



Gonçalo Miguel Leitão Pereira

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Proposta de gestão de *stocks* de peças
de reserva para uma central
termoelétrica da EDP**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Ana Paula Barroso,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientadora: Professora Doutora Virgínia Helena Machado,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor José Fernando Gomes Requeijo
Arguente: Professora Doutora Maria do Rosário de Meireles Ferreira Cabrita
Vogais: Professora Doutora Ana Paula Ferreira Barroso
Doutor Nuno Ribeiro



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

setembro de 2016

Proposta de gestão de stocks de peças de reserva para uma central termoelétrica da EDP

Copyright © Gonçalo Miguel Leitão Pereira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Primeiro de tudo, quero agradecer à EDP Valor a oportunidade de desenvolver esta dissertação numa área do meu real interesse, a Logística, e num Grupo líder em Portugal no setor energético.

Dada a relevância e ao processo moroso que é a realização de uma dissertação de mestrado, importa dar ênfase e agradecer àqueles que contribuíram para o seu desenvolvimento, quer pelo incentivo quer pelo apoio técnico.

À Professora Doutora Ana Paula Barroso e à Professora Doutora Virgínia Machado, orientadora e co-orientadora desta dissertação, pelo constante apoio, disponibilidade, interesse e real preocupação.

Um agradecimento especial à orientação dada pelo Doutor Nuno Ribeiro dentro da empresa, através da disponibilização de todos os dados necessários, das suas abordagens críticas em inúmeras reuniões e do empenho que teve em manter-me sempre motivado, contribuindo certamente para o sucesso desta dissertação. Ao Doutor João Duarte, pela sua disponibilidade, conseguindo sempre encurtar distâncias rumo ao objetivo. Quero agradecer também a colaboração da Engenheira Sara Grancho com quem partilhei inúmeras ideias, auxiliando-me a tomar as decisões mais corretas. Ao Engenheiro Marco Bento, ao Engenheiro Yves Santos e ao Engenheiro João Miguel Piedade, pela demonstração de interesse e pela disponibilidade de responder a todas as dúvidas que me foram surgindo. A toda a Direção de Serviços Corporativos e Logística, e especialmente às pessoas que partilharam comigo o seu espaço de trabalho e a sua simpatia.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelo especial contributo que tiveram na minha valorização pessoal e académica, bem como pela amizade demonstrada ao longo destes anos.

Para finalizar, presto homenagem à minha família. Aos meus pais, pois sem eles com certeza nunca chegaria a esta etapa da minha vida, e a quem este conjunto de folhas representa um dos seus maiores motivos de orgulho. E ao meu irmão, por acreditar em mim e estar presente em todos os momentos.

Resumo

É comum encontrar-se em armazéns de peças de reserva uma cultura de excesso de *stock* devido à aversão que os gestores têm à rutura que, por sua vez, pode resultar em custos elevados devido a paragens de produção. No entanto, um investimento excessivo em *stock* de peças de reserva favorece a obsolescência do *stock*, perdendo-se a oportunidade do capital imobilizado estar investido noutras áreas. A procura deste tipo de materiais diferencia-se por ser normalmente intermitente e determinada pelas necessidades de manutenção dos equipamentos, existindo grande incerteza na sua previsão.

A melhoria da eficiência na gestão de peças de reserva tem particular interesse na central termoelétrica de Sines, que participou, em 2014, com 94% da produção total do parque termoelétrico da EDP Produção em Regime Ordinário, já que é praticada uma política de gestão de *stocks* (s, S) cujos parâmetros são definidos com uma elevada subjetividade, tendo como base a experiência e análise individual do gestor de *stocks*, não havendo nenhum modelo para os gerar. Assim, existe uma forte convicção dos gestores de *stocks* que podem ser alcançadas melhorias através de uma abordagem estruturada e sistemática. Como tal, é apresentada uma proposta de melhoria de gestão de *stocks* a um total de 3490 referências de peças de reserva.

A partir da classificação multicritério, em termos de valor (classificação ABC) e criticidade (classificação VED), é definido o nível de serviço para cada referência de peça de reserva que, juntamente com o valor da previsão da procura por via do método de previsão TSB, possibilitam a implementação de modelos heurísticos de gestão de *stocks* de peças de reserva ajustados à realidade do armazém (*Normal Approximation*, *Power Approximation* e de Naddor). Neste sentido, propõe-se outros valores para os parâmetros ponto de encomenda (s) e nível de *stock* máximo (S), estimados por um dos três modelos heurísticos consoante o nível de serviço e o tipo de procura (intermitente, irregular, errática ou contínua) associado a cada referência, possibilitando a melhoria da eficiência, verificada pelo indicador de desempenho Potencial de Redução de Custos (PRC) que atinge valores até 68%.

Foi desenvolvido um *dashboard* cuja implementação permite o controlo dos indicadores de desempenho logístico e validar os resultados obtidos nesta proposta de gestão de *stocks*, pois são notórios o impacto e as eventuais melhorias de vários indicadores, nomeadamente o índice de cobertura, as ruturas, o custo de posse do *stock*, entre outros.

Palavras-chave: gestão de *stocks*, peças de reserva, previsão da procura, modelos heurísticos de gestão de *stocks*, indicadores de desempenho, eficiência

Abstract

It is usual to find high stock levels in spare parts warehouses due to the aversion of managers to stock-out, which can result in high costs caused by production stoppages. However, an excessive spare parts stock investment favors the stock obsolescence, losing the investment opportunity of the tied-up capital in other areas. The demand for spare parts is typically intermittent and determined by equipment's maintenance needs, with great unpredictability.

The efficiency improvement in the inventory management of spare parts has particular interest in Sines thermoelectric power plant, that participated with 94% of the 3 thermoelectric power plants total production in 2014, because practices an inventory management policy (s, S) whose parameters are defined with a high subjectivity, based on the *stocks* manager experience and analysis and, therefore, there was no model to generate them. Thus, stocks managers have a strong conviction that improvements can be reached through a structured and systematic approach. As such, a proposal for improvement inventory management of spare parts to a total of 3490 SKUs (Stock Keeping Units) is presented.

Through the multi-criteria classification, in terms of value (ABC classification) and criticality (VED classification), it is defined the service level for each SKU which, along with the demand forecasting value via the TSB forecasting method, enables the heuristic models implementation (Normal Approximation, Power Approximation and Naddor). Following this line of thought, it is proposed other values of the order point (s) and maximum stock level (S) parameters, estimated by one of three heuristics models depending on service level and demand pattern (intermittent, lumpy, erratic or smooth) of each SKU, enabling the improvement of efficiency, verified by Cost Reduction Potential (PRC) performance indicator, that reaches up to 68%.

It was developed a dashboard which allows the control of logistics performance indicators and validates the results of this inventory management proposal because it is clear the impact and possible improvements of several indicators, including coverage ratio, holding costs, backordering costs, and several other indicators.

Keywords: inventory management, spare parts, demand forecasting, heuristic models, performance indicators, efficiency

Índice de Matérias

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Contextualização do Problema	1
1.3. Identificação da Questão Central de Investigação.....	3
1.4. Objetivos da Dissertação.....	4
1.5. Metodologia	5
1.6. Estrutura da Dissertação	7
2. Gestão de Stocks de Peças de Reserva	9
2.1. Logística e Competitividade nas Empresas	9
2.2. A Gestão de <i>Stocks</i>	10
2.2.1. Gestão de <i>Stocks</i> de Peças de Reserva.....	12
2.2.2. Manutenção e Gestão de Peças de Reserva – Visão Integrada	13
2.3. Sistemas de Classificação do <i>Stock</i>	14
2.3.1. Critério Valor	15
2.3.2. Critério Criticidade	15
2.3.3. Classificação do Tipo de Procura.....	16
2.4. Modelação da Procura Durante o Prazo de Entrega.....	18
2.5. Distribuições de Probabilidade	19
2.6. Previsão da Procura.....	21
2.7. Modelos de Gestão de <i>Stocks</i>	24
2.7.1. Políticas de Gestão de <i>Stocks</i>	24
2.7.2. Modelos Específicos para Peças de Reserva	26
2.8. Avaliação do desempenho	31
2.8.1. Indicadores de Desempenho.....	32
2.9. Síntese do Capítulo.....	34
3. Gestão de Stocks na Central Termoelétrica de Sines	37
3.1. Grupo EDP	37
3.2. EDP Valor – Gestão Integrada de Serviços, S.A.	40
3.2.1. Departamento de Serviços Corporativos e Logística	41
3.3. Geração de Eletricidade	43
3.3.1. Produção em Regime Ordinário	43
3.4. Central Termoelétrica de Sines	45
3.5. Gestão de Materiais	46
3.5.1. Ciclo de Compras.....	47

3.5.2. SAP/MRP	48
3.6. Indicadores de Desempenho na Gestão de <i>Stocks</i> da EDP	54
3.7. Síntese do Capítulo.....	54
4. Métodos de Previsão e Modelos de Gestão de <i>Stocks</i> Implementados.....	57
4.1. Métodos de Previsão da Procura	57
4.1.1. Método do Alisamento Exponencial Simples.....	59
4.1.2. Método de Croston Original.....	59
4.1.3. Método de Croston Modificado – SBA.....	60
4.1.4. Método TSB.....	60
4.1.5. Indicadores de Desempenho, Inicialização e Constantes de Alisamento	61
4.2. Modelos de Gestão de <i>Stocks</i>	62
4.2.1. Modelo Clássico de Revisão Contínua.....	65
4.2.2. Modelo Clássico de Revisão Periódica	67
4.2.3. Modelo Heurístico <i>Normal Approximation</i>	68
4.2.4. Modelo Heurístico <i>Power Approximation</i>	69
4.2.5. Modelo Heurístico de Naddor.....	70
4.2.6. Indicadores de Desempenho e Definição de Níveis de Serviço Alvo	70
4.3. Síntese do Capítulo.....	73
5. Implementação da Proposta de Gestão de <i>Stocks</i>	75
5.1. Recolha de Dados.....	75
5.2. Análise das Características das Peças de Reserva em Estudo.....	76
5.3. Classificação das Peças de Reserva	77
5.3.1. Critério Valor	78
5.3.2. Critério Criticidade	79
5.3.3. Matriz ABC/VED.....	80
5.3.4. Tipo de Procura	81
5.4. Ajustamento da Procura a Distribuições de Probabilidade	86
5.5. Previsão da Procura de Peças de Reserva.....	90
5.6. Aplicação dos Modelos de Gestão de <i>Stocks</i>	92
5.6.1. Aplicação dos Modelos Heurísticos à Referência de Peça de Reserva P2.2	93
5.6.2. Resultados da Aplicação dos Modelos de Gestão de <i>Stocks</i>	95
5.7. Avaliação e Controlo do Desempenho.....	103
5.7.1. Indicadores de Desempenho Incluídos no <i>Dashboard</i>	104
5.8. Síntese do Capítulo.....	106
6. Conclusões e Recomendações	109
6.1. Conclusões Finais	109

6.2. Limitações e Propostas de Trabalho Futuro.....	112
Bibliografia	115
Anexos	123
Anexo A – Proposta de Metodologia de Gestão de <i>Stocks</i> de Peças de Reserva.....	123
Anexo B – Listagem de Referências de Peças de Reserva.....	124
Anexo C – Simulação de Custos Realizada no Ano de 2015.....	125
Anexo D – Formulação do Indicador de Desempenho “Ruturas”	128

Índice de Figuras

Figura 1.1-	Metodologia da dissertação	6
Figura 2.1-	<i>Trade-off</i> da gestão de <i>stocks</i>	12
Figura 2.2-	Classificação do tipo de procura.....	17
Figura 2.3-	Representação gráfica dos 4 tipos de procura por unidade de tempo	18
Figura 3.1-	Empresas do Grupo EDP distribuídas por área de atuação.....	38
Figura 3.2-	Áreas de valor do grupo EDP	39
Figura 3.3-	Estrutura Organizativa da EDP Valor	41
Figura 3.4-	Estrutura Organizativa do Departamento de Serviços Corporativos e Logística....	42
Figura 3.5-	Funções de negócio do Departamento de Serviços Corporativos e Logística.....	43
Figura 3.6-	Repartição da potência instalada por tipo de central na Produção em Regime Ordinário.....	44
Figura 3.7-	Representação dos 4 grupos geradores da central termoelétrica de Sines.....	45
Figura 3.8-	Processo de aprovisionamento de materiais	47
Figura 3.9-	Esquema representativo da emissão de encomendas planeadas.....	49
Figura 3.10-	Algumas peças de reserva existentes no armazém.....	50
Figura 3.11-	Proporção de Materiais Valorizados na central de Sines	51
Figura 3.12-	Proporção de Materiais Valorizados com prazo de entrega associado	51
Figura 3.13-	Proporção de Materiais Valorizados com prazo de entrega associado e pelo menos um mês de procura desde 2005	52
Figura 3.14-	Proporção de materiais sem procura ou sem unidades em <i>stock</i> em 2015.....	52
Figura 3.15-	Proporção de peças de reserva (em quantidade).....	53
Figura 3.16-	Proporção de peças de reserva (em valor de <i>stock</i>).....	53
Figura 3.17-	Número de referências de material selecionadas após cada fase.....	53
Figura 4.1-	Modelo clássico de Revisão Contínua	66
Figura 4.2-	Modelo clássico de Revisão Periódica	68
Figura 5.1-	Curva ABC de acordo com o critério valor.....	79
Figura 5.2-	Peças de reserva com procura singular e não singular	82
Figura 5.3-	Distribuição das peças de reserva do armazém em função da variabilidade da procura e do Intervalo médio Entre Procuras	82
Figura 5.4-	Resultados da redefinição dos valores de fronteira que definem os tipos de procura.....	83
Figura 5.5-	Procedimento de classificação do tipo de procura de cada peça de reserva	83
Figura 5.6-	Comportamento de cada tipo de procura.....	86
Figura 5.7-	<i>Ranking</i> do ajustamento estatístico obtido para o comportamento da procura da peça de reserva P2.10.....	88
Figura 5.8-	Resultados do teste de hipótese aplicado à peça de reserva P2.10 para cada nível de significância	88
Figura 5.9-	Definição de distribuições de probabilidade aos dados de procura	90
Figura 5.10-	Constante de alisamento para cada tipo de procura.....	92
Figura 5.11-	Evolução da precisão dos modelos heurísticos após definição da estratégia de aplicação.....	99
Figura 5.12-	<i>Dashboard</i> de indicadores de desempenho logístico.....	104
Figura A1 -	Proposta de metodologia de gestão de <i>stocks</i> de peças de reserva.....	123
Figura C1 -	Avaliação do Potencial de Redução de Custos de cada modelo heurístico.....	125
Figura D1 -	Estratégia de obtenção de ruturas.....	128

Índice de Tabelas

Tabela 2.1-	Modelos de gestão de <i>stocks</i> e seus pressupostos/exigências	30
Tabela 2.2-	Indicadores de desempenho relativos à gestão de <i>stocks</i>	33
Tabela 3.1-	Indicadores gerais do Grupo EDP.....	39
Tabela 3.2-	Indicadores da EDP Valor por área de negócio.....	40
Tabela 3.3-	Principais características das centrais termoeletricas	44
Tabela 3.4-	Referências de material distribuídas por tipo de MRP	51
Tabela 3.5-	Indicadores de desempenho atualmente utilizados na gestão de <i>stocks</i> da EDP.....	54
Tabela 4.1-	Definição da probabilidade de rutura e nível de serviço de cada peça de reserva de acordo com a classificação ABC/VED	72
Tabela 5.1-	Exemplo de peça de reserva para cada tipo de MRP.....	76
Tabela 5.2-	Estatísticas descritivas de características essenciais das peças de reserva	77
Tabela 5.3-	Síntese da classificação ABC com base no valor	79
Tabela 5.4-	Constituição de cada classe de criticidade.....	80
Tabela 5.5-	Matriz ABC/VED	80
Tabela 5.6-	Classificação do comportamento da procura não nula	81
Tabela 5.7-	Peças de reserva por tipo de procura	84
Tabela 5.8-	Distribuição das peças de reserva de cada classe de valor e criticidade pelos tipos de procura	85
Tabela 5.9-	Constituição das peças de reserva pelo tipo de procura e classificação ABC/VED.....	85
Tabela 5.10-	Resultados dos testes de aderência estatística para a distribuição da procura (não singular) das peças de reserva	89
Tabela 5.11-	Comparação dos métodos de previsão por tipo de procura	91
Tabela 5.12-	Análise comparativa dos resultados de aplicação dos métodos AES e TSB.....	92
Tabela 5.13-	Dados comuns à aplicação dos três modelos heurísticos.....	93
Tabela 5.14-	Dados específicos da referência de peça de reserva P2.2	93
Tabela 5.15-	Parâmetros estimados a partir dos modelos heurísticos aplicados à peça de reserva P2.2.....	96
Tabela 5.16-	Precisão dos resultados dos parâmetros (s , S) provenientes dos modelos heurísticos	97
Tabela 5.17-	Estratégia de aplicação dos diferentes modelos heurísticos às peças de reserva.....	98
Tabela 5.18-	Resultados da aplicação do modelo heurístico de Naddor a peças de reserva da amostra, segundo a estratégia definida.....	100
Tabela 5.19-	Resultados da aplicação do modelo heurístico <i>Power Approximation</i> a peças de reserva da amostra, segundo a estratégia definida	101
Tabela 5.20-	Resultados da aplicação do modelo heurístico <i>Normal Approximation</i> a peças de reserva da amostra, segundo a estratégia definida.....	102
Tabela 5.21-	Indicadores de desempenho de gestão de <i>stocks</i> já usados	105
Tabela 5.22-	Indicadores de desempenho de gestão de <i>stocks</i> propostos.....	105
Tabela 5.23-	Indicadores de desempenho de <i>supply planning</i> já usados	105
Tabela 5.24-	Indicadores de desempenho de <i>supply planning</i> propostos.....	105
Tabela 5.25-	Indicadores de desempenho de <i>demand planning</i> propostos	106
Tabela A1-	Referências de peças de reserva utilizadas no estudo.....	124

Lista de Abreviaturas

AES:	Alisamento Exponencial Simples
CA:	Custo de Aprovisionamento anual
CD:	Custo de Diferimento (ou de rutura) anual
CP:	Custo de Posse anual
CV ² :	Variabilidade da procura
DNC:	Departamento de Negociação e Compras
DSCL:	Departamento de Serviços Corporativos e Logística
EAM:	Erro Absoluto Médio
EQM:	Erro Quadrático Médio
ERP:	<i>Enterprise Resources Planning</i>
IEP:	Intervalo médio Entre Procuras
MNV:	Materiais Não Valorizados
MRP:	<i>Material Requirements Planning</i>
MV:	Materiais Valorizados
PEP:	Prazo de Entrega Previsto
PRC:	Potencial de Redução de Custos
PRE:	Produção em Regime Especial
PRO:	Produção em Regime Ordinário
RC:	Requisição de Compra
REQM:	Raíz quadrada do Erro Quadrático Médio
RESP:	Rede Elétrica de Serviço Público
SAP:	<i>Systems, Applications and Products</i>
SBA:	<i>Syntetos & Boylan Approximation</i>
SLA:	<i>Service Level Agreement</i>
TAR:	Tempo Admissível em Rutura
TSB:	Teunter, Syntetos & Babai

1. Introdução

A dissertação, seguidamente apresentada, foca-se na elaboração de uma proposta de melhoria na eficiência da gestão de *stocks* do armazém da central termoelétrica de Sines, pertencente à EDP. A dissertação foi desenvolvida no Departamento de Serviços Corporativos e Logística (DSCL) da EDP Valor e o presente capítulo pretende expor o seu enquadramento, as descrições do problema identificado e da questão central de investigação, os objetivos a serem alcançados, assim como a descrição da metodologia utilizada. Por fim, é apresentada a estrutura geral da dissertação para que melhor se entenda o seu conteúdo.

