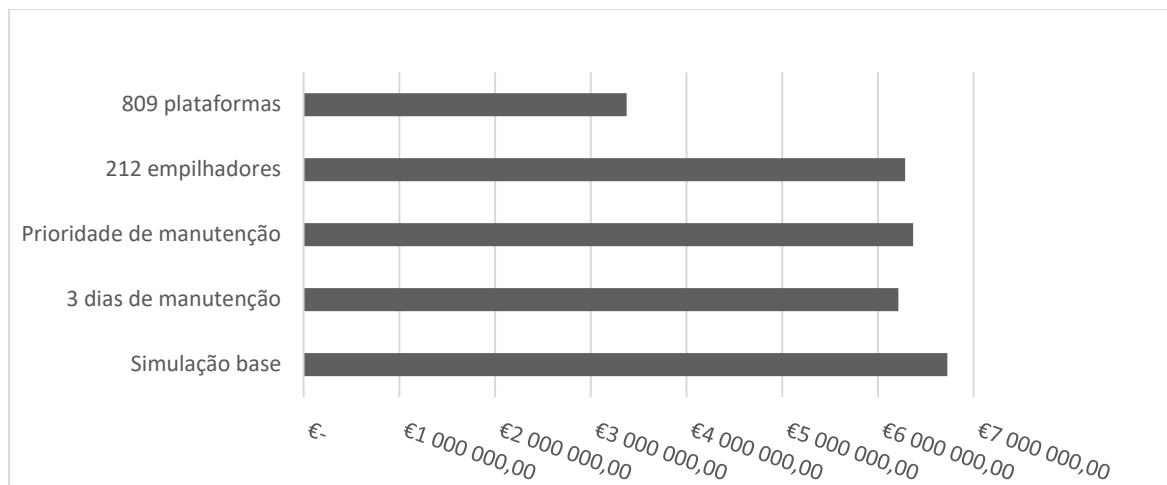


Figura 4.6 - Comparação do custo de oportunidade (€/ano)

Como podemos observar na figura 4.6 a solução que traria mais ganhos de possíveis lucros para a empresa, seria o investimento em plataformas, contudo esse também poderá ser o mais dispendioso. O gráfico mostra de forma os ganhos que poderiam resultar da aposta no melhorando do processo de manutenção. Tanto a implementação da regra da prioridade enunciada na figura 4.6 ou a diminuição do tempo médio das reparações que se traduziriam em menos perdas para a empresa.

4.4.2. Simulação como solução

O desafio desta dissertação, além da avaliação do sistema, é legitimar a simulação e o software Simul8 como uma ferramenta eficaz na análise de gestão de capacidades.

Através dos resultados obtidos, devido aos *outputs* do simulador, podemos concluir que este tipo de ferramentas pode ser útil devido à sua eficácia, versatilidade e acima de tudo rapidez das corridas com que, neste caso, foi executado a simulação de um ano de trabalho.

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS E MELHORIA

Neste capítulo serão avaliadas as análises aos modelos refletidas no capítulo anterior, e apresentadas possíveis propostas de melhoria capazes de implementação na empresa, bem como trabalhos futuros apropriados para serem desenvolvidos.

Após a análise completa e detalhada dos diferentes cenários de simulação, a conclusão a que estes levam, nestes modelos de estudo e apesar das simplificações efectuadas, a empresa tem o stock de equipamentos para aluguer mal definido.

O número de ordens rejeitadas devido à elevada taxa de utilização de empilhadores e plataformas é um valor bastante elevado (acima de 94%), o que origina a falta destes equipamentos, pelo que é necessário o aumento dos mesmos de forma a responder às solicitações dos clientes. Além da necessidade de dar esta resposta e reduzir a taxa de utilização dos equipamentos a elevada utilização leva a um maior desgaste dos mesmos, originando problemas que padecem de reparação (mais necessidade de manutenção).

As medidas de menor impacto financeiro para empresa seriam o melhoramento do processo de manutenção, quer seja pela priorização dos equipamentos antes de estes entrarem em manutenção (alteração que não iria acrescentar custos à empresa) ou pela diminuição do tempo de manutenção.