1.1. Enquadramento

O Grupo EDP é líder no setor energético em Portugal e é responsável pela promoção, dinamização e gestão de empreendimentos e atividades neste setor. A sua visão é ser “Uma empresa global de energia, líder em criação de valor, inovação e sustentabilidade”, pelo que integra na sua cultura valores e compromissos com os seus clientes, com as pessoas e com o ambiente (EDP, 2014). Este grupo cujo posicionamento é ser uma empresa humana, sustentável e inovadora, está entre os grandes operadores europeus do setor energético, sendo um dos maiores operadores da Península Ibérica e o 3º maior produtor mundial de energia eólica (EDP, 2014). Engloba várias empresas que coordenam os trabalhos das suas diferentes áreas de intervenção, como a EDP Distribuição, a EDP Produção, a EDP Gás, a EDP Renováveis, a EDP Valor, entre outras (EDP, 2016).

A EDP Valor é composta por áreas de suporte e áreas operacionais de atuação no negócio, com o objetivo de criar mais valias para os acionistas e para os clientes, através da prestação de serviços e gestão integrada dos mesmos, com o propósito de melhorar as práticas de mercado e a satisfação de todos os intervenientes (EDP, 2016).

O DSCL da EDP Valor, para além de outras funções, assegura as atividades inerentes à gestão de contratos de fornecimento de bens e serviços técnicos, supervisão de armazéns e gestão de *stocks* das centrais termoelétricas e hidroelétricas da EDP Produção.

É na área da gestão de *stocks* das peças de reserva existentes nos armazéns das centrais termoelétricas que surge este trabalho de dissertação, devido à ineficiência que atualmente se verifica.

1.2. Contextualização do Problema

Quer ao nível do planeamento, quer ao nível operacional, existem lacunas típicas associadas à gestão de *stocks* dos armazéns de manutenção em geral, pois obriga ao gestor de *stocks* lidar

com a imprevisibilidade da procura dos diversos materiais, já que, ao contrário de um armazém de uma linha de produção, não é possível saber antecipadamente quando irá surgir a necessidade de um determinado material e qual a sua quantidade. O Grupo EDP não é exceção. O problema da gestão de *stocks* nos armazéns de manutenção das centrais termoelétricas e hidroelétricas relaciona-se com tipos específicos de material, nomeadamente, as peças de reserva ou *spare parts*. Para este tipo de materiais a procura é determinada pelas necessidades de manutenção dos equipamentos. Como tal, a incerteza associada à sua previsão é grande e a procura por peças de reserva é normalmente intermitente ou irregular, devido ao seu ritmo lento, aumentando o risco de obsolescência. Perante esta situação, os modelos clássicos de gestão de *stocks* podem levar a níveis de *stock* elevados e/ou níveis de serviço insatisfatórios.

Atualmente, a gestão de *stocks* nos armazéns de manutenção das centrais termoelétricas e hidroelétricas é feita através de uma política (s, S) a uma percentagem elevada dos materiais, em que s representa o ponto de encomenda e S representa o nível de *stock* máximo (a restante percentagem não tem qualquer política associada, isto é, não têm parâmetros associados). Os valores dos parâmetros atualmente em sistema, tais como quantidade de encomenda (Q), *stock* de segurança (Q_{seg}), ponto de encomenda (s) e nível de *stock* máximo (S) são definidos com base na experiência e análise individual do gestor de *stocks*, conferindo uma elevada subjetividade. Esta definição é feita através do conhecimento da criticidade de cada material, no Prazo de Entrega Previsto (PEP) e no seu histórico de dados da procura e custos envolvidos, não havendo nenhum modelo estruturado para gerar estes parâmetros. Isto, juntando ao facto de existirem especificidades distintas em diferentes materiais, resulta numa ineficiência de gestão, visto que características distintas exigem uma gestão distinta. Um dos problemas mais sonantes passa pelo braço-de-ferro existente entre os gestores de *stocks* e os técnicos de manutenção. Estes últimos têm uma visão conservadora, querendo manter um elevado nível de *stock* para proteger o processo produtivo devido à existência de materiais com elevada criticidade que podem causar perdas monetárias consideráveis quando da sua indisponibilidade (ocorrência de rutura). Por outro lado, os gestores de *stocks* pretendem manter o nível de serviço adequado, mas reduzindo os custos através da redução do capital imobilizado. Entende-se como nível de serviço a percentagem de unidades de material cujo pedido é respondido imediatamente quando requisitado.

Devido à dificuldade de gestão de peças de reserva assiste-se a um investimento excessivo do seu *stock* que, por vezes, acaba por se tornar obsoleto, perdendo-se a oportunidade de o capital imobilizado estar investido noutras áreas. Esta cultura de *stock* excessivo vem do facto de a maioria das peças de reserva possuírem uma procura intermitente, isto é, serem utilizadas numa dada altura e seguir-se um longo período de tempo, variável, sem voltarem a ser requisitadas. Este tipo de procura é particularmente difícil de prever, pois verifica-se a existência de variabilidade dos intervalos de tempo entre manutenções e das probabilidades de avarias inesperadas, que aumentam a incerteza. Para além disto, uma rutura pode resultar em custos elevados, sendo uma das principais causas para a ineficiência da gestão de *stocks* existente

atualmente na empresa. Consequentemente, a adoção de modelos de gestão de *stocks*, de modo a gerar os valores dos parâmetros mais adequados é dificultada.

Sendo a gestão deste tipo de materiais feita de forma intuitiva e baseada em juízos subjetivos, existe uma forte convicção dos gestores de *stocks* que podem ser alcançadas melhorias através de uma abordagem estruturada e sistemática.

Paralelamente a este problema ao nível da gestão de *stocks*, existe ainda um outro relativamente aos indicadores de desempenho logístico atualmente praticados pelas empresas do Grupo EDP, nomeadamente a EDP Distribuição e EDP Produção. Neste âmbito assiste-se atualmente à existência de redundâncias no reporte dos diferentes indicadores de desempenho nas diferentes empresas, incoerências, lacunas de informação e a necessidade de sistematizar fontes de informação e métricas. Para além disso, existe a necessidade de se obter uma forma de validar propostas de melhoria, nomeadamente na eficiência dos armazéns de manutenção, o que pode ser facilitada por via de uma avaliação do desempenho consistente, através de indicadores.

1.3. Identificação da Questão Central de Investigação

Pretende-se reduzir custos sem aumentar os riscos associados à indisponibilidade de equipamentos. No entanto, a elevada criticidade de algumas peças de reserva, o capital investido que representam, os longos prazos de entrega e a natureza incerta da procura para a manutenção são fatores que causam ineficiência e que condicionam a definição de políticas de gestão de *stocks*.

No negócio da EDP Produção existem cerca de 80 000 referências de materiais, de todos os tipos, nos armazéns de manutenção e os seus dados são geridos por um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), o SAP. Nestes materiais estão incluídos: matérias-primas, como é o caso do carvão; matérias subsidiárias (gás, fuel, entre outros); consumíveis (juntas, porcas, parafusos, anilhas, óleos para lubrificar máquinas, entre outros); e peças de reserva, como é o caso de motores, rolamentos e válvulas. As peças de reserva representam a maior fatia do capital imobilizado em *stock* (cerca de 80%) no conjunto dos armazéns e caracterizam-se por serem consumidas quando da avaria de uma peça homóloga, já que quando há uma avaria ou falha, a peça avariada é substituída por uma peça de reserva. A peça avariada pode ser reparada, interna ou externamente, para posteriormente dar entrada em armazém e constituir uma peça de reserva, ou eliminada, no caso da reparação não ser técnica nem economicamente favorável. Devido ao valor total que representam para os armazéns, à gestão complexa que lhes está associada e, sobretudo, à criticidade de muitas peças de reserva para a produção, a dissertação foca-se na gestão deste tipo de materiais.

O parque termoelétrico da EDP Produção é constituído por centros de produção que integram instalações de diversificada tecnologia e fonte energética primária, designadamente: uma central convencional a carvão (Sines) e duas centrais de ciclo combinado a gás natural (Ribatejo e Lares) (EDP, 2014).

Em 2014 a produção bruta de energia elétrica foi de 26 830 GWh, dos quais o parque termoelétrico contribuiu com 8.688 GWh, sendo que 8.129 GWh (94%) corresponderam à produção líquida da central de Sines (EDP, 2014). Tendo em conta a importância da central termoelétrica de Sines em todo o negócio da EDP e juntando os factos de englobar um maior número de referências de peças de reserva (21 627 referências) e de estas terem maior rotação de *stock*, comparativamente com outras centrais (devido a ser uma instalação mais convencional e, sobretudo, por ter o carvão como fonte energética primária), o trabalho de dissertação incide na gestão de *stocks* de peças de reserva do armazém de manutenção da central termoelétrica de Sines, podendo posteriormente servir como base para a gestão das peças de reserva dos restantes armazéns.

A manutenção dos equipamentos e a gestão de *stocks* de peças de reserva são programas interconectados, devendo ser considerados simultaneamente, pois são essenciais na otimização da operação de uma empresa (Van Horenbeek *et al.*, 2013). Segundo Braglia & Frosolini (2013) as empresas industriais têm sofrido grande pressão para reduzir os seus custos operacionais e aumentar a disponibilidade dos equipamentos. Portanto, o tema do projeto de dissertação é importante para todo o tipo de armazéns de manutenção pois estima-se que metade dos custos de manutenção são atribuídos às peças de reserva, justificando a importância do tema escolhido.

Pretende-se, ainda, avaliar o desempenho da gestão de *stocks* atualmente praticada e das melhorias propostas, através de indicadores de desempenho, sendo necessária uma grande disciplina na recolha e partilha de dados e na gestão dos sistemas de informação. Segundo Peter Drucker "*If you can't measure it, you can't manage it*", portanto os indicadores de desempenho são essenciais para a gestão das diferentes áreas logísticas, pelo que as empresas que se empenhem numa ampla e correta avaliação do desempenho conseguem obter uma melhoria contínua na sua produtividade geral.

1.4. Objetivos da Dissertação

O objetivo principal do projeto de dissertação é o de adequar modelos de gestão de *stocks* à realidade do armazém da central termoelétrica de Sines, sendo que o ponto fulcral passa por melhorar a eficiência de gestão de *stocks* de peças de reserva do armazém da central termoelétrica de Sines, existindo inúmeras referências de peças de reserva com especificidades, frequências de entrada e saída muito variáveis, o que suscita a necessidade de se utilizar uma metodologia de gestão sofisticada.

A melhoria do desempenho do armazém é obtida por meio de uma gestão de *stocks* que visa a definição de níveis de serviço para diferentes peças de reserva, mantendo os custos dentro de limites considerados aceitáveis pela gestão, ou reduzindo-os. Neste sentido, estabelecer-se-ão propostas de valores dos parâmetros de gestão de *stocks* que induzam numa redução de custos face aos parâmetros atualmente definidos no sistema sem aumentar o risco de perda de produção por indisponibilidade de peças de reserva. Para tal, é necessário criar condições para

gerir diferentes tipos de peças de reserva de forma independente, adequando modelos a características específicas de cada tipo.

A empresa pretende automatizar as práticas de gestão de *stocks* das peças de reserva dos seus armazéns, a fim de a tornar mais eficiente. Portanto, como resultado final esperado, os valores dos parâmetros de gestão de *stocks* (s , S), atualmente definidos, devem ser alterados para outros mais eficientes, segundo uma simulação de custos a ser elaborada relativamente ao ano de 2015, ou mantidos, caso a simulação assim o determine.

No que toca à avaliação e controlo do desempenho da gestão de *stocks*, deve-se garantir que os indicadores de desempenho revelem informações reais. Neste processo de avaliação e controlo pretende-se analisar a evolução temporal dos resultados de cada um dos indicadores de desempenho, de modo a conseguir obter a sua tendência e permitir a correção de possíveis desvios do caminho que a empresa pretenda seguir, de forma a alcançar os objetivos definidos pela gestão. Portanto, pretende-se verificar se os indicadores de desempenho atuais são necessários e suficientes, analisar as redundâncias existentes e, de seguida, propor outros indicadores de desempenho adequados e convenientes ao negócio, enquadrados na atividade logística. Existe ainda a necessidade de se sistematizar todas as fontes e fórmulas de cálculo e de propor um *dashboard*, de modo a visualizar dados e colaborar de forma inovadora e intuitiva no processo de tomada de decisão. A partir deste *dashboard*, que reflete a cada momento o comportamento dos indicadores de desempenho mais relevantes da logística, torna-se possível controlar de forma mais adequada o desempenho das atividades e dos recursos nelas aplicados e, neste caso, validar propostas de melhoria ao nível da gestão de *stocks*.

1.5. Metodologia

Após identificada a questão central de investigação na secção 1.3 e apresentados os objetivos a atingir, é fundamental realizar-se uma pesquisa bibliográfica dedicada ao tema de gestão de *stocks* de peças de reserva, que possibilitou a definição da metodologia a utilizar na dissertação para os objetivos serem atingidos, encerrando a fase de planeamento.

A metodologia engloba 8 passos sequenciais que se encontram representados na figura 1.1. Esta metodologia tem por base uma utilizada na melhoria da gestão de armazéns de peças de reserva, proposta por Cavalieri & Garetti (2008) e que engloba: codificação; classificação; previsão da procura; escolha da política de gestão de *stocks*; e implementação. No entanto, foram introduzidas algumas alterações.

Capítulo 1 - Introdução

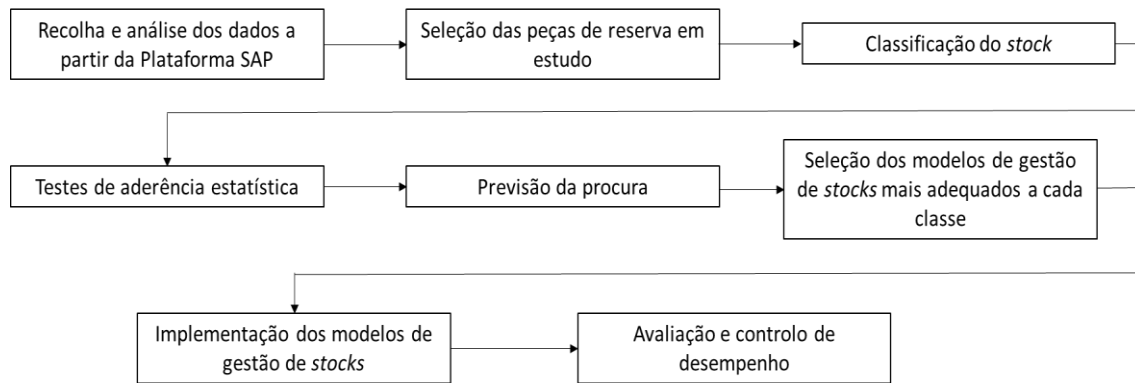


Figura 1.1- Metodologia da dissertação

Atualmente, no armazém da central termoelétrica de Sines, a codificação das peças de reserva já é realizada. Assim, a metodologia inicia com a recolha e análise de dados da procura, prazos de entrega, custos unitários e níveis de *stock*, de cada referência de peça de reserva a partir da plataforma SAP. Para este estudo definiu-se que a recolha de dados históricos é feita desde janeiro de 2005 a dezembro de 2015.

Após a primeira análise dos dados referentes às peças de reserva existentes e tendo em conta a existência de dezenas de milhares de referências, é fundamental reduzir a dimensão do problema, pelo que é necessário selecionar as peças de reserva com maior importância para a empresa e que tenham dados suficientes para a concretização do objetivo.

Realiza-se, então, a classificação do *stock* de peças de reserva, de acordo com as suas especificidades e características, nomeadamente com base em três critérios: i) Valor anual; ii) Criticidade (para as unidades produtivas); iii) Tipo de procura. A partir das primeiras duas classificações pretende-se definir os níveis de serviço alvo a atribuir a cada referência de peça de reserva, e com a classificação realizada com base no tipo de procura pretende-se agrupar as peças de reserva de modo a serem adotados os mesmos modelos de gestão de *stocks* a um determinado tipo. Esta classificação permite obter classes de peças de reserva distintas, consoante os três critérios acima mencionados, fazendo com que cada tipo de procura seja constituído por subgrupos, provenientes da combinação dos outros dois critérios, e que cada um tenha uma gestão específica.

Para algumas peças de reserva procede-se à realização de testes de aderência estatística aos dados da procura, de modo a verificar quais são as distribuições de probabilidade que melhor refletem o comportamento de cada referência de peça de reserva. Este é um ponto importante pois os modelos de gestão de *stocks* têm, por vezes, pressupostos associados ao tipo de distribuição, permitindo a validação da opção de se implementar uns em detrimento de outros.

Alguns modelos consideram ainda os dados relativos ao valor esperado e desvio padrão da procura, pelo que é realizada a previsão da procura das peças de reserva selecionadas

anteriormente para o ano de 2015, utilizando-se diversos métodos e concluindo-se acerca do mais adequado, segundo a minimização do valor das medidas de erro adotadas.

Assim, o modelo de gestão de *stocks* mais eficaz e que conduz a um melhor *trade-off* entre eficiência e disponibilidade, então, pode ser selecionado a cada classe. Esta decisão é tomada através das simulações de custo efetuadas no ano de 2015, utilizada para analisar o Potencial de Redução de Custos (PRC) associado à gestão de peças de reserva, comparando assim o desempenho e a qualidade de ajustamento de cada modelo de gestão de *stocks* e permitindo sustentar a tomada de decisão.

Definidos os modelos de gestão de *stocks* mais adequados a cada classe de peças de reserva, há que proceder à sua implementação.

Por fim, o último passo da metodologia representada na figura 1.1 é a avaliação e controlo do desempenho, possibilitada pelo PRC, mas não só. Paralelamente à implementação de novos modelos, e de forma a que se possa medir, avaliar e comparar o desempenho ao nível da gestão de *stocks* praticada, bem como das propostas sugeridas neste âmbito, é definido um processo de estruturação de avaliação e controlo do desempenho. Neste sentido, e de forma a se obter um *dashboard* de controlo do desempenho logístico deve-se, primeiramente, recolher todos os indicadores de desempenho utilizados atualmente. De seguida, devem ser identificadas as redundâncias relativas às métricas utilizadas. Depois de definidos novos possíveis indicadores de desempenho, são codificados todos aqueles que se pretende incluir no *dashboard*. Concluída a fase de seleção dos indicadores de desempenho, são definidas as fontes, as métricas e os responsáveis pelo reporte dos mesmos. Terminada a fase de planeamento dos indicadores de desempenho, desenvolve-se a interface do *dashboard*.

1.6. Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos para permitir alcançar os objetivos traçados.

No capítulo 1, Introdução, é apresentada a contextualização e a importância do problema em estudo, assim como os objetivos que se pretendem alcançar nesta dissertação e a metodologia a seguir na sua abordagem.

No capítulo 2, Gestão de *Stocks* de Peças de Reserva, procede-se à síntese ordenada da revisão bibliográfica sobre o tema da gestão de *stocks* de peças de reserva, iniciando-se pelo entendimento da importância da logística nas empresas e desenvolvendo-se pelos principais tópicos, nomeadamente, os sistemas de classificação do *stock*, as distribuições de probabilidade, a previsão da procura de peças de reserva, e as políticas e modelos de gestão de *stocks* de peças de reserva. Adicionalmente, são identificados alguns indicadores de desempenho de gestão de *stocks* úteis no sentido de se alcançar parte dos objetivos definidos, no âmbito da avaliação e controlo do desempenho.

Capítulo 1 - Introdução

O capítulo 3, Gestão de *Stocks* na Central Termoelétrica de Sines, destina-se ao enquadramento do tema a desenvolver. Inicia-se com a descrição geral do Grupo EDP, focando-se na EDP Valor – Gestão Integrada de Serviços, empresa que presta serviços à EDP Produção e onde a dissertação é desenvolvida. De seguida é apresentado o Departamento de Serviços Corporativos e Logística (DSCL), responsável pela gestão do armazém da central termoelétrica de Sines. Este afunilamento de apresentações é concluído com a caracterização da gestão de peças de reserva que atualmente se verifica e dos indicadores de desempenho utilizados, refletindo a situação atual da gestão de *stocks* da EDP Produção.

No capítulo 4, Métodos de Previsão e Modelos de Gestão de *Stocks* Implementados, é descrita a metodologia de aplicação de cada um dos métodos de previsão e de cada um dos modelos de gestão de *stocks* selecionados a partir da informação recolhida no capítulo 2, bem como as respetivas notações. Por fim, são, ainda, identificados os indicadores de desempenho que se consideram essenciais para avaliar e comparar o melhor método e modelo a atribuir a cada referência e definidos os níveis de serviço exigidos, necessários para a aplicação dos modelos.

No capítulo 5, Implementação da Proposta de Gestão de *Stocks*, são apresentados todos os passos inerentes à aplicação da proposta desta dissertação, segundo a metodologia definida na secção 1.5 e analisados os resultados de quatro pontos fundamentais na gestão de peças de reserva: classificação do *stock*, segundo três critérios; testes de aderência estatística; previsão da procura; e implementação de modelos de gestão de *stocks*. Por fim, os resultados são analisados segundo a minimização dos custos envolvidos e são apresentados os resultados referentes aos indicadores de desempenho incluídos no *dashboard* relativos ao ano de 2015, que servem para controlar o desempenho futuro da gestão de *stocks* e para avaliar, futuramente, com maior afinco, a proposta de melhoria desenvolvida nesta dissertação.

Por fim, no capítulo 6, Conclusões e Recomendações, reúnem-se as principais conclusões da dissertação e são apresentadas algumas limitações da proposta e recomendações para trabalho futuro.

2. Gestão de Stocks de Peças de Reserva

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica relacionada com os temas da dissertação, que permitiu a definição da metodologia apresentada na secção 1.5.

A investigação foi realizada num sentido *bottom-up*, desde a breve apresentação da importância da logística nas empresas até ao ponto chave da dissertação, os modelos de gestão de *stocks* específicos para peças de reserva.

2.1. Logística e Competitividade nas Empresas

A principal associação mundial de profissionais e académicos da área, o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2014) define logística como a parte da cadeia de abastecimento que é responsável por planear, implementar e controlar eficiente e eficazmente os fluxos direto e inverso e as operações de armazenagem de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a satisfazer as necessidades dos clientes. O planeamento logístico envolve quatro áreas fundamentais, nomeadamente nível de serviço, estratégia de localização das instalações, estratégia de gestão de *stocks* e, por fim, estratégia de transportes (Carvalho *et al.*, 2012).

A logística tem uma posição cada vez mais determinante nas empresas, pois está integrada diretamente na cadeia de valor, o que faz com que tenha um papel crucial no desempenho das empresas e tem tido um impacto crescente na economia de cada país, representando cerca de 8 a 21% do capital interno bruto (Rushton *et al.*, 2010).

Numa lógica de gestão de *stocks*, a logística trata das questões da gestão de materiais, sejam bens finais, produtos semi-acabados ou matérias primas, quer estejam em movimento quer estejam imobilizados, responsabilizando-se pela gestão de fluxos físicos e de informação (Carvalho *et al.*, 2012).

Os *stocks* são considerados um dos componentes mais relevantes na gestão de uma empresa, não só porque imobilizam capital (que poderia estar a ser investido noutras áreas) mas também porque implicam custos, tornando-se crucial a redução dos seus níveis (Carvalho *et al.*, 2012). No entanto, esta redução pode dificultar a manutenção dos níveis de serviço, sendo este um dos maiores desafios da logística (Carvalho *et al.*, 2012).

Um estudo realizado por Silver, Pyke & Peterson (1998) conclui que mais de 90% das empresas que implementam melhorias na gestão de *stocks* alcançam uma redução de custos em pelo menos 20%, sem reduzirem o nível de serviço, o que é de facto uma grande mais-valia sendo

que o valor dos *stocks* podem representar até 40% do capital investido de uma empresa (Heizer & Bender, 2001).

2.2. A Gestão de *Stocks*

Stocks consistem em todos os produtos e materiais armazenados pelas empresas, mantidos para uma utilização futura. São elementos patrimoniais classificados e valorizados em existências e que se traduzem em conjuntos de materiais ou produtos acumulados que podem ser utilizados e permitem assegurar a resposta às necessidades (internas ou externas) sempre que necessário (Carvalho *et al.*, 2012). Existem vários tipos de *stocks*, em que os principais são: matérias-primas; produtos em vias de fabrico (*work in process*); produtos acabados; consumíveis; e peças de reserva (Zermati, 2000). Estas últimas são o foco desta dissertação.

A necessidade de constituir *stocks* surge quando o aprovisionamento e a procura têm um comportamento distinto ao longo do tempo, sendo o processo de procura independente do processo de aprovisionamento (Carvalho *et al.*, 2012). Existem, ainda, outras justificações para a constituição de *stocks*, nomeadamente (Silver *et al.*, 1998): i) Responder eficazmente no caso de falhas de aprovisionamento ou de produção; ii) Funcionar como reserva estratégica, cobrindo situações de flutuação da procura e do tempo de reposição do *stock*; iii) Reduzir custos de transporte e de produção; iv) Garantir um elevado nível de serviço; v) Permitir a criação de economias de escala; e vi) Atuar como *buffer* das interações críticas da cadeia de abastecimento;

O objetivo de uma política de gestão de *stocks* é a minimização dos custos que lhe está associado e que podem ser agrupados em quatro categorias (Hax & Candea, 1984):

i) Custo de aquisição, que representa o custo das unidades compradas. Se não existem descontos de quantidade pode-se considerar que este é obtido calculando o produto da quantidade encomendada pelo custo unitário (c) do material.

ii) Custo de aprovisionamento (C_a), que engloba os custos associados à colocação e receção de cada encomenda, é a parcela de custos fixos de encomenda que pode ser determinada dividindo o custo dos serviços de compras e receção pelo número de encomendas colocadas anualmente, correspondendo, portanto ao custo incorrido no processo de aprovisionamento, dependente da estrutura de compras e independente da quantidade da encomenda.

iii) Custo de posse de *stock* (C_p), que inclui o custo com a armazenagem (aluguer do espaço e operações de armazém), o custo de oportunidade de investimento do capital imobilizado, que representa o retorno mínimo que a empresa deve garantir sobre um ativo, custos de manutenção desse *stock* (impostos e seguros) e ainda o custo do risco associado a perdas, deterioração e obsolescência. Engloba, portanto, despesas financeiras (como capital imobilizado, e seguros) e despesas de manutenção (instalações, pessoal, energia, desvalorizações, deterioração e furto).

iv) Custo de rutura ou de diferimento (C_d), que está associado às perdas decorrentes da quantidade em *stock* não ser suficiente para satisfazer a procura, podendo implicar a perda de produção ou paragem do equipamento. O valor deste custo pode advir ainda de penalizações por atraso que possam estar estabelecidas em contrato, vendas perdidas, manutenção da carteira de encomendas e perda de clientes.

O conceito de custo total do sistema é muito importante pois os sistemas logísticos devem ser sempre avaliados como sistemas integrados (Carvalho *et al.*, 2012). Uma gestão de *stocks* eficiente permite planear e organizar os fluxos materiais e de informação dentro do armazém de forma a manter o mínimo de *stock* e garantir a disponibilidade, que resulta do seguinte *trade-off*: uma maior quantidade de *stock* implica um maior custo de posse, um maior fundo de maneio, um maior risco de perda por obsolescência e a necessidade de um espaço de aprovisionamento maior, no entanto as principais vantagens são obter melhores condições de compra junto dos fornecedores, menores prazos de entrega na produção (por não haver esperas de material), maior flexibilidade produtiva e, obviamente um melhor nível de serviço (Reis, 2006). Verifica-se o oposto para uma menor quantidade, isto é, o nível de serviço é mais reduzido e os custos de rutura podem aumentar. Por conseguinte, torna-se fundamental uma gestão equilibrada tanto na gestão económica como na gestão física dos *stocks* (Reis, 2006), uma vez que diferentes áreas de uma empresa industrial têm diferentes objetivos relativamente a esta gestão, entrando muitas vezes em conflito e, portanto, deve-se compreender o *trade-off* desta temática, balanceando todos os prós e contras (Smith, 1994).

Para se conseguir atingir uma minimização dos custos envolvidos é necessário conseguir responder a três questões fundamentais na gestão de *stocks* (Carvalho *et al.*, 2012): Quais são as referências de material que devem ser mantidas em *stock*? Qual deve ser a quantidade a encomendar? Quando deve ser colocada a encomenda? Como controlar os *stocks*?

A complexidade muitas vezes associada prende-se com o facto de, na realidade, as movimentações não serem determinísticas, fazendo com que na prática a previsão da procura seja de enorme incerteza devido às flutuações da procura dos materiais, variações dos prazos de entrega do fornecedor, da quantidade efetivamente entregue, entre outros fatores (Carvalho *et al.*, 2012). Portanto, a constituição de *stock de segurança* para cobrir variações imprevistas da procura é de extrema importância para não ocorrerem ruturas indesejadas e implica definir um nível de serviço alvo. Se os movimentos financeiros imobilizados em *stocks* forem excessivamente altos, podem gerar problemas de tesouraria, no entanto a indisponibilidade de peças de reserva aumenta o risco de rutura e a possível perda de produção (Nenes, Panagiotidou & Tagaras, 2010), tendo de haver, portanto, um *trade-off* satisfatório em termos da quantidade de *stock* a manter em armazém, como representado na figura 2.1.

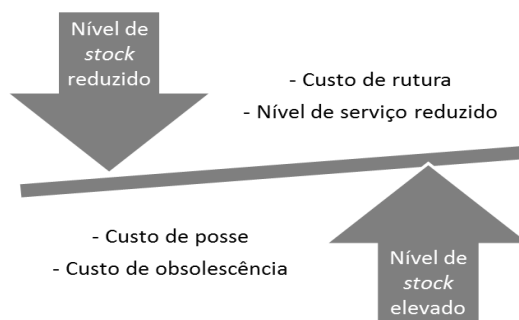


Figura 2.1- *Trade-off* da gestão de *stocks*

2.2.1. Gestão de *Stocks* de Peças de Reserva

As peças de reserva são normalmente usadas na manutenção e reparação de equipamentos da central termoelétrica de Sines, servindo também para situações de emergência. Constituem materiais com características distintas dos habitualmente analisados, são maioritariamente de baixa rotação e são determinantes para o processo produtivo, podendo o nível insuficiente de *stock* implicar paragens de produção e, conseqüentemente, elevados custos.

A função principal do *stock* de peças de reserva é fornecer assistência ao serviço de manutenção prestado pelas equipas técnicas, assegurando a disponibilidade e operacionalidade dos sistemas instalados (Kennedy, Patterson & Fredendall, 2002). Difere do tradicional armazenamento de produtos acabados e em vias de fabrico, tendo como destino servir as unidades produtivas e é concebido de forma a servir de “almofada” para minimizar o risco associado às incertezas observadas nos prazos de entrega, níveis de qualidade, produção e planeamento, assim como diferenças entre a capacidade disponível e a procura. As políticas de gestão de *stocks* deste tipo de materiais também são diferentes das aplicadas a outros tipos de materiais, pois o nível de *stock* de peças de reserva depende tanto da forma como o equipamento é usado como das características de manutenção que são aplicadas a cada material (Kennedy *et al.*, 2002).

Segundo Kennedy *et al.* (2002) as principais características de gestão de peças de reserva são:

- 1) As necessidades são ditadas pelas políticas de manutenção e não pela procura do cliente;
- 2) Normalmente não existe informação fiável e disponível para prever o número de falhas a que o equipamento está sujeito;
- 3) As falhas ocorridas em peças dos equipamentos podem ser dependentes, sendo importante conhecer essas dependências e agravando-se ainda mais no caso de serem imprevisíveis;
- 4) A procura de algumas peças de reserva é, por vezes, conhecida através do canibalismo provocado por outras peças;
- 5) Os custos de rutura de peças de reserva incluem, geralmente, os de qualidade do serviço e de produção perdidas, que são difíceis de quantificar e agravam-se quanto mais críticas forem;
- 6) O problema de obsolescência, devido a situações como a paragem de produção ou funcionamento de um determinado equipamento, criando um elevado valor de *stock* empatado.

A procura por peças de reserva aparece sempre que algum equipamento falha ou requer substituição de peças e, como tal, existem diferentes padrões relevantes comparativamente às referências de peças de reserva mais típicas (Babai, Syntetos & Teunter, 2014). Bacchetti & Saccani (2012) concluíram que existe uma considerável lacuna entre os estudos científicos e a prática relativamente à gestão de peças de reserva, pois consideram que os gestores normalmente preferem confiar nos seus próprios julgamentos, como é o caso, ou em modelos simples.

Muitas empresas, atualmente, lidam com o desafio de manterem excessivas quantidades em *stock*, havendo grande dificuldade na escolha de uma boa estratégia de gestão de peças de reserva, devido às suas características, visto que normalmente apresentam rotação baixa e a maioria possui uma procura intermitente, com procura nula em numerosos períodos (Syntetos, Babai & Altay, 2012). Ou seja, existe períodos em que uma dada referência é consumida e segue-se um longo período de tempo, variável, sem ser requisitada, o que torna a procura difícil de se prever e uma rutura pode resultar em custos extremamente elevados (Hua *et al.*, 2007).

Os principais fatores que dificultam a gestão de peças de reserva são a criticidade (em primeiro lugar), os longos prazos de entrega, os elevados custos de aquisição, a elevada especificidade e a obsolescência (Bailey & Helms, 2007). Por estes fatores, na prática, a gestão de *stocks* é geralmente realizada de maneira empírica, baseada na experiência dos gestores, como é o caso. Para equipamentos novos, sem histórico, normalmente a decisão de manter peças em *stock* é baseada na recomendação do fornecedor, o que costuma resultar em níveis de *stock* elevados. Somando a isso a aversão a riscos de indisponibilidade, é comum encontrar nas empresas uma cultura de excesso de *stock* de peças de reserva (Bailey & Helms, 2007).

2.2.2. Manutenção e Gestão de Peças de Reserva – Visão Integrada

As falhas de equipamentos podem ocorrer devido a desgaste ou a causas aleatórias, e a política de manutenção, tanto corretiva como preventiva, é quem dita a necessidade das peças de reserva, o que resulta em procuras específicas, de pequena quantidade, estocásticas e irregulares e, portanto, a manutenção dos equipamentos e a gestão de *stocks* de peças de reserva não devem ser dissociadas (Van Horenbeek *et al.*, 2013). Para dificultar ainda mais a gestão deste tipo de peças, nem toda a procura é independente, já que para as peças de reserva que são usadas em manutenção preventiva (aquela em que a substituição das peças se dá regularmente, segundo certos critérios) a sua procura pode ser calculada com base no programa de manutenção preventiva dos equipamentos. Para peças de reserva não reparáveis, o *stock* deve funcionar apenas em manutenções corretivas, pois a necessidade de peças para a manutenção preventiva pode ser planeada antecipadamente (Louit *et al.*, 2011). De maneira distinta, para peças reparáveis, a quantidade de peças necessária para ambos os tipos de manutenção deve ser mantida em *stock*, pois elas seguem um processo de reparação antes de retornarem ao armazém (Louit *et al.*, 2011).

2.3. Sistemas de Classificação do *Stock*

Nem todas as peças de reserva têm o mesmo grau de importância para a empresa ou para o processo produtivo, pelo que devem ser geridos de modo diferente, isto é, diferentes peças de reserva representam papéis diferentes no negócio da empresa e como tal necessitam de uma gestão diferenciada (Carvalho *et al*, 2012). A classificação é uma etapa importante, pois agrupa numa mesma classe peças de reserva de características similares, cujas decisões de aprovisionamento são semelhantes (Huiskonen, 2001). Segundo Teunter & Sani (2009) o principal objetivo da classificação é simplificar a gestão, através da implementação de diferentes tipos ou políticas de gestão de *stocks* e níveis de serviço a cada classe e não de forma isolada.

Assim, a classificação das peças de reserva é de extrema importância, no sentido em que facilita a tomada de decisão relativamente à previsão e gestão do *stock* e permite aos gestores focarem a sua atenção nas que consideram ser mais importantes (Rodrigues & Santos, 2006). Isto é ainda mais visível e relevante nas empresas onde uma pequena percentagem de *stock* de peças de reserva é responsável por uma grande parte do valor total armazenado (Smith, 1994), como é o caso.

A forma mais popular de classificar os *stocks* é a análise ABC, baseada no Princípio de Pareto. Esta forma de classificação teve origem num estudo, realizado por Vilfredo Pareto no século XVIII, sobre a distribuição de riqueza em Milão, tendo-se observado que 20% das pessoas controlavam 80% da riqueza, sustentando a lógica de poucos terem muita importância e muitos terem pouca importância (Chu, Liang & Liao, 2008). A análise ABC caracteriza-se por ser fácil de usar e simples de perceber e consiste em dividir as peças de reserva por classes, consoante determinado critério. Frequentemente, os critérios de classificação têm por base o valor da procura anual, que resulta do produto da procura anual de uma referência e do seu custo unitário, podendo a classificação ser feita da seguinte maneira (Chu *et al.*, 2008): a classe A corresponde à classe de peças de reserva de maior valor que exige maior esforço e atenção pela gestão, em que cerca de 15-20% correspondem a 75-80% do valor anual total; a classe B corresponde à classe de valor médio, onde cerca de 30-40% das peças de reserva correspondem a aproximadamente 15% do valor anual total; por último, a classe C, a menos valorizada e com menor importância, em que cerca de 40-50% das peças de reserva são responsáveis por 5-10% do valor anual total. A análise ABC é utilizada em inúmeras organizações de modo a auxiliá-las numa gestão de *stocks* mais eficiente (Hatefi, Torabi & Bagheri, 2014).

Na análise ABC classifica-se as referências em *stock* por ordem dos valores decrescentes associados ao critério utilizado e acrescenta-se, ao valor de cada uma, os valores associados às referências que o precedem (Zermati, 2000), obtendo-se duas variáveis relativamente a cada referência, a percentagem acumulada de referências em armazém e a percentagem acumulada do valor do critério relativo a cada uma.

Esta metodologia é eficiente quando se analisam materiais homogêneos, o que não se verifica nas peças de reserva em estudo, que têm geralmente uma procura intermitente. Neste caso, para além desta classificação é aconselhável também uma análise à sua criticidade (Gajpal, Ganesh & Rajendran, 1994), sendo possível adotar a gestão mais adaptada à realidade.

Segundo Rodrigues & Santos (2006) abordagens unidimensionais não permitem discriminar todos os parâmetros de controlo potenciais dos diferentes tipos de peças de reserva e, portanto, para superar esta limitação, alguns autores desenvolveram modelos de classificação multi-critério. Visto que a classificação obtida a partir da análise ABC é, por vezes, sujeita a ajustes adicionais que se traduzem numa reclassificação com base noutros critérios, a segmentação das peças deve ser feita com base numa classificação multi-critério, na qual pode fazer sentido considerar o prazo de entrega, a criticidade, a obsolescência, a substituíbilidade, a escassez, a durabilidade, a distribuição de probabilidade estatística da procura (Rodrigues & Santos, 2006), facilidade de aprovisionamento, rotação, custo ou valor anual (Porras & Dekker, 2008), entre outros. Segundo Huiskenon (2001) e Porras & Dekker (2008) os critérios que mais se adequam à gestão de peças de reserva são: i) criticidade, ii) valor e iii) tipo de procura.

2.3.1. Critério Valor

Dado que na maioria dos casos o objetivo da gestão de *stocks* é o de minimizar custos, o critério do valor anual total dos materiais, aplicado na análise ABC, é dos que merece maior destaque na literatura (Celebi, Bayraktar & Ayka, 2008). A análise ABC aplicada neste critério sugere que exista um número reduzido de peças de reserva que contribui para a maior parte do valor do armazém e um número elevado que representa um valor relativamente baixo. Esta análise é amplamente utilizada no planeamento e controlo das quantidades de *stock* e é concebida para atingir uma discriminação apropriada das peças de reserva de acordo com o nível de atenção necessário à sua gestão de *stocks* (Celebi *et al.*, 2008).

O parâmetro de segmentação pode ser tanto o valor anual movimentado (Rodrigues & Santos, 2006) como o custo total anual das peças de reserva (Celebi *et al.*, 2008) e a principal vantagem desta análise prende-se com a focalização do estudo nas peças mais importantes ou na atribuição de maiores níveis de serviço. Potencialmente, milhares de referências de peças de reserva podem ser mantidas em *stock* para operações de manutenção, mas apenas uma pequena proporção merece uma análise detalhada e um controlo mais apertado por parte da gestão do armazém (Braglia, Grassi & Montanari, 2004).

2.3.2. Critério Criticidade

A consequência causada pela falha da peça quando uma sua reserva não está disponível, também conhecida como criticidade, é avaliada de maneira quantitativa, principalmente através de custos decorrentes da falha, ou através de parâmetros qualitativos e, geralmente, quanto

menor a criticidade, menor o número de peças que deve permanecer em *stock* (Bailey & Helms, 2007).

A criticidade é relevante neste tipo de gestão devido ao facto da indisponibilidade de uma peça de reserva crítica poder implicar um custo superior ao seu valor comercial e provocar elevadas perdas de produção (Braglia & Frosolini, 2013), sendo considerada a característica mais importante na gestão de peças de reserva, podendo manter-se várias quantidades em *stock* mesmo sabendo que dificilmente elas serão consumidas (Bailey & Helms, 2007).

Esta análise de criticidade pode ser obtida a partir de diversas formas. Em termos teóricos, poder-se-ia avaliar a criticidade de cada referência de peças de reserva a partir dos custos de inatividade que estes causam nos sistemas, contudo este cálculo é difícil na prática (Huiskonen, 2001). A classificação mais aceite na literatura é a classificação VED, sendo as peças de reserva catalogadas como Vitais, Essenciais ou Desejáveis. As Vitais (V) provocam grande prejuízo na produção, já as classificadas como Essenciais (E) podem causar alguma perda. Por fim, as Desejáveis (D) são aqueles que não têm grande influência em caso de rutura (Cavaliere & Garetti, 2008).

2.3.3. Classificação do Tipo de Procura

Para além da classificação de cada uma das referências de peças de reserva quanto ao seu valor para a EDP e à sua criticidade para o processo produtivo, torna-se necessário estudar e classificar o comportamento da procura, de modo a poder haver uma gestão diferenciada para cada tipo de procura.

Segundo Strijbosch, Heuts & van der Schoot (2000) a procura pode ser classificada de acordo com a sua variabilidade ao longo de um período temporal, e assim pode ser distinguida entre constante, com tendência, sazonal ou irregular.

Bošnjaković (2010) apresenta um dos modelos mais referenciados na literatura para tipificar a procura dos materiais, classificando-a em três grupos de acordo com a velocidade de rotação do *stock*: F- Alta Rotação (*Fast Moving*), S- Baixa Rotação (*Slow Moving*) e N- Sem Rotação (*Non Moving*). A maioria das peças de reserva existentes num armazém da natureza em estudo pertencem ao grupo dos *Slow Moving*, dado que o índice de rotação apresenta um valor reduzido. No entanto, este modelo é meramente qualitativo, não definindo claramente os valores de fronteira das classes ou tipos de procura.

De modo a ser possível classificar de forma clara a procura com diferentes tipos de flutuações, Syntetos, Boylan & Croston (2005) propõem um modelo que estuda o movimento dos materiais segundo duas variáveis independentes: o coeficiente da variabilidade da procura (CV^2) e o Intervalo médio Entre Procuras (IEP). O IEP corresponde à média do intervalo de tempo entre duas procuras consecutivas da mesma referência de peça de reserva (equação 1), já o CV^2 é

determinado pelo quadrado do quociente entre o desvio padrão da procura (σ) do histórico e a sua média observada (μ) (equação 2).

$$IEP = \frac{\sum \text{Intervalo entre procuras}}{\text{Número de intervalos entre procuras}} \quad (1)$$

$$CV^2 = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^2 \quad (2)$$

Após a identificação destas duas variáveis essenciais, e segundo o modelo, pode-se classificar a procura típica das peças de reserva em 4 quadrantes (Syntetos *et al.*, 2005), nomeadamente:

Contínua (*Smooth*): IEP menor do que de 1,32 meses (alguma regularidade) e CV^2 menor do que 0,49. Caracteriza-se por não ter grande variação nos intervalos entre procuras e na sua quantidade;

Errática (*Erratic*): IEP menor do que de 1,32 meses, mas com CV^2 superior a 0,49. É uma procura com alguma regularidade ao longo do tempo, no entanto varia muito a sua quantidade.

Intermitente (*Intermittent*): IEP superior a 1,32 meses, embora, quando existe, a variação da quantidade de cada procura é relativamente pequena, com CV^2 inferior a 0,49. Ocorre de forma aleatória, com muitos períodos de procura nula. Ou seja, o momento da procura é incerto, mas a quantidade de procura não é incerta, não sendo, necessariamente, unitária ou constante.

Irregular (*Lumpy*): É considerada a procura mais complicada de gerir em armazém, pois tanto o IEP como o CV^2 são elevados (com IEP superior a 1,32 meses e CV^2 superior a 0,49). Para além de ocorrer ocasionalmente, com vários períodos de procura nula, quando ocorre a quantidade é muito variável.

Existem 4 quadrantes representados num gráfico bidimensional (figura 2.2), com CV^2 em função de IEP, sendo os valores de fronteira entre os quadrantes propostos por Syntetos *et al.* (2005).

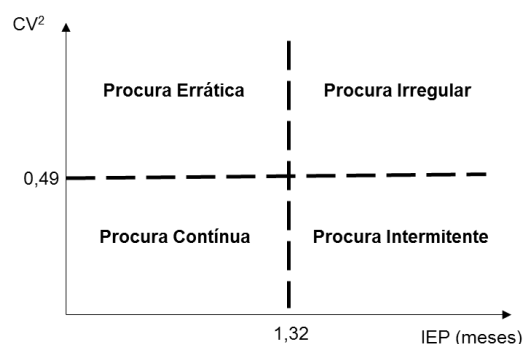


Figura 2.2- Classificação do tipo de procura

Este modelo, que tem como base o critério de classificação implementado por Williams (1984), é o mais adequado da literatura e o que melhor alia a teoria à prática (Willemain, Smart & Schwarz, 2004). Na figura 2.3 apresentam-se as 4 representações gráficas relativas ao comportamento da procura de cada tipo, ao longo de um horizonte temporal.

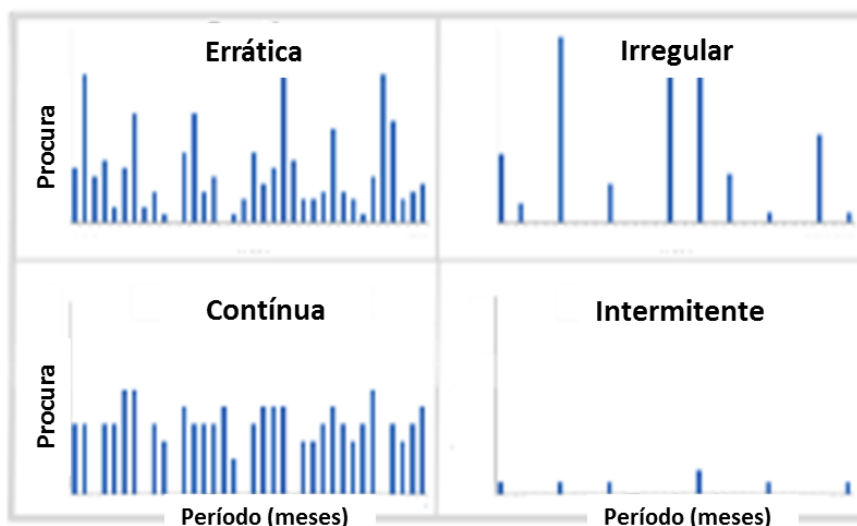


Figura 2.3- Representação gráfica dos 4 tipos de procura por unidade de tempo

Adaptado de: Gonçalves (2014)

Segundo Johnston, Boylan & Shale (2003) o tipo de procura que mais se verifica nas peças de reserva é a intermitente, que se enquadra na procura independente e se traduz em procuras esporádicas no tempo, envolvendo grande aleatoriedade relacionada com os períodos em que não ocorre qualquer procura, ainda que com uma variabilidade relativamente baixa. Por esta razão, no armazém em questão, observa-se com frequência que se mantém *stock* excessivo devido às imprecisões de necessidades, que estão relacionadas com a magnitude e com o intervalo entre ocorrência de procura, e, portanto, são vários os estudos neste tema. Segundo Willemain *et al.* (2004) a procura intermitente acontece em vários cenários, tais como: maquinaria pesada e respetivas peças de manutenção, peças de reparação eletrónicas, entre outros.

Guajardo *et al.* (2014) adotaram um outro tipo de classificação de procura baseada no seu comportamento e no tipo de distribuição de probabilidade que mais se adequa, distinguindo entre peças de reserva de procura unitária, de lotes variáveis e de procura binária (em que cada vez que a procura ocorre, a quantidade encomendada é a mesma).

Após a classificação da procura, segundo a estratégia de um dos autores referidos, as peças de reserva podem, então, ser classificadas segundo o cruzamento de três critérios: valor, criticidade e tipo de procura.

2.4. Modelação da Procura Durante o Prazo de Entrega

O prazo de entrega é o tempo decorrido entre a colocação de uma encomenda ao fornecedor e a sua receção, sendo um componente fundamental de qualquer sistema de gestão de *stocks* (Silva, 2009). Se o prazo de entrega e a procura são determinísticos, as encomendas podem ser programadas de forma a que os as novas encomendas cheguem ao armazém no exato momento em que a última unidade é consumida, sendo que o ponto de encomenda (s) será igual à procura durante o prazo de entrega. No entanto, se a encomenda for efetuada mais cedo algumas peças

de reserva irão permanecer em *stock*; se efetuada mais tarde haverá procura não satisfeita, havendo rutura (Silva, 2009).

No caso em estudo, a procura e o prazo de entrega são estocásticos, assim a procura durante o prazo de entrega não pode ser exatamente prevista, o que facilita a ocorrência de *stock* obsoleto ou de ruturas, e, portanto, para estimar a procura durante o prazo de entrega é necessário calcular o valor esperado e variância do prazo de entrega de cada referência de peça de reserva (Silva, 2009).

2.5. Distribuições de Probabilidade

As peças de reserva, principalmente as classificadas com tipo de procura intermitente e irregular, normalmente não se ajustam a uma distribuição Normal e, portanto, os modelos clássicos de Revisão Contínua e Periódica, que têm como pressuposto a normalidade da procura, podem não ser bem aplicados a este tipo de materiais (Babai, Syntetos & Teunter, 2014).

Assim, pode ser necessário ajustar a procura destas peças de reserva a outras distribuições porque os padrões de procura das peças de reserva em *stock* são caracterizados por necessidades pouco frequentes, de quantidades variáveis e ocorrendo, por vezes, em intervalos irregulares (Babai *et al.*, 2014). Deve ser feita uma distinção entre o desempenho de uma hipotética distribuição quando esta é ajustada à procura por período e quando esta é aplicada à procura durante o prazo de entrega, sendo esta última a abordagem que realmente interessa num sistema de gestão de *stocks* (Babai *et al.*, 2014).

Guajardo *et al.* (2014) fornecem informações estruturadas sobre o modo como as distribuições da procura se podem comportar num conjunto de milhares de peças de reserva e propõem uma regra de decisão para selecionar a distribuição mais adequada a cada referência, encontrando-se diferenças consideráveis em termos de custos, níveis de serviço e índices de cobertura por usar-se uma em detrimento de outra.

Segundo Babai *et al.* (2014) as distribuições de probabilidade potencialmente mais adequadas ao estudo de peças de reserva são: Poisson, Binomial Negativa, Erlang, Normal e Gamma. Esta última, segundo Levén & Segerstedt (2004), descreve de forma adequada a procura intermitente e adequa-se mesmo às referências de peças de reserva que apresentam procura contínua, sendo, portanto, considerada a mais versátil a todo o tipo de procura. Um dos motivos prende-se com o facto de ser assimétrica, tornando-se assim mais eficaz, visto que previne erros de previsão de movimentos negativos (Levén & Segerstedt, 2004). A distribuição Erlang é também muito utilizada na modelação da gestão de *stocks*, uma vez que capta todas as vantagens da curva Gamma e permite, ao mesmo tempo, maior rapidez na execução os cálculos (Segerstedt, 1994).

Num estudo realizado por Syntetos, Babai, & Altay (2010) concluiu-se que a distribuição que melhor se adapta à procura contínua é a Normal, a distribuição de Poisson é a que melhor

representa a procura intermitente e, por fim, a distribuição Gamma é a que melhor descreve os tipos de procura irregular e errática. Segundo Guajardo *et al.* (2014) para modelar a procura unitária devem ser testadas as distribuições Poisson, Binomial Negativa e Gamma, já para a procura de lotes variáveis devem ser testadas as distribuições Normal e Gamma. Por fim, para a procura binária deve ser utilizada a distribuição *Stuttering* Poisson (Poisson Composta). Os mesmos autores estabelecem, ainda, uma metodologia de seleção da melhor distribuição, em termos de modelação da procura, para cada referência de peça de reserva.

Para determinar o ajuste de uma distribuição de probabilidade estatística aos dados utiliza-se um teste de hipóteses. Este é um método de inferência estatística que permite verificar, a partir dos dados de uma amostra, se uma determinada hipótese feita sobre uma população (ou várias populações) deve ou não ser rejeitada. A hipótese que se pretende testar é a hipótese nula (H_0), assumindo-se ser verdadeira ao longo do teste até que haja uma evidência estatística que permita rejeitá-la. Esta rejeição (ou não) é baseada numa estatística de teste adequada a cada caso. Já a hipótese alternativa (H_1) constitui uma alternativa à hipótese nula, reforçando a sua validade quando a hipótese nula é rejeitada (Pereira & Requeijo, 2012). Neste processo, a estatística de teste representa a estatística calculada a partir da amostra e usada para a tomar a decisão e o *p-value* representa a probabilidade de observar um valor da estatística de teste tanto ou mais afastado que o valor observado na amostra, assumindo que H_0 é verdadeira (Pereira & Requeijo, 2012).

De forma a determinar a curva que melhor descreve as características associadas às peças de reserva, podem ser utilizados testes de aderência estatística, sendo o teste do Qui-Quadrado o mais indicado para distribuições discretas, e o teste do Kolmogorov-Smirnov o mais indicado para distribuições contínuas, os mais usados. Estes testes, que podem ser efetuados em termos de procura, prazo de entrega e intervalo entre procuras, medem o grau de ajuste entre frequências esperadas e observadas (Zimmerman *et al.*, 1999). O teste de Kolmogorov-Smirnov apresenta globalmente vantagens relativamente ao teste do Qui-Quadrado, sendo na maioria das situações mais potente (Pereira & Requeijo, 2012).

O teste do Kolmogorov-Smirnov utiliza as distribuições acumuladas, isto é, compara a distribuição empírica de frequências acumulada que deveria ocorrer com a suposta distribuição (sob H_0) com a distribuição de frequências acumulada dos valores observados (amostrais). Depois é comparada esta diferença com um valor crítico definido, para um certo nível de significância. Se o *p-value*, que representa uma medida de força de resultados de um teste, for inferior ao nível de significância a hipótese nula é rejeitada. Deste modo, é possível identificar que distribuição de probabilidade se aproxima melhor do comportamento da procura de determinada referência de peça de reserva (Portal Action, 2015).

2.6. Previsão da Procura

Para além dos pressupostos da curva da procura em termos de ajuste a uma determinada distribuição de probabilidade, vários modelos de gestão de *stocks* partem ainda dos dados do valor esperado ou previsto da procura (y'_i) e do seu desvio padrão associado (σ_i).

A capacidade de elaborar previsões sobre horizontes temporais futuros mais ou menos alargados é um elemento de suporte indispensável ao planeamento em qualquer setor de atividade (Carvalho *et al.*, 2012). No domínio da logística, as previsões da procura alicerçam as decisões sobre a conceção e o dimensionamento dos sistemas logísticos (nível estratégico) e funcionam como *driver* da elaboração do planeamento integrado dos aprovisionamentos, produção e distribuição e da gestão corrente das operações (Carvalho *et al.*, 2012).

Ainda que as previsões estejam sujeitas a erros, o conhecimento destes erros permite a definição dos *stocks* de segurança necessários, pelo que a tendência na literatura tem passado pela integração da previsão da procura na gestão do *stock*. Syntetos & Boylan (2006) assumem que é necessário um método de previsão adequado para estimar os requisitos da procura futura, apesar de a previsão de procuras intermitentes ser uma tarefa que se considera difícil de executar pelos fatores aleatórios que lhe estão associados. Esta dificuldade está associada aos riscos de rutura, que pode ter custos extremamente elevados.

De uma maneira geral, existem 4 características que estão na base de uma boa previsão da procura (Smith, 1994): i) Eficácia, que pode ser pela consistência traduzida nas medidas de erro de previsão; ii) Custos da realização de previsões ou do desenvolvimento de um modelo; iii) Nível de resposta, que corresponde à estabilidade do sistema de previsão, não devendo as várias previsões oscilar descontroladamente devido às flutuações aleatórias da procura; e iv) Simplicidade, pois há importantes vantagens em implementar um simples método de previsão para que as previsões sejam fáceis de se obter, perceber e usar.

Tradicionalmente, métodos clássicos como o Alisamento Exponencial Simples (AES) ou a regressão linear, eram usados na previsão da procura de peças de reserva, combinados com o pressuposto de que a procura segue uma distribuição Normal, o que resulta bem para peças de reserva com procura do tipo contínua (Syntetos & Boylan, 2006).

O AES é o método recursivo mais utilizado em que cada estimativa da procura depende de todas as outras, mas decaindo com um peso exponencial (Hoshmand, 2010). Pode ser visto como uma média ponderada cujo peso decai exponencialmente com t (período temporal) e requer o valor da previsão mais recente (y'_{t-1}), o valor real mais recente (y_t) e a constante de alisamento (α), que reflete a importância a dar à observação mais recente (Hoshmand, 2010).

Porém, Croston (1972) aponta que a aplicação do AES, típico de materiais *fast-moving* conduz, geralmente, a níveis de *stock* não apropriados quando se trata de dados referentes a uma procura *slow-moving*, podendo levar a ruturas consideráveis pois ignoram o facto da procura ser constituída por dois elementos, a quantidade da procura e o intervalo entre procuras

consecutivas, argumentando, ainda, que a atribuição de maior importância aos dados de procura mais recentes leva a uma previsão que tende a ser maior logo após a ocorrência da mesma e menor antes desta. No sentido de solucionar este problema, Croston (1972) propôs um novo método de previsão de procura *slow-moving* (método de Croston original) baseado no AES, mas em que a previsão da procura é atualizada apenas quando existe necessidade, ou seja, prevê-se apenas a quantidade da procura quando esta existe, eliminando os problemas causados pelos períodos com procura nula. Assim, a previsão da procura por unidade tempo é obtida pelo quociente entre a previsão da quantidade da procura (z'_t) e o intervalo entre procuras previsto (IEP'_t), para um determinado período. Os intervalos entre procuras tornam-se independentes e identicamente distribuídos, enquanto que as quantidades de procura são também assumidas como independentes e distribuídos normalmente.

Croston (1972) provou que o desvio do seu método é inferior ao AES, sendo esta conclusão validada por Rao (1973). As grandes vantagens deste método relativamente ao AES é que a previsão não considera diferentes valores da constante de alisamento e consiste em duas previsões distintas: uma para a quantidade da procura (z'_t) e outra para o intervalo entre procuras consecutivas (IEP'_t).

Syntetos & Boylan (2001) propõem uma modificação do método de Croston original, denominado método SBA, que contorna o erro da quantidade da procura prevista através da introdução de um fator de correção na sua fórmula de previsão. Estes autores mostraram que o método de Croston original conduz a uma estimativa positivamente enviesada da procura por unidade de tempo, em todos os pontos do tempo e em pontos isolados. Esta modificação proposta é considerada por diversos autores como o modelo derivativo com melhor desempenho, por entre as diversas variações ao método de Croston, apresentada em diversos estudos (Gutierrez *et al.*, 2008).

Ghobbar & Friend (2002) apresentaram um estudo comparativo de 13 métodos de previsão para a gestão de peças de reserva. Eles utilizaram a medida MAPE (*Mean Average Percentage Error*) aplicada em erros de previsão para avaliar a precisão dos diferentes métodos e confirmaram a superioridade dos métodos de Croston em detrimento do AES e dos modelos de regressão sazonais.

Contudo, Teunter, Syntetos & Babai (2011) apontam uma desvantagem relacionada com o método de Croston e seus derivantes. Nestas abordagens, o risco de obsolescência das peças de reserva para as quais a procura é prevista é desprezado, isto porque a procura só é atualizada depois de períodos com procura positiva, não sendo atualizada depois de muitos períodos de procura nula. Deste modo, estes métodos não podem ser usados para estimar o risco de obsolescência nem para lidar com excesso de *stock* ou *stock* sem finalidade de uso e, portanto, propõem um outro método de previsão de procura, o método TSB que, ao contrário do método de Croston, atualiza a probabilidade de ocorrência da procura (p'_t) em vez do intervalo de procura previsto (IEP'_t), podendo ser atualizada em todos os períodos. Desta forma e usando constantes de alisamento diferentes (α e β) para a quantidade e probabilidade de ocorrência da procura, o

método torna-se mais flexível, permitindo lidar com a obsolescência de das referências de peças de reserva *slow moving*, existentes no armazém (Teunter *et al.*, 2011).

Willemain *et al.* (2004) propuseram um método para a previsão da distribuição acumulada da procura durante o prazo de entrega, fixo, usando um novo tipo de séries temporais *bootstrap*. Este método *bootstrapping* utiliza amostras dos dados do histórico da procura para criar repetidamente cenários realistas que mostrem a evolução da distribuição da procura durante o prazo de entrega, tendo sido apresentados resultados interessantes pois, ao contrário dos anteriores, permite estimar diretamente a procura durante o prazo de entrega (Willemain *et al.*, 2004). O método começa por analisar a probabilidade de existir ou não procura num dado intervalo de tempo, traduzindo essa informação numa cadeia de Markov, representada numa matriz e, usando essa matriz, gera-se uma sequência de períodos onde se determina, de acordo com as probabilidades, se existe ou não procura. Para os períodos onde existe procura, é gerado um valor da procura de acordo com um processo de *jittering*. Posto isto, agrega-se a procura estimada ou prevista em períodos iguais ao prazo de entrega e calcula-se a distribuição acumulada da procura durante o prazo de entrega. Uma das vantagens deste método é o facto de captar melhor as autocorrelações entre as ocorrências de procura, especialmente as do tipo intermitente, com uma elevada proporção de valores nulos, contudo tem como desvantagem o facto de não prever a adoção de um modelo de gestão de *stocks* que pressuponha um prazo de entrega variável ao longo do tempo (Willemain *et al.*, 2004).

À exceção desta técnica de *Bootstrapping*, que engloba características específicas na estimativa da procura durante o prazo de entrega, as restantes são usadas para estimar o valor esperado ou previsto da procura e o seu desvio padrão num determinado momento e, uma vez obtidos estes valores, são usados na estimativa da procura durante o prazo de entrega (Santos, 2011), que é um parâmetro muito utilizado nos modelos de gestão de *stocks*.

Hua *et al.* (2007) estudam o problema da previsão da procura intermitente e desenvolvem uma abordagem para a previsão deste tipo de procura para peças de reserva denominada método de previsão integrado que trata da previsão da ocorrência de procura não nula e estimativa da procura durante o prazo de entrega. Os autores utilizam dois tipos de indicadores de desempenho para validar os métodos de previsão e mostram que este método produz maior precisão das previsões da procura durante o prazo de entrega do que o AES, método de Croston (original e modificado) e o método *bootstrapping*.

Vários outros métodos de previsão de procura, principalmente intermitente, foram utilizados em peças de reserva, como são os casos dos métodos ARMA, ARIMA e S-ARIMA, que consistem numa forma iterativa de gerir a previsão da procura de peças de reserva e são vastamente utilizados hoje em dia (Callegaro, 2010), e do proposto por Gutierrez *et al.* (2008) que tem o objetivo de detetar padrões não-lineares nos dados, sugerindo a modelação de redes de inteligência neuronal (ANN) ou simplesmente de redes neurais (NN). No entanto, estes métodos não só requerem uma grande quantidade de dados históricos para obtenção de bons resultados, como não são fáceis de validar (Callegaro, 2010).

A avaliação do desempenho de métodos de previsão incorpora como critério central a precisão das previsões e, portanto, a minimização dos erros de previsão (e_t), sendo estes definidos como a diferença entre a procura real (y_t) e a prevista (y'_t) (Carvalho *et al.*, 2012). Estes erros de previsão necessitam de ser apurados ao longo do tempo, obtendo-se assim um conjunto de erros para o qual importa definir uma medida de síntese que sirva de indicador global do desempenho do modelo. A média dos erros de previsão não é uma medida adequada, visto que tenderá a ser nula para qualquer modelo não enviesado que produzirá, em alguns casos, previsões por excesso e, noutros casos, por defeito, resultando uma soma tendencialmente nula (Carvalho *et al.*, 2012). Para uma análise de avaliação e comparação destes métodos abordados podem ser utilizadas várias medidas de erro, como por exemplo o Erro Absoluto Médio (EAM), que mede o enviesamento do método de previsão e o Erro Quadrático Médio (EQM) que estima a variância do mesmo (Velagíć, 2012), sendo que, muitas vezes, esta última é substituída pela Raíz do Erro Quadrático Médio (REQM) (Hydman, 2006). Apesar de existirem medidas mais sofisticadas, o EQM e a REQM podem ser definidas quer para procura positiva quer para procura nula, o que se revela importante num contexto de procura intermitente (Velagíć, 2012). Contudo, são mais sensíveis a *outliers* do que o EAM (Hyndman & Koehler, 2006).

Outro aspeto que merece uma definição clara prende-se com a escolha da “janela” temporal (*time bucket*) que se utiliza no processo de previsão, que tanto pode ser medido em anos, como em meses ou dias. Como é evidente, as necessidades tornam-se mais esporádicas quanto menor for o *time bucket* adotado, no entanto na maioria dos sistemas de *stock* de peças de reserva e aplicações práticas os dados históricos são normalmente tratados em períodos mensais (Rego & Mesquita, 2011).

2.7. Modelos de Gestão de *Stocks*

2.7.1. Políticas de Gestão de *Stocks*

O processo de planeamento e gestão de *stocks* está focado em várias decisões, entre as quais saber quais os materiais que se deve manter em *stock*, saber quando se deve colocar uma encomenda e em que quantidade, saber o Prazo de Entrega Previsto (PEP) e o custo total envolvido (Conceição *et al.*, 2015).

Uma alternativa para a redução dos níveis de *stock* de peças de reserva consiste na revisão periódica da necessidade de manter ou não cada uma das referências de peças de reserva ativas (Botter & Fortuin, 2000). Os modelos desenvolvidos e existentes na literatura alertam para o facto de que todas as referências de peças de reserva devem ser avaliadas periodicamente quanto à sua necessidade de as manter em *stock*, pois em alguns casos poderá não valer a pena arcar com os seus custos de posse, ainda que de uma unidade, podendo-se adquirir apenas aquando da sua necessidade. Botter & Fortuin (2000) aplicam o método *Analytical Hierarchical Process* (AHP) num estudo, utilizando a classificação VED de criticidade em conjunto com uma classificação da procura (alta, média ou baixa) para a tomada de decisão de manter ou não em

stock determinado material. Já segundo Bošnjaković (2010) esta decisão é tomada ao comparar o custo de posse dos materiais com o seu custo de rutura.

As peças de reserva podem enfrentar uma procura determinística ou estocástica, dependente ou independente, uniforme ou não uniforme. Segundo Waters (2003) existem dois tipos de modelos de gestão de *stocks*: os de procura dependente e os de procura independente. Nos de procura independente, em que se considera que a procura de uma peça de reserva é independente da procura de qualquer outra, a gestão baseia-se em modelos quantitativos que relacionam previsões da procura, custos e outras variáveis para encontrar os valores apropriados das quantidades a encomendar e dos períodos em que se deve fazê-lo. Estes modelos podem ser de quantidade de encomenda fixa ou de revisão periódica.

Para definir quando uma encomenda deve ser colocada e a quantidade que lhe está associada é necessário definir qual a política de gestão de *stocks* mais apropriada para o problema em questão, pois esta política servirá de *input* ao modelo, que descreve a forma como o armazém deve funcionar e, portanto, para lidar com o comportamento aleatório os modelos estocásticos englobam dois modelos clássicos base: Os Modelos de Revisão Contínua e os Modelos de Revisão Periódica (Carvalho *et al.*, 2012).

O Modelo clássico de Revisão Contínua, que utiliza a política (s, Q) e consiste em colocar uma encomenda de quantidade Q sempre que o nível de *stock* atinge o ponto de encomenda ou *stock* mínimo (s) , que é definido em função da variação da procura e do prazo de entrega do fornecedor, sendo o nível de *stock* revisto em momentos discretos no tempo (Kholidasari, 2013). Uma grande vantagem deste modelo é o facto de a qualquer momento ser possível tomar a decisão de um novo reaprovisionamento, contudo tem desvantagens, como a maior exigência, uma vez que se trata de um modelo mais dispendioso em termos dos custos de revisão (Carvalho *et al.*, 2012). Para além destas, a desvantagem principal de uma política (s, Q) é que na sua forma pura ele pode não ser capaz de cobrir procuras individuais muito grandes e, em particular, se uma procura que dispare o aprovisionamento é grande o suficiente, então a quantidade Q não elevará o nível de *stock* acima do ponto de encomenda (s) Para evitar este problema, poderá adotar-se o sistema (s, nQ) onde são colocadas encomendas de quantidades iguais a múltiplos de Q para elevar o nível de *stock* acima de s (Silva, 2009). A utilização de um modelo deste tipo implica o constante conhecimento do nível de *stock*.

Posteriormente, outros modelos de revisão contínua foram adaptados, como o (s, S) , em que quando o nível de *stock* baixa até ao ponto de encomenda (s) , é feito um reaprovisionamento para colocar o nível de *stock* no nível máximo (S) . De um modo diferente da política (s, Q) , a quantidade encomendada é variável mas suficiente para elevar o nível de *stock* a um nível máximo S (Conceição *et al.*, 2015). Para procuras singulares ou unitárias, é frequente utilizar-se a política $(S-1, S)$, que é um caso particular da (s, S) , definindo-se um valor para o nível de *stock* máximo e sempre que existe uma saída de material, faz-se uma encomenda da mesma quantidade para fazer o nível de *stock* retornar ao nível máximo S . Esta última é uma política

muito utilizada em aprovisionamentos com longos prazos de entrega ou quando o custo das peças é muito elevado (Conceição *et al.*, 2015).

O Modelo clássico de Revisão Periódica, que utiliza uma política (T, S), não tem ponto de encomenda, mas sim um período fixo de revisão de *stock* (T) no qual é efetuado o reaprovisionamento de uma quantidade igual à necessária para atingir o nível de *stock* máximo (S) pré-definido, havendo a necessidade de, regularmente, ser ajustado o seu valor e conferindo a este modelo uma importante vantagem em situações cujo comportamento da procura muda ao longo do tempo (Carvalho *et al.*, 2012). O valor de T pode ser determinado matematicamente ou proposto por cada empresa que implementa o modelo. Pelo facto de as revisões serem realizadas entre determinados períodos de tempo, o nível de *stock* pode atingir o valor nulo no decorrer deste intervalo e assim, nenhuma encomenda poderá ser efetuada nesse momento, o que se revela uma desvantagem (Carvalho *et al.*, 2012).

Existe ainda uma política que combina o Modelo clássico de Revisão Contínua (s, S) com o Modelo clássico de Revisão Periódica (T, S). São os modelos mistos de política (T, s, S) (Kholidasari, 2013), que se caracterizam pela revisão do nível de *stock* a cada T unidades de tempo. Se o nível de *stock* estiver abaixo de s, uma encomenda é colocada de forma a elevá-lo para S. Caso contrário, nada é encomendado até à próxima revisão do nível de *stock*. A principal vantagem desta política passa pelos menores custos de gestão de *stocks* associados. Contudo, para além de menos intuitivo, o cálculo dos três parâmetros é mais complexo, quando comparado com as duas políticas descritas anteriormente (Kholidasari, 2013).

2.7.2. Modelos Específicos para Peças de Reserva

Tendo em conta que os modelos clássicos de Revisão Contínua e Periódica podem não ser bem aplicados a este tipo de materiais (Babai, Syntetos & Teunter, 2014), principalmente aos do tipo de procura intermitente, e apesar destes modelos poderem dar boa resposta no caso de peças de reserva de maior rotação, na literatura existem modelos que melhor se adequam.

Os modelos distinguem-se não só pelos pressupostos que assumem, como também pela forma de cálculo dos parâmetros que cada um utiliza. Paralelamente aos dados do valor esperado e do desvio padrão da procura, os modelos de gestão de *stocks* partem quase sempre do pressuposto do seu ajuste a uma distribuição probabilística específica. Para além deste pressuposto, alguns modelos, por ser comum a impossibilidade de calcular os custos de rutura, otimizam os seus parâmetros com base num nível de serviço alvo. É de se referir que um outro tipo de pressuposto, relativo a um número restrito de modelos, está relacionado com o método de previsão de procura utilizado para estimar o valor esperado e desvio padrão da procura.

Assim, optou-se por seleccionar os modelos desenvolvidos na literatura especificamente para as peças de reserva, que assumam pressupostos considerados adequados ao caso de estudo e que demonstrem resultados práticos. Foram encontrados na literatura diversos modelos no que

respeita à gestão de *stocks* de materiais de baixa rotação e enquadrados no comportamento das peças de reserva do armazém.

Williams (1982) analisa modelos de gestão de *stocks* de peças de reserva com procura intermitente e propõe um modelo do tipo (s, Q) , assumindo um intervalo entre procuras conforme uma distribuição Gamma e, no máximo, procura de 1 unidade durante o prazo de entrega.

Dunsmuir & Snyder (1989) propõem um modelo baseado na política (s, Q) . Os pressupostos assumidos são de que a procura e o prazo de entrega seguem uma distribuição Gamma, sendo necessário efetuar as previsões do valor esperado e do desvio padrão da procura mensal, da quantidade da procura, quando esta é positiva, e do prazo de entrega. O nível de serviço deve ser definido previamente, uma vez que se assume que os custos de rutura não são calculáveis. O modelo permite calcular o ponto de encomenda que otimiza o sistema, usando um valor de quantidade de encomenda (Q) calculado previamente com a fórmula utilizada pelo modelo clássico de revisão contínua.

Segerstedt (1994) formulou um modelo de gestão de *stocks* que segue uma política (T, S) . Quando se verifica o nível de *stock*, calcula-se a probabilidade de existir rutura num horizonte temporal igual à soma do prazo de entrega e da periodicidade de revisão do nível de *stock* (T). Se essa probabilidade for superior a $(1 - \text{nível de serviço})$, uma encomenda de quantidade Q pré-definida é feita nesse instante. Os pressupostos assumidos são que o prazo de entrega e a procura seguem uma distribuição Gamma.

Dekker, Kleijn, & De Rooij (1998) desenvolveram um modelo para tratamento diferenciado de procuras durante o prazo de entrega, nomeadas como críticas e não-críticas, adotando a distribuição de Poisson. São apresentadas fórmulas para parametrização de uma política (S_c, S) de encomenda lote a lote, em que cada vez que existe uma procura, é efetuado um pedido de reaprovisionamento, e onde parte do *stock* fica “reservado” somente para atender as procuras denominadas críticas. Quando existe procura uma encomenda é efetuada de modo a atingir-se o nível de *stock* $(S_c + S)$, contudo, quando o nível de *stock* baixa até S_c , chamado de nível crítico, esse nível é inteiramente reservado para a procura crítica, e a procura não-crítica estará em rutura até que o nível de *stock* exceda novamente S_c .

Zipkin (2000), propõe um modelo, considerando que a política mais adequada para materiais com procura intermitente é a política $(S-1, S)$, que parte do princípio que estes materiais (peças de reserva) saem, na maioria das vezes, em quantidades muito pequenas (quase sempre apenas uma unidade). Para além das peças de reserva com procura intermitente, esta política é especialmente indicada para as que o seu custo unitário ou de posse suplanta largamente as economias de escala que possam advir da sua compra em lotes maiores que a unidade. Os pressupostos assumidos são de que a procura é estocástica e que segue uma distribuição de Poisson, sendo o prazo de entrega considerado constante. A definição do nível de *stock* máximo (S) é feita através da minimização da equação de custos totais apresentada pelo autor, requerendo a obtenção do valor de custo de rutura. O mesmo autor apresenta ainda uma política

(s, Q) de revisão contínua que considera mais indicada para os restantes tipos de procura. Os pressupostos assumidos são os mesmos do modelo anterior, com a diferença de que a procura segue uma distribuição Normal ou Gamma, dependendo do tipo de peça de reserva e a otimização dos parâmetros s e Q pode ser feita partindo dos valores de custo de rutura ou de um nível de serviço alvo.

Strijbosch *et al.* (2000) apresentam um modelo baseado na política de gestão de *stocks* (s, Q), partindo de um nível de serviço alvo. Os requisitos dizem que o prazo de entrega é constante e que as previsões da procura e do intervalo entre procuras são feitas através do método de Croston original. A quantidade de encomenda (Q) é calculada de acordo com a fórmula utilizada pelo modelo clássico de revisão contínua, mas é introduzido um fator de segurança. A definição do ponto de encomenda (s) é feita através de um método iterativo.

Levén & Segerstedt (2004) reformularam um antigo modelo de Segerstedt (1994), assumindo que o prazo de entrega é constante e que a procura pode seguir uma distribuição Normal. Deverá ser feita a previsão da procura segundo um método considerado adequado, sendo que o autor defende a aplicação do método AES para as peças de reserva com procura contínua e do método de Croston (original ou modificado) para as restantes. Aplica-se a distribuição Normal às peças de reserva cujo método de previsão usado é o AES e a distribuição Erlang para as que foram sujeitas à previsão da procura segundo o método de Croston.

Gomes & Wanke (2008) formularam um modelo heurístico para obtenção dos parâmetros numa política (s, S), utilizando cadeias de Markov para obtenção das probabilidades dos estados “estacionários” do *stock*, assumindo determinados custos de rutura ou indisponibilidade, de posse e de aprovisionamento, e considerando a procura ajustada a uma distribuição de Poisson. Uma vez obtida a matriz dos estados estacionários, utilizam-se os dados de custos (incluindo os custos de rutura) para determinar o ponto de encomenda (s) e o nível de *stock* máximo (S) através de um modelo heurístico.

Silver *et al.* (1998) propõem um modelo baseado na política (s, Q), assumindo que o prazo de entrega é estocástico e que a procura durante o prazo de entrega segue uma distribuição de Poisson, no caso de procura intermitente. A obtenção dos parâmetros s e Q é feita considerando a minimização do custo e através de um processo iterativo, fazendo uso do valor de custos de rutura. Para iniciar o processo de solução, o valor de Q inicial é calculado utilizando a fórmula utilizada pelo modelo clássico de revisão contínua e o próximo passo é calcular s através da probabilidade de rutura que, por sua vez, servirá para determinar o número esperado de unidades em rutura por ciclo e, por fim, calcula-se o valor ótimo de Q a partir dos parâmetros anteriores. Este processo iterativo continua até que haja convergência dos valores ótimos Q e s. Segundo os autores, quando a distribuição da procura é inclinada para a direita, ou se o valor de CV^2 é maior do que 0,5, deve ser considerada a distribuição Gamma e a resolução é feita de acordo com um processo iterativo semelhante ao utilizado para a Distribuição de Poisson. Por outro lado, se o coeficiente anterior for inferior a 0,5, é adequado o uso da Distribuição Normal.

Porras & Dekker (2008) são outros defensores da política (s, Q) e apresentam uma metodologia de cálculo dos parâmetros s e Q baseadas na previsão da procura durante o prazo de entrega, a qual é feita pelo método *bootstrapping* de Willemain (2004). No seu estudo, as distribuições testadas foram a Normal e a Gamma. Uma das vantagens é que a definição dos parâmetros de gestão não implica o cálculo prévio dos custos de rutura.

Babai, Syntetos, & Teunter (2010) formularam um modelo baseado na política de revisão mista (T, s, S) com base no ponto de encomenda (S), periodicidade de revisão do nível de *stock* (T) e nível de *stock* máximo (S). Dada a complexidade associada com o cálculo dos níveis ótimos (T, s, S) e a impossibilidade de estimar com exatidão a distribuição de procura e os níveis de *stock* ótimos, são aplicados procedimentos heurísticos para uma melhor gestão. Os modelos heurísticos são modelos que permitem determinar os níveis mais adequados com o objetivo de melhorar a eficiência nas operações e tem recebido cada vez maior atenção na literatura. Por entre estes modelos heurísticos, os que atraem maior atenção nos estudos académicos são: *Power Approximation* (Erhardt, 1979), Modelo de Naddor (Naddor, Cohen, Zheng, & Agrawal, 1997) e *Normal Approximation* (Wagner, 1975). Sani & Kingsman (1997) realizaram um estudo comparativo de entre estes três modelos heurísticos e concluíram que as diferenças de desempenho são pequenas, recomendando o uso de qualquer uma delas no caso de armazéns com inúmeras referências de peças de reserva com procura intermitente.

Os três modelos heurísticos têm o objetivo de minimização de custos e requerem o conhecimento da média ou da previsão da procura e da sua variância, mas não dependem do tipo de distribuição (Babai, Syntetos & Teunter, 2010). O modelo heurístico *Normal Approximation* faz uso de uma política de gestão de *stocks* (s, S) e assume que a procura segue uma distribuição Normal para obter resultados próximos dos ótimos (Sani & Kingsman, 1997). O modelo heurístico *Power Approximation* também faz uso de uma política (s, S) e proporciona uma excelente aproximação aos valores ótimos dos parâmetros para uma grande diversidade de referências (Erhardt, 1979). É de referir que, aparentemente, tanto o *Normal Approximation* como o *Power Approximation*, têm o seu problema relacionado com a determinação do equilíbrio certo entre os custos de posse e custos de rutura (Babai *et al.*, 2010). Já o modelo heurístico de Naddor faz uso de uma política de revisão mista (T, s, S). Babai *et al.* (2010) realizaram um estudo com uma grande base de dados e concluiu que os modelos heurísticos *Power Approximation* e de Naddor são os que apresentam melhores resultados em termos de redução de custos.

Silva (2009) propõe vários modelos para a política (s, Q), utilizando o método *bootstrapping* de Willemain (2004) para prever a procura durante o prazo de entrega. Utiliza três distribuições diferentes para a modelação da procura durante o prazo de entrega (Poisson, Laplace e Gamma). Os parâmetros de cada distribuição são obtidos da média e variância da procura durante o prazo de entrega e s e Q são determinados por um processo iterativo de otimização do custo total de *stock* $G(s, Q)$ para cada valor de nível de serviço.

Guajardo *et al.* (2014) estabelecem um modelo de determinação dos parâmetros de uma política (s, S) baseado numa restrição do nível de serviço e associado a uma empresa de energia.

Capítulo 2 – Gestão de *Stocks* de Peças de Reserva

Segundo os autores, a seleção da melhor distribuição de probabilidade para modelar o comportamento da procura desempenha um papel fundamental na resolução deste problema e, portanto, propõem uma regra de decisão para selecionar a que melhor se adequa a cada referência. Após cada referência ter uma distribuição associada, é calculado o valor de nível serviço ou *fill rate* (consoante a fórmula disponibilizada por cada distribuição selecionada) e é iniciado um processo iterativo de determinação dos parâmetros s e S .

Na tabela 2.1 encontram-se resumidamente caracterizados os modelos descritos anteriormente, em termos dos respetivos autores, políticas de gestão de *stocks* e dos pressupostos e exigências que lhes estão associados.

Tabela 2.1- Modelos de gestão de *stocks* e seus pressupostos/exigências

Fonte	Política	Pressupostos / Exigências				
		Distribuição da Procura	Distribuição do prazo de entrega	Procura durante prazo de entrega	Distribuição do intervalo entre procuras	Método de Previsão
Williams (1982)	(s, Q)	–	–	≤ 1	Gamma	–
Dunsmuir & Snyder (1989)	(s, Q)	Gamma	Gamma	–	–	–
Segerstedt (1994)	(T, S)	Gamma	Gamma	–	Gamma	–
Dekker, Kleijn, & De Rooij (1998)	(Sc, S)	Poisson	–	–	–	–
Zipkin (2000)	(S-1, S)	Poisson	Constante	–	–	–
Zipkin (2000)	(s, Q)	Gamma ou Normal	Constante	–	–	–
Strijbosch, Heuts & Schoot (2000)	(s, Q)	Bernoulli composta	Constante	–	–	Croston
Levén & Segerstedt (2004)	(T, S)	Normal (procura contínua) ou Erlang (restantes)	Constante	–	–	AES (procura contínua) ou Croston (restantes)
Silver <i>et al.</i> (2008)	(s, Q) ($CV^2 < 0,5$)	–	Estocástico	Poisson ou Laplace	–	–
Silver <i>et al.</i> (2008)	(s, Q) ($CV^2 > 0,5$)	Gamma	Estocástico	–	–	–

Tabela 2.1 - Modelos de gestão de *stocks* e seus pressupostos/exigências

Fonte	Política	Pressupostos / Exigências				
		Distribuição da Procura	Distribuição do prazo de entrega	Procura durante prazo de entrega	Distribuição do intervalo entre procuras	Método de Previsão
Porras & Dekker (2008)	(s, Q)	Normal ou Gamma	Constante	–	–	<i>Bootstrapping</i> de Willemain (procura durante o prazo de entrega)
Silva (2009)	(s, Q)	–	–	Poisson, Laplace ou Gama	–	<i>Bootstrapping</i> de Willemain (procura durante o prazo de entrega)
Babai , Syntetos & Teunter (2010)	(T, s, S)	Pressupõe utilização de um dos três modelos heurísticos				-
Guajardo <i>et al.</i> (2014)	(s, S)	Pressupõe regra de decisão				

2.8. Avaliação do desempenho

Segundo Benetti *et al.* (2012), num ambiente empresarial dinâmico e competitivo é de extrema importância que, para a tomada de decisões, as empresas possuam um sistema de controle que disponibilize informações. Assim, o desenvolvimento de um sistema de medição e avaliação do desempenho adequado é necessário para alinhar os objetivos e satisfazer os clientes. Para Neely, Gregory & Platts (1995) a medição de desempenho é o processo de quantificação da eficiência e da eficácia de uma ação. Um sistema de avaliação do desempenho é constituído por um conjunto de indicadores ou medidas de desempenho, que são essenciais para uma gestão eficaz das operações logísticas, e das respetivas métricas que são utilizadas na sua quantificação (Neely *et al.*, 1995).

O verdadeiro desafio dos gestores passa pelo desenvolvimento de indicadores de desempenho adequados e respetivas métricas que permitam tomar decisões corretas de maneira a contribuir para uma melhoria da competitividade empresarial (Gunasekaran & Kobu, 2007). Para tal, a monitorização do desempenho é parte integrante de qualquer sistema logístico, não só porque reflete o desempenho do sistema, como também permite identificar áreas que carecem de melhorias. A avaliação do desempenho não só tem um reflexo na evolução do mesmo como também permite visualizar o impacto da implementação de novas medidas e projetos no sistema logístico (USAID, 2006), tal como é objetivo deste projeto de dissertação.

Os indicadores de desempenho possibilitam a avaliação de como os recursos disponíveis estão a ser utilizados pela empresa e Yuen (2006) destaca a existência de duas modalidades de medidas: as tangíveis e as intangíveis. Os indicadores de desempenho tangíveis são indicadores

diretos, tais como o total dos custos e o número de entregas; enquanto os indicadores intangíveis são indiretos, como atitudes, eficiência e capacidades dos serviços, *goodwill* e reputação (Yuen, 2006). A aplicação de um sistema de desempenho pressupõe o conhecimento de três princípios fundamentais: alinhar métricas com a estratégia central da empresa; compreender a dinâmica de como o desempenho é impulsionado; e rever métricas à medida que o desempenho melhora (Davidson, 2006).

Segundo Bourne *et al.* (2000) a implementação de um sistema de avaliação do desempenho é dividido em três fases: i) conceção de indicadores de desempenho, que consiste na identificação dos objetivos a serem avaliados e na definição dos próprios indicadores de desempenho; ii) implementação de indicadores de desempenho, que consiste na fase em que os sistemas e procedimentos são postos em prática com o intuito de recolher e processar dados que permitam medições periódicas do desempenho; e iii) utilização dos indicadores implementados na avaliação do desempenho, cuja informação e *feedback* devem ser utilizados de forma a desafiar procedimentos e a medir o sucesso de estratégias implementadas.

Os dados que permitem obter as métricas que quantificam os indicadores de desempenho são obtidos diretamente através de relatórios gerados pelo sistema de informação implementado, permitindo uma rápida avaliação do desempenho e garantindo a fiabilidade e qualidade dos dados. Portanto, conclui-se que os sistemas de informação são de enorme relevância para o sucesso de um sistema de avaliação do desempenho e que a sua programação correta é um fator crítico na avaliação do desempenho de qualquer sistema (Bourne *et al.*, 2000).

2.8.1. Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho tratam de expressar a eficiência e/ou eficácia de qualquer atividade ou a satisfação do cliente, relativamente a um objetivo inicialmente definido ou proposto e são, muitos deles, quantificados através de fórmulas matemáticas ou métricas (Krauth *et al.*, 2005). Segundo Parmenter (2007) muitas empresas assumem indicadores de desempenho inadequados, sendo muitas vezes incorretamente definidos, ou sendo poucos os que realmente monitorizam a atividade, o que acontece devido à escassez de informação acerca da sua definição, no interior das empresas.

Segundo Carstens, Richardson & Smith (2013), os indicadores de desempenho possuem um conjunto de características que devem ser levadas em consideração na sua conceção e que seguem o critério SMART, que serve de orientação na definição dos objetivos: Específicos (*S-Specific*); Mensuráveis (*M-Mensurable*); Atingíveis (*A-Attainable*); Realistas (*R-Realistic*); e Sensíveis ao tempo (*T-Time sensitive*). São, portanto, um conjunto de variáveis que têm o objetivo de medir o desempenho de uma pessoa, atividade ou processo, devendo seguir o critério SMART e revistos e atualizados à medida que as prioridades de negócio evoluem (Alho, 2009).

Os indicadores de desempenho podem-se traduzir em *drivers* de atividade, tais como qualidade, flexibilidade, utilização de recursos e inovação, ou em resultados de atividade, como

Capítulo 2 – Gestão de Stocks de Peças de Reserva

competitividade, desempenho financeiro, etc. (Graham *et al.*, 2015). Segundo Graham *et al.* (2015), as empresas devem adotar um conjunto de indicadores de desempenho equilibrado, em que os indicadores de eficiência devem ser separados dos de eficácia e os de custo separados dos de qualidade. Parmenter (2007) acredita que os indicadores de desempenho devem estar ligados às perspetivas do *Balanced Scorecard* (BSc), que se trata de uma ferramenta com o objetivo de verificar se os resultados das atividades de um determinado departamento estão alinhadas com os objetivos à larga escala da empresa (Alho, 2009).

A tabela 2.2 apresenta indicadores de desempenho referenciados na literatura associados à gestão de *stocks*, planeamento dos aprovisionamentos e previsão da procura, sendo estas as áreas em foco nesta dissertação. É de notar que uns têm o objetivo de minimizar (min) o seu valor e outros o de o maximizar (max).

Tabela 2.2- Indicadores de desempenho relativos à gestão de stocks

Indicador de Desempenho	Métrica	Unidade	Objetivo	Descrição	Fonte
Índice de rotação	Valor da procura total / Valor <i>stock</i> médio	Freq/ciclo	Max	Traduz o número de vezes que o <i>stock</i> médio roda num período.	Cachola (2014)
Índice de cobertura	Valor <i>stock</i> médio / Valor da procura total	Duração	Min	Traduz, em média, o tempo em que o <i>stock</i> permanece em armazém.	Cachola (2014)
Nível de <i>stock</i> inferior ao ponto de encomenda (s)	(Nº referências com <i>stock</i> médio inferior a s / Nº referências em armazém) x 100	%	Min	Permite avaliar a eficácia da gestão de <i>stocks</i> .	Krauth <i>et al.</i> (2005)
Nível de <i>stock</i> superior ao nível de <i>stock</i> máximo (S)	(Nº referências com <i>stock</i> médio superior a S / Nº referências em armazém) x 100	%	Min	Permite avaliar a eficácia da gestão de <i>stocks</i> .	Krauth <i>et al.</i> (2005)
Precisão do registo do <i>stock</i>	(<i>Stock</i> no sistema - <i>Stock</i> físico) / <i>Stock</i> físico) x 100	%	Max	Mede diferenças entre o <i>stock</i> físico e a informação no sistema.	USAID (2006)
<i>Fill rate</i>	(Procura satisfeita/Procura total) x 100	%	Max	Traduz a percentagem de procura satisfeita. É um indicador relacionado com as ruturas.	Ballou (2006)
Ruturas	Nº de ruturas num determinado período	-	Min	Mostra o número de vezes no período que em que a procura não foi satisfeita.	Alho (2009)
Obsolescência do <i>stock</i>	(Nº referências obsoletas / nº total de referências) x 100	%	Min	Corresponde à percentagem de materiais obsoletos presentes em armazém.	Zago <i>et al.</i> (2008)
Custo de posse do <i>stock</i>	Valor <i>stock</i> médio x taxa mínima de atratividade	€	Min	Retorno para a empresa caso o valor investido no <i>stock</i> fosse aplicado no mercado financeiro a uma taxa livre de risco.	Zago <i>et al.</i> (2008)
<i>Stock</i> indisponível por danos	(Valor <i>stock</i> indisponível por danos / Valor <i>stock</i> total) x 100	%	Min	Corresponde ao <i>stock</i> indisponível em função de danos decorrentes da movimentação, armazenagem, vencimento da data de validade ou obsolescência.	Ângelo (2005)

Capítulo 2 – Gestão de *Stocks* de Peças de Reserva

Tabela 2.2 - Indicadores de desempenho relativos à gestão de *stocks*

Indicador de Desempenho	Métrica	Unidade	Objetivo	Descrição	Fonte
Medida de erro de previsão	EAM, EQM, REQM (fórmulas presentes na secção 4.1.5)	-	Min	Mede o desvio do método de previsão aplicado comparativamente aos dados de procura real.	USAID (2006)
Visibilidade dos <i>stocks</i>	Data e/ou hora do registo da informação de recebimento do material – Data e/ou hora do recebimento físico	Duração	Min	Mede o tempo de disponibilização dos <i>stocks</i> dos materiais recém-recebidos nos sistemas da empresa.	Ângelo (2005)
Utilização da capacidade do <i>stock</i>	(Ocupação em m ³ ou n ^o posições de armazenagem / Capacidade total de armazenagem em m ³ ou n ^o total de posições) x 100	%	Max	Mede a utilização volumétrica ou o n ^o de posições disponíveis em armazém para <i>stock</i> .	Ângelo (2005)
Evolução dos <i>stocks</i>	Valor <i>stock</i> momentâneo	€	Min	É o indicador que mais influencia diretamente a tesouraria e os resultados do exercício.	Zermati (2000)
Custo de posse em função do valor da procura	(Custo de posse de <i>stock</i> / valor da procura) x 100	%	Min	Traduz a eficácia da gestão dos <i>stocks</i> e a produtividade do armazém.	Zermati (2000)
<i>Inbound Stock</i>	Número de movimentos de entrada de material	-	-	Pretende mostrar se o departamento está a comprar mais ou menos material.	Alho (2009)
<i>Own Stock</i>	Quantidade de <i>stock</i> existente no armazém	-	-	A intenção é dar a ideia da evolução do nível de <i>stock</i> do material.	Alho (2009)
Variedade de materiais	Número de referências em <i>stock</i>	-	-	Corresponde à quantidade de referências diferentes existentes em armazém.	Krauth et al. (2005)

2.9. Síntese do Capítulo

Pode concluir-se que a partir da implementação de melhorias na gestão de *stocks* é possível alcançar uma considerável redução de custos sem, contudo, reduzir o nível de serviço.

Neste capítulo houve a necessidade de dar ênfase à especificidade da gestão de *stocks* de peças de reserva, que são materiais com características específicas e distintas dos habitualmente analisados na literatura académica. As peças de reserva são maioritariamente de baixa rotação mas determinantes para o processo produtivo, podendo um nível insuficiente de *stock* implicar paragens de produção e, por isso, custos elevados.

Visto que a gestão individual das referências de peças de reserva é insustentável dado o seu número, é fundamental proceder-se à sua classificação, agrupando numa mesma classe as peças de reserva com características similares e cujas decisões de aprovisionamento são semelhantes. Neste sentido, conclui-se que os critérios de classificação mais importantes na gestão de peças de reserva são: i) o valor (a partir da análise ABC); ii) a criticidade (a partir da

análise de criticidade VED); e iii) o tipo de procura (errática, irregular, contínua ou intermitente), definido com base em duas variáveis, o Intervalo médio Entre Procuras (IEP) e a variabilidade da procura (CV^2).

As peças de reserva que estão no armazém de Sines, de uma maneira geral, apresentam elevados valores de IEP e de CV^2 , pelo que houve a necessidade de estudar as distribuições de probabilidade características dessas peças de reserva. Neste sentido, verificou-se que a distribuição que melhor se ajusta à procura contínua é a Normal, a distribuição de Poisson é a que melhor representa a procura intermitente e, por fim, a distribuição Gamma é a que melhor descreve os tipos de procura irregular e errática.

Vários modelos de gestão de *stocks* baseiam-se não só nos pressupostos da curva da procura em termos de ajuste a uma determinada distribuição de probabilidade, como ainda do valor esperado ou previsto da procura e respetivo desvio padrão. Assim, nos métodos de previsão existentes na literatura associados a materiais de baixa rotação, destacam-se, pela simplificação do processo de previsão, o método de Croston original, o método de Croston modificado – SBA, e o método TSB.

No que respeita aos modelos específicos de gestão de *stocks* para peças de reserva, existem vários, diferenciando-se uns dos outros em termos da sua política de gestão de *stocks*, nomeadamente (s, Q), (T, S), (s, S), (Sc, S), (S-1, S) ou (T, s, S), e dos seus pressupostos ou exigências, nomeadamente: i) o ajuste a distribuições de probabilidade da procura, do prazo de entrega, da procura durante o prazo de entrega e do IEP; e, ainda, ii) a aplicação de métodos de previsão específicos. São de destacar os modelos heurísticos de Naddor, *Power Approximation* e *Normal Approximation*, que não exigem quaisquer requisitos de aplicação e são recomendados em armazéns com inúmeras referências de peças de reserva de procura intermitente.

Os indicadores de desempenho possibilitam a avaliação e o controlo da utilização dos recursos utilizados pela empresa. Com o objetivo de desenvolver um *dashboard* que reflita o comportamento das atividades logísticas, identificaram-se 18 indicadores de desempenho que se destacam na literatura relativamente à gestão de *stocks*.

3. Gestão de *Stocks* na Central Termoeétrica de Sines

Neste capítulo enquadra-se o tema da dissertação no grupo empresarial onde esta é desenvolvida, o Grupo EDP. Primeiramente é realizada uma caracterização do grupo, num sentido *bottom-up*, desde a apresentação de informação geral relativo ao Grupo EDP, passando pela descrição da EDP Valor (empresa de realização do estágio de dissertação) e chegando ao Departamento de Serviços Corporativos e Logística (DSCL), responsável pela gestão de *stocks* da central termoeétrica de Sines. Por fim, é caracterizada a gestão de materiais que se pratica na EDP Produção e identificados os indicadores de desempenho utilizados atualmente.

3.1. Grupo EDP

A EDP-Energias de Portugal, S.A foi criada a 30 de junho de 1976 por fusão das 13 principais empresas do setor da energia que tinham sido nacionalizadas no ano anterior. Em 1994, depois de uma reestruturação, foi constituído o Grupo EDP (EDP, 2016b). O Grupo EDP é um grupo multinacional, com sede em Portugal, detendo ativos em vários países e negócios nas áreas da energia (eletricidade e gás). É líder em Portugal no setor da energia e é responsável pela promoção, dinamização e gestão de empreendimentos e atividades neste setor (EDP, 2016c).

A visão da EDP- Energias de Portugal é ser “uma empresa global de energia, líder em criação de valor, inovação e sustentabilidade”, sendo que integra na sua cultura valores e compromissos com os resultados, com os seus clientes, com as pessoas e com o ambiente, apelando à consistência e rigor dos seus valores corporativos baseados na “iniciativa através das atitudes, na excelência de execução, na confiança nos seus *stakeholders* (acionistas, clientes e fornecedores), na sustentabilidade manifestada, na melhoria contínua e na inovação através da criação de valor no negócio energético” (EDP, 2016d).

O Grupo EDP, cujo posicionamento é “ser uma empresa humana, sustentável e inovadora”, está entre os grandes operadores europeus do setor da energia, é um dos maiores operadores energéticos da Península Ibérica e o 3º maior produtor mundial de energia eólica (EDP, 2016c). É importante referir que o Grupo EDP integra, pelo 8º ano consecutivo, o Índice de Sustentabilidade *Dow Jones World*, o que reflete os esforços da empresa em integrar a sustentabilidade em todas as áreas prioritárias da sua cadeia de valor, em todas as unidades de negócio e em todas as geografias onde opera, o que lhe confere uma grande credibilidade por ser um reconhecimento que distingue as empresas com melhor desempenho nas questões ligadas à transparência, sustentabilidade e excelência na gestão económica ambiental e social (EDP, 2016e).

O Grupo EDP tem vindo a crescer e a evoluir desde a sua criação, bem como a conquistar mercados, a alargar a sua atividade, a expandir negócios e a mudar culturas, notando-se uma expansão geográfica, sendo uma multinacional e a maior empresa não financeira em Portugal (EDP, 2016b). Os colaboradores EDP encontram-se espalhados por diferentes continentes e países, entre os quais Portugal, Espanha, França, Itália, Reino Unido, Bélgica, Polónia, Roménia, Canadá, Brasil e Estados Unidos e é a única empresa portuguesa entre as 500 melhores do mundo, segundo o *ranking* “Global 2000”, da revista Forbes, que apresenta a lista das empresas mais poderosas do planeta, ocupando em 2016 o posto 391 no ranking global feito pela revista Forbes das 2000 melhores organizações do mundo, tendo vendas no valor de 21 mil milhões de dólares (Forbes, 2016; EDP, 2016f). Em junho de 2012, segundo um estudo efetuado pela consultora *Brand Finance*, a EDP foi considerada, também, a marca portuguesa mais valiosa, com um *brand value* de 2,4 mil milhões de euros (EDP, 2016g).

O Grupo EDP é constituído por um elevado número de empresas (figura 3.1) que desenvolvem a sua atividade no setor energético e que prestam serviços de suporte ao seu desenvolvimento. Como se pode observar as várias empresas encontram-se divididas em 3 grandes setores: elétrico; do gás; e outras áreas, englobando a inovação, área comercial e serviços partilhados, onde se insere a EDP Valor. Esta última encontra-se evidenciada, através de uma seta, na figura 3.1 e diz respeito à empresa do Grupo na qual este projeto de dissertação é desenvolvido, e da qual se fará em seguida uma breve descrição.

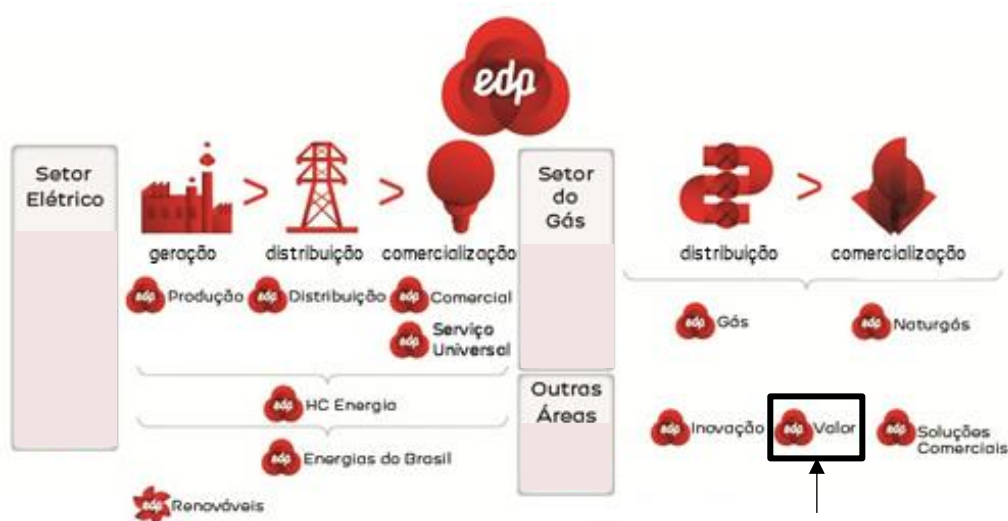


Figura 3.1- Empresas do Grupo EDP distribuídas por área de atuação

Retirado de: EDP(2016h)

Cada uma das empresas representadas na figura 3.1 assegura uma área na cadeia de valor do Grupo, que representa o conjunto das atividades desenvolvidas pelas diferentes empresas (EDP, 2016h) e se apresenta na figura 3.2, estando evidenciados os grupos de funções-core divididos pelas funções corporativas, de negócio e de suporte transversal. É de realçar as principais áreas de negócio, que se encontram divididas em produção ou geração de eletricidade, *trading*, distribuição e comercialização de eletricidade e gás natural.



Figura 3.2- Áreas de valor do grupo EDP

Retirado de: EDP (2016a)

Os indicadores expressos na tabela 3.1 revelam quantitativamente a dimensão do Grupo EDP a nível global, sendo de realçar, por exemplo, a dispersão geográfica, cobrindo 14 países, e a produção de energia a partir de fontes renováveis (70%) (EDP, 2016j).

Tabela 3.1- Indicadores gerais do Grupo EDP

Adaptado de: EDP (2016j)

Indicador	Valor
Número de Colaboradores	11 796
Número de Países com atividade EDP	14
Número de Nacionalidades com atividade EDP	29
Número de Clientes de eletricidade	9 693 672
Número de Clientes de gás	1 310 933
Potência instalada (MW)	23 017
Potência líquida (GWh)	60 220
Produção a partir de fontes renováveis	70%
Eletricidade distribuída (GWh)	79 428
Gás distribuído (GWh)	53 846

O Grupo EDP é liderado pela “empresa-mãe”, a EDP – Energias de Portugal, S.A, que se responsabiliza por (EDP, 2016a): proceder à definição da estratégia global conjunta das empresas do Grupo; coordenar a atuação das várias empresas; assegurar a representação conjunta dos interesses comuns a todas as empresas; e assegurar, globalmente, as funções comuns a todas as empresas, com vista à obtenção de sinergias.

Sendo que o projeto de dissertação tem a parceria da EDP Valor, empresa do Grupo EDP que presta serviços de suporte a diferentes empresas do Grupo, nomeadamente à EDP Produção, onde se enquadra a gestão do armazém da central termoelétrica de Sines, interessa descrever a sua atividade bem como apresentar o Departamento de Serviços Corporativos e Logística (DSCL), responsável pela gestão de stocks do armazém em estudo.

3.2. EDP Valor – Gestão Integrada de Serviços, S.A.

A EDP Valor foi criada em 2001 e é composta por áreas de suporte e áreas operacionais de atuação no negócio. No quadro do modelo organizativo do Grupo EDP, esta empresa constitui a Unidade de Serviços Partilhados, responsável pelo desenvolvimento dos processos de suporte à gestão, “cuja centralização e gestão visam a redução de custos e a criação de valor” (EDP, 2016b). Desde a sua constituição, a EDP Valor “tem vindo a alargar o âmbito da sua atuação, concorrendo para a concretização da estratégia de negócio do Grupo, através da prestação de serviços de suporte nas áreas de aprovisionamentos, económico-financeira, recursos humanos, atividades logísticas, riscos seguráveis, e segurança e saúde no trabalho”. A prestação de serviços de suporte desenvolvida pela EDP Valor abrange um conjunto alargado de clientes, constituído maioritariamente por empresas participadas pela EDP e com atuação em Portugal (EDP, 2016b).

A missão da EDP Valor é criar valor para os acionistas e clientes através da prestação de serviços de suporte ao nível das melhores práticas do mercado, com colaboradores motivados. Tem como compromissos essenciais: i) valorizar a cordialidade na relação com o cliente (externo e interno); ii) assegurar a melhoria contínua do serviço contratado através das melhores práticas; iii) limitar as falhas na prática das atividades, demonstrando rigor na informação apresentada; iv) orientar o Grupo para o cumprimento dos prazos previstos nos contratos de prestação de serviços; e v) racionalizar recursos e processos no desenvolvimento das atividades para minimizar custos (eficiência) (EDP, 2016d).

A EDP Valor desempenhou um papel especialmente relevante na tomada de medidas para a redução de custos no Grupo EDP, atuando em áreas prioritárias onde era expectável que, por força de uma atuação centralizada se gerassem poupanças consideráveis. Nesta medida a EDP Valor apresenta-se como instrumento privilegiado de apoio ao “Programa Eficiência”, ele próprio um programa abrangente e mobilizador de todo o Grupo EDP, com vista a elencar e concretizar medidas indutoras de ganhos de eficiência e redução de custos (EDP, 2016a). Para esclarecer a dimensão da empresa, compilaram-se na tabela 3.2 alguns números gerais da mesma relativos à atividade observada no ano de 2014. Importa salientar, para o desenvolvimento do trabalho, o valor médio dos stocks geridos, contabilizando um valor total de 46 033 000 € (EDP, 2016j).

Tabela 3.2- Indicadores da EDP Valor por área de negócio

Adaptado de: EDP (2016j)

Área	Indicador	Valor
Negociação e Compras	Valor Negociado (M€)	1 105
	Poupança (M€)	119
Económico-Financeira	Número de faturas de fornecedores	421 000
	Número de pagamentos	492 000
Apoio Logístico	Número de viaturas	3 303
	Área gerida (m ²)	1 058
Logística de Materiais	Valor médio dos stocks geridos (€)	46 033 000
	Número de avaliações a fornecedores	1 095

Os principais objetivos da EDP Valor (EDP, 2016a), são:

- Otimização de processos e sistemas;
- Aproveitamento de sinergias na realização de serviços de suporte, transversais aos negócios;
- Centralização de serviços de *back-office*;
- Negociação e aprovisionamento centralizado de bens e serviços de utilização geral no Grupo;
- Normalização e racionalização de funções numa perspetiva global do Grupo.

Tendo em conta a evolução da EDP Valor desde a sua criação, nomeadamente pelo alargamento da sua atividade a outras geografias e a incorporação de novos serviços, junta-se o interesse em objetivar as suas funções e o conveniente alinhamento com as designações usadas na descrição do Grupo EDP. Hoje em dia, a EDP Valor está organizada em três funções (EDP, 2016a) (figura 3.3): i) de suporte; ii) corporativas; e iii) de negócio. A cada função de negócio corresponde um respetivo departamento de atuação, como é o caso do *Hire to Retire*, *Record to Report*, Serviços Corporativos e Logística, Unidade de *Procurement* Global e Unidade de Riscos Seguráveis (EDP, 2016a).

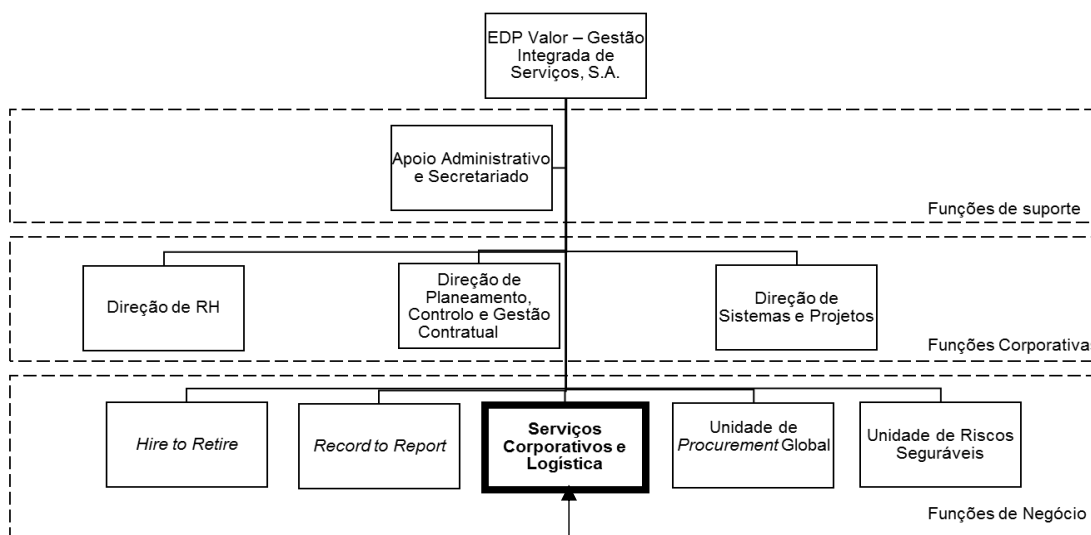


Figura 3.3- Estrutura Organizativa da EDP Valor

Adaptado de: EDP (2016a)

Esta dissertação foi desenvolvida no Departamento de Serviços Corporativos e Logística (DSCL), estando evidenciado na figura 3.3 através de uma seta, e da qual se fará uma breve descrição seguidamente.

3.2.1. Departamento de Serviços Corporativos e Logística

O DSCL, da EDP Valor, responsabiliza-se por gerir as operações e atividades logísticas do Grupo EDP, designadamente frota, comunicações, armazéns e *stocks*, viagens e estadias, contratos

de materiais técnicos e gestão de documentos, garantindo a entrega ao utilizador final em tempo útil, com elevada qualidade e custos controlados (EDP, 2016a).

A estrutura organizativa do DSCL, apresentada na figura 3.4, é dividida em três áreas: i) Área de Logística; ii) Área de Serviços e iii) Controlo de Gestão. Dentro da área de logística fazem parte três unidades operativas: i) Coordenação Logística; ii) Materiais Distribuição (que se encarrega de gerir os materiais da empresa EDP Distribuição); e iii) Materiais Geração (que se encarrega de gerir os materiais da empresa EDP Produção e EDP Renováveis). É dentro desta última unidade operativa que o projeto de dissertação se insere (representado na figura 3.4 através de uma seta), mais concretamente na Geração Térmica, de onde faz parte a central termoelétrica de Sines. A unidade operativa de Materiais Geração caracteriza-se pela gestão de materiais de geração (térmica, hídrica e renováveis) e tem como objetivo gerir os níveis de *stock* dos diferentes materiais, de forma a garantir a disponibilidade atempada dos mesmos em qualidade e quantidade, assegurando a continuidade das operações, planos de manutenção e paragens programadas das empresas de geração (EDP, 2016a). Mais concretamente encarrega-se de gerir *stocks*, acompanhar planos de obra e gerir contratos.

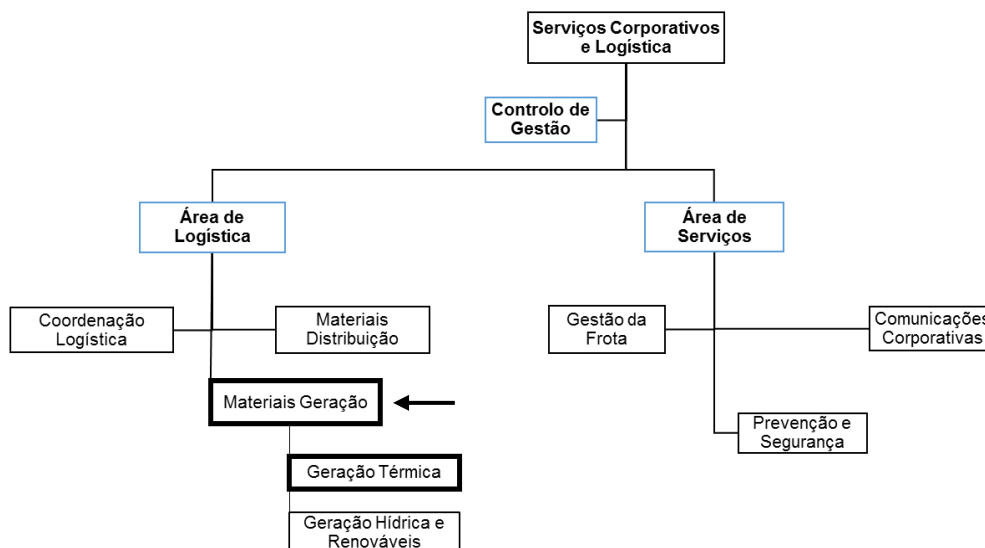


Figura 3.4- Estrutura Organizativa do Departamento de Serviços Corporativos e Logística

Adaptado de: EDP (2016a)

As funções de negócio deste departamento encontram-se organizadas em Estratégia e Planeamento Logístico e Estratégia e Planeamento de Serviços (EDP, 2016a) (figura 3.5). O primeiro grupo encarrega-se pela gestão de armazéns, gestão de transporte e gestão de materiais sendo nesta última função de negócio que a dissertação se insere, encontrando-se representado por uma seta na figura 3.5.

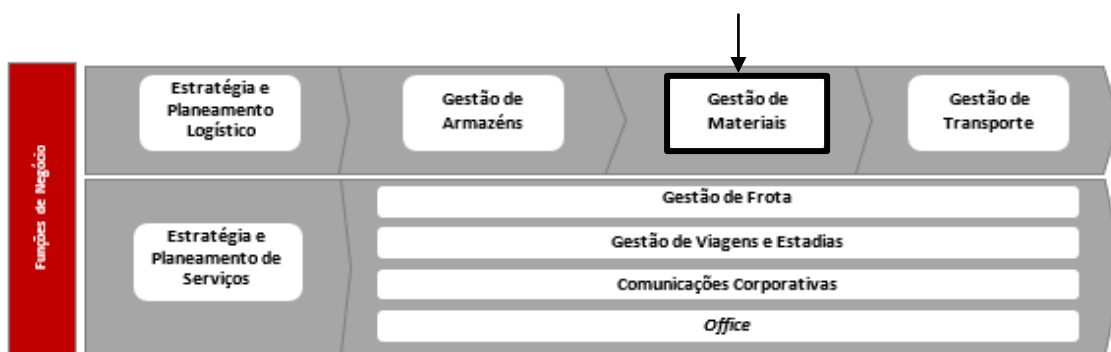


Figura 3.5- Funções de negócio do Departamento de Serviços Corporativos e Logística

Adaptado de: EDP (2016a)

3.3. Geração de Eletricidade

O Grupo EDP recorre a várias tecnologias de produção de eletricidade, utilizando as fontes disponíveis e comercialmente testadas, principalmente hídrica, térmica convencional, nuclear, ciclo combinado e cogeração, que em conjunto se denominam geração convencional, e que conferem uma capacidade previsível e controlada de produção. A produção a partir de energias eólica e solar, designadas de renováveis intermitentes devido à volatilidade do recurso, não se incluem na referida geração convencional (EDP, 2014b).

Em Portugal, a geração convencional de eletricidade é desenvolvida pela EDP Produção, englobando as centrais hidroelétricas e termoelétricas. No final de 2014, a potência em exploração ligada à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) no Continente totalizava 17 936 MW, dos quais 8 686 MW pertencia à EDP Produção (EDP, 2014b).

A atividade de produção pode ser exercida em livre concorrência, estando apenas sujeita à obtenção de licença, subdividindo-se em dois regimes (EDP, 2014b): Produção em Regime Ordinário (PRO) e Produção em Regime Especial (PRE).

3.3.1. Produção em Regime Ordinário

No Regime Ordinário, a potência instalada em 2014 da EDP Produção representava cerca de 78% do total em exploração, correspondendo 62% à potência hidroelétrica e 38% à potência termoelétrica (EDP, 2014b).

A EDP explora hoje um dos portfolios de geração mais equilibrados da Península Ibérica. (EDP, 2014b). As centrais de ciclo combinado a gás natural (Lares e Ribatejo) envolvem o emprego de mais do que um ciclo térmico, englobando uma turbina a gás e uma a vapor. Provocam menores impactes ambientais do que as centrais a carvão e a fuel, pois as emissões gasosas por GWh produzido são menores (Brenhas & Dinis, 2009). Estas centrais consomem menos água e não produzem resíduos resultantes do processo de combustão (Brenhas & Dinis, 2009). São, portanto, caracterizadas por serem mais pequenas e fazerem uso de um processo de produção energético mais limpo, comparativamente à central termoelétrica de Sines. Em Sines é usado

carvão como fonte energética primário num ciclo térmico simples, onde a caldeira e a turbina a gás operam isoladamente, ao contrário do ciclo combinado, onde os dois sistemas interagem (EDP, 2014b).

O parque hidroelétrico da EDP Produção tem uma potência instalada de 5 286,5 MW, distribuída por 3 centrais e 39 armazéns (EDP, 2014b). É importante referir que os armazéns das centrais hidroelétricas têm uma gestão muito mais complexa do que os das centrais termoelétricas, pois têm um armazém central e depois pequenos armazéns para servir as centrais hidroelétricas, ao contrário do que acontece com as centrais termoelétricas, onde a cada uma corresponde um e um só armazém.

O parque termoelétrico é constituído por três centrais, uma a carvão (Sines) e duas de ciclo combinado a gás natural (Ribatejo e Lares), totalizando a sua potência em 3 219 MW no ano de 2014, valor 4,9 % inferior ao de 2013, devido à cessação da atividade, no final de março, da central de Tunes – última central a gasóleo (EDP, 2014b). Na tabela 3.3, encontram-se resumidas as principais características das três centrais termoelétricas (EDP, 2014b).

Tabela 3.3- Principais características das centrais termoelétricas

Adaptado de: EDP (2014b)

Central	Concelho	Entrada em Serviço	Combustível utilizado	Número de grupos de produção	Potência Líquida Máxima (MW)
Sines	Sines	1985	Carvão	4	1 180
Ribatejo	Alenquer	2004	Gás Natural	3	1 176
Lares	Figueira da Foz	2009	Gás Natural	2	826,7

A figura 3.6 representa a repartição da potência instalada em 2014 por tipo de central na PRO, de onde se conclui a importância que a central de Sines tem em relação às restantes, sendo a única que se utiliza do carvão como combustível. Observa-se que a central de Sines teve mais potência instalada do que soma das instaladas em Lares e Ribatejo (centrais de ciclo combinado).

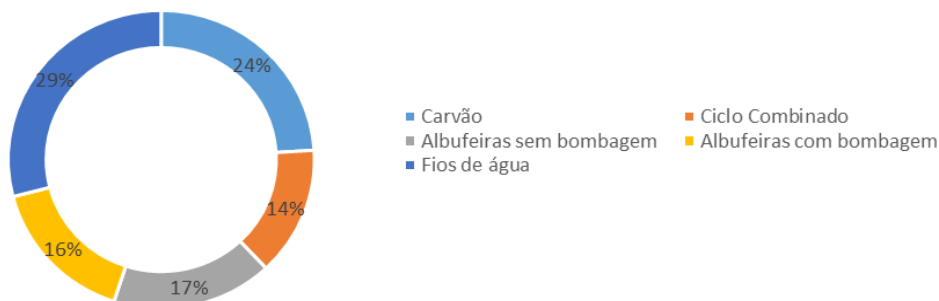


Figura 3.6- Repartição da potência instalada por tipo de central na Produção em Regime Ordinário

Adaptado de: EDP (2014b)

Na PRO a disponibilidade dos centros electroprodutores atingiu 95,3% no Parque Hidroelétrico e 91,6% no Parque Termoelétrico, tendo-se atingido uma disponibilidade global de 93,9 % (EDP, 2014b).

Em 2014, o parque termoelétrico da PRO contribuiu com 8.688 GWh dos quais 8.129 GWh (94%) correspondem à produção líquida da central de Sines (EDP, 2014b). Tendo em conta a importância da central termoelétrica de Sines no processo de produção de energia da EDP Produção, o posterior estudo é incidido nesta central, que será seguidamente apresentada de forma sucinta.

3.4. Central Termoelétrica de Sines

A central termoelétrica de Sines situa-se na costa alentejana a cerca de 8 km a sudeste da cidade de Sines, junto à praia de São Torpes. A sua construção teve início em 1979 e a sua conclusão em 1989, tendo o primeiro grupo iniciado o serviço industrial em 1985. Está neste momento entre as mais poluentes da Europa, ocupando o 27º lugar entre as 30 mais poluentes do velho continente, no ranking da “*Europe’s Dirty 30*” (EDP, 2014b). Tal facto deve-se ao elevado volume de energia produzido, comparativamente a outras centrais e ao facto de no seu funcionamento utilizar um processo “menos limpo” e mais tradicional, fazendo uso do carvão fóssil importado como combustível, que, ao contrário das centrais modernas de Lares e Ribatejo (centrais de ciclo combinado) provocam elevados níveis de poluição.

Devido aos fatores descritos na secção 1.3 e na secção 3.3.1, principalmente pelo facto de ser a central com maior rotação de *stock* e apresentar elevada variedade de referências de peças de reserva (21 627 referências), englobando cerca de 25% do total de referências que constituem o parque eletroprodutor da EDP em PRO, considera-se a gestão desta central mais complexa e urgente comparativamente às restantes. Portanto, a focalização na melhoria do seu desempenho, no que toca à gestão de *stocks*, é essencial para o Grupo EDP.

É política da EDP realizar operações de manutenção de 4 em 4 anos em cada um dos seus grupos geradores, que se encontram representados na figura 3.7



Figura 3.7- Representação dos 4 grupos geradores da central termoelétrica de Sines

A intervenção de manutenção planeada tem a duração de dois meses em cada um dos grupos e teve o seguinte agendamento nas últimas duas grandes paragens:

- Grupo I: Março e Abril de 2008 e de 2012
- Grupo II: Setembro e Outubro de 2008 e de 2012
- Grupo III: Março e Abril de 2009 e de 2013
- Grupo IV: Setembro e Outubro de 2009 e de 2013

É de referir que, durante estes períodos, a procura de alguns materiais é superior ao habitual, podendo ser considerados como meses de procura sazonal.

3.5. Gestão de Materiais

Atualmente, a gestão de *stocks* dos materiais existentes nos armazéns de manutenção das centrais termoelétricas e hidroelétricas é feita através de uma política de gestão de *stocks* (s , S) aos materiais que apresentam parâmetros de gestão associados, nomeadamente o ponto de encomenda (s) e nível de *stock* máximo (S). Os valores dos parâmetros atualmente em sistema, tais como a quantidade de encomenda (Q), o *stock* de segurança (Q_{seg}), o ponto de encomenda (s) e o nível de *stock* máximo (S) são definidos pelos gestores com base na sua experiência e análise individual, conferindo uma elevada subjetividade. Esta definição é conseguida através do conhecimento da criticidade de cada material para o processo produtivo, no Prazo de Entrega Previsto (PEP) e nos dados históricos (em termos de índice de rotação, custo unitário, custos de transporte e custos de aprovisionamento), não havendo nenhum modelo ou base estruturada para gerar os parâmetros. Isto, juntando ao facto de existirem especificidades distintas em diferentes materiais, resulta numa ineficiência de gestão, visto que características distintas exigem uma gestão distinta. Para além disso, tem-se verificado um conflito ao nível dos interesses e prioridades de duas entidades: os técnicos de manutenção e os gestores de *stocks*. Os técnicos de manutenção, por um lado, têm uma visão muito conservadora e pretendem manter uma “almofada” de reservas estratégicas para cobrir eventuais ruturas, procurando manter um nível de *stock* elevado para proteger o processo produtivo das centrais pois existem materiais com elevada criticidade que podem causar perdas monetárias elevadas, aquando da sua indisponibilidade. Por outro lado, os gestores de *stocks* pretendem manter o nível de serviço adequado, mas reduzindo os custos, através da redução do capital imobilizado. Portanto, gera-se, por vezes, um braço de ferro entre estas duas entidades, resultante do facto de os parâmetros de gestão não serem gerados por via de um modelo, mas sim inseridos manualmente através da plataforma de planeamento de recursos, o *System Application & Products* (SAP), sendo reduzida a precisão dos seus valores introduzidos e dependente da perceção de cada gestor.

De forma a caracterizar a gestão de materiais que se verifica na EDP Produção será apresentado o ciclo de compras que se pratica atualmente no DSCL.

3.5.1. Ciclo de Compras

Antes de ser descrito o processo efetuado pelo sistema SAP na geração de encomendas planeadas, o fluxograma da figura 3.8 representa todo o enquadramento processual de aprovisionamento de materiais a cargo do DSCL. Se a necessidade do técnico de manutenção disser respeito a um material referenciado no armazém, ele efetua uma reserva (intenção de necessidade), caso contrário efetua uma Requisição de Compra (RC) direta à obra (caso específico). No primeiro caso, se houver *stock* dessa referência em armazém, faz o levantamento da sua necessidade, caso contrário esta reserva irá despoletar no sistema SAP um cálculo automático das necessidades líquidas e conseqüentemente das encomendas planeadas, de acordo com os fatores descritos na figura 3.9. Estas encomendas planeadas chegam aos gestores de *stocks* do DSCL que geram, posteriormente, RC's decidindo se devem encomendar ao fornecedor a quantidade indicada ou encomendar outra quantidade. Se os materiais presentes na RC estiverem contratualizados com fornecedores, a encomenda é colocada segundo o contrato estabelecido, caso contrário, e se a compra for inferior a 25 000€, solicita-se cotação e só depois se coloca a encomenda. Caso não haja contrato e a compra for superior a 25 000 €, a RC é encaminhada para o Departamento de Negociação e Compras (DNC), cabendo a este departamento efetuar a encomenda.

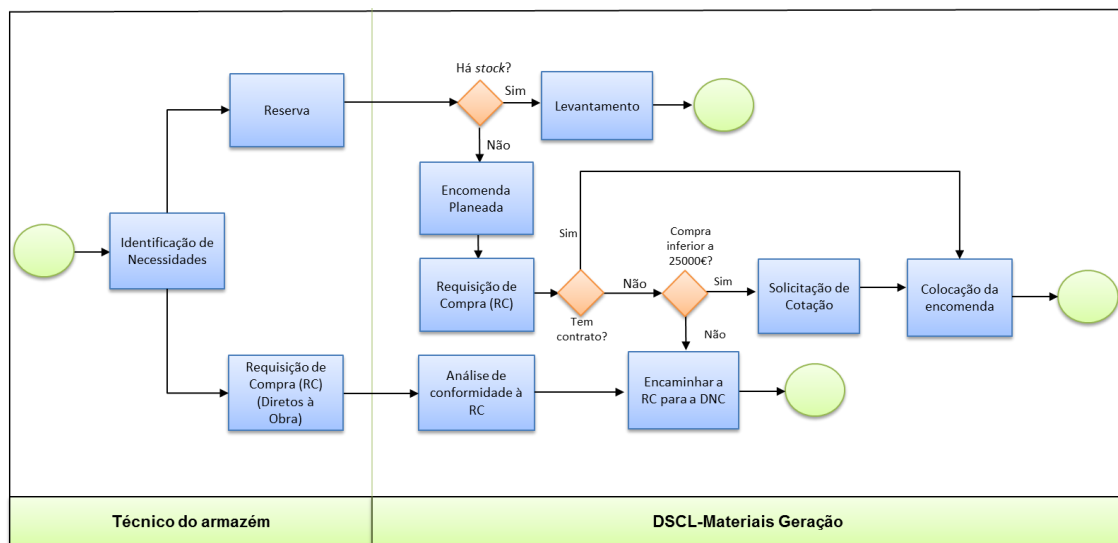


Figura 3.8- Processo de aprovisionamento de materiais

Este ciclo de compras reflete todas as atividades da cadeia de abastecimento, desde a manifestação da necessidade até à colocação da encomenda, sendo de se referir que as RC têm de ser previamente aprovadas, seja quais forem as condições.

A geração de parâmetros de gestão, que é o ponto fulcral da dissertação, é fundamental na gestão dos materiais dos armazéns, pois afeta a geração das encomendas planeadas pelo SAP e conseqüentemente todo o processo de aprovisionamento presente na figura 3.8. O SAP permite a emissão de encomendas planeadas automáticas aos segundo os parâmetros que lhes estão associados, facilitando aos gestores a revisão constante do nível de *stock* de cada

referência. Portanto, devido à importância que tem na gestão de materiais da EDP Produção, será descrito como se processa a gestão dos materiais via SAP.

3.5.2. SAP/MRP

O planeamento de recursos empresariais na central termoelétrica de Sines é efetuado pelo sistema integrado *Enterprise Resource Planning* (ERP), que é um sistema de informação que integra os dados e processos de uma empresa e é concebido para eliminar a necessidade de existência de diferentes bases de dados distintas para cada departamento, recorrendo ao SAP (Alho, 2009), que permite controlar os níveis de *stock* dos materiais e emitir automaticamente encomendas planeadas para suprir as necessidades. O planeamento e gestão de materiais são realizados de forma a centralizar as bases de dados de cada departamento dentro da empresa, possibilitando a adesão em tempo real por qualquer colaborador. É uma aplicação construída de modo versátil que permite a gestão de operações produtivas, como a gestão de *stocks* em armazém, compras, encomendas, recursos humanos e instalações, ao mesmo tempo que monitoriza processos, registos e introduz mudanças em tempo real (Alho, 2009). Este sistema utiliza o *Materials Requirements Planning* (MRP), utilizando dados do planeamento de produção e de materiais para gerir os processos. De maneira geral o MRP é utilizado para responder a três objetivos (EDP, 2004):

- Assegurar que os materiais e os produtos estão sempre disponíveis;
- Manter o nível de *stock* o mais reduzido possível;
- Planear a produção, horários de entrega dos fornecedores e gerir encomendas de materiais.

Atualmente as referências de materiais que se encontram no armazém da central de Sines estão associadas a três tipos de MRP que diferem entre si na forma de gestão dos materiais que o constituem, nomeadamente o MRP tipo V1, o MRP tipo Z2 e o MRP tipo ND (EDP, 2004):

- MRP tipo V1: Considera parâmetros de gestão, ou seja, tem um valor de ponto de encomenda (s) e de nível de *stock* máximo (S) associado a cada referência, tendo sido introduzidos manualmente no sistema. Este tipo de MRP emite notificações de encomendas planeadas, o que para tal, o sistema utiliza três tipos de planeamento:
 - ➔ E01: Materiais com rotação considerável e valor elevado;
 - ➔ E02: Materiais com rotação considerável e valor reduzido;
 - ➔ E03: Peças de reserva e elementos de fixação.

Os materiais do tipo MRP V1 são os únicos que permitem uma comparação de resultados dos parâmetros gerados pelos modelos de gestão de *stocks* a serem implementados, nomeadamente os do tipo de planeamento E03 (para peças de reserva).

Com base nos parâmetros de gestão introduzidos no sistema segundo a política (s, S), no perfil MRP (constituído pelo tipo de MRP e tipo de planeamento), no *stock* existente e, após serem lançadas reservas ou necessidades dos técnicos de manutenção, são calculadas necessidades líquidas que, posteriormente, são transformadas em encomendas planeadas pelo sistema SAP. Estas encomendas planeadas geradas pelo sistema