Outro factor a ter em conta é um errado dimensionamento em termos de número de unidades de geradores, uma vez que a procura não justifica o elevado número de equipamentos o leva a ter mais de 30% dos equipamentos parados. A procura de novos mercados e funções para este tipo de equipamentos, pode ser uma solução para evitar que estes equipamentos parados.

Estes modelos podem sofrer melhorias. O estudo elaborado nesta dissertação tem limitações em termos dos dados fornecidos pela empresa, sendo as principais limitações as seguintes:

- Valores de receitas e custos – possível análise mais detalhada dos custos de oportunidade;
- Padrões dos tempos de aluguer – criar modelos mais concretos com mais detalhes na procura;

- Tamanho da frota de veículos para transporte de equipamentos – estudar qual deveria ser o tamanho da frota para realizar os transportes;
- Procura por localização – estudar os modelos sabendo a procura dos diferentes tempos de transporte

Este modelo pode também tornar-se mais fácil de utilizar, por pessoas que não dominem ferramentas de simulação, devido à capacidade do simulador em questão permitir criar ligações com outro tipo de softwares, como por exemplo o Excel.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, C. K., Davison, M., & Rasmussen, H. (2004). Revenue management: A real options approach. *Naval Research Logistics*, 51(5), 686–703.
- Angelus, A., & Porteus, E. L. (2002). Simultaneous Capacity and Production Management of Short-Life-Cycle, Produce-to-Stock Goods Under Stochastic Demand. *Management Science*, 48(3), 399–413.
- April, J., Better, M., Glover, F., Kelly, J., & Laguna, M. (2006). Enhancing Business Process Management with Simulation Optimization. *Winter Simulation Conference*, 642–649.
- Bradley, J. R., & Glynn, P. W. (2002). Managing Capacity and Inventory Jointly in Manufacturing Systems. *Management Science*, 48(2), 273–288.
- Conejero, J. A., Jordán, C., & Sanabria-Codesal, E. (2014). An iterative algorithm for the management of an electric car-rental service. *Journal of Applied Mathematics*, 2014.
- Ernst, A. T., Gavrilouk, E. O., & Marquez, L. (2011). An efficient Lagrangean heuristic for rental vehicle scheduling. *Computers and Operations Research*, 38(1), 216–226.
- Kotiadis, K. (2006). Computer simulation in management science. *Journal of Simulation*, 1(1), 65–66. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jos.4250005>
- Law, A. M., & McComas, M. G. (2000). Simulation-based optimization. *2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No.00CH37165)*, 1, 46–49.
- Li, Z., Tao, F., Hoff, A., Andersson, H., Christiansen, M., Hasle, G., ... Cavalier, T. M. (2000). Simulation asics. *Computers and Operations Research*, 2(2), 71–79.
-

- Pachon, J. E., Iakovou, E., Ip, C., & Aboudi, R. (2003). A Synthesis of Tactical Fleet Planning Models for the Car Rental Industry. *IIE Transactions*, 35(9), 907–916.
- Petrick, A., Steinhardt, C., Gonsch, J., & Klein, R. (2012). Using flexible products to cope with demand uncertainty in revenue management. *OR Spectrum*, 34(1), 215–242.
- Rogers, R. V., Zeigler, B. P., & Oren, T. I. (2000). Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference J. *Simulation*, (Riis 1995), 1635–1644.
- Tainiter, A. M. (2010). Some Stochastic Inventory Models for Rental Situations SOME - STOCHASTIC INVENTORY MODELS FOR RENTAL SITUATIONS *, 11(2), 316–326.
- Tse, Y. (2015). Do industries lead stock markets? A reexamination. *Journal of Empirical Finance*, 34, 195–203.
- Van Bruwaene, K. (2006). *An introduction to Revenue sharing*. *EBU Technical Review*.
- van Mieghem, J. A. (2003). Capacity Management, Investment, and Hedging: Review and Recent Developments. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(4), 269–302.
- You, P. S., & Hsieh, Y. C. (2014). A study on the vehicle size and transfer policy for car rental problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 64(2014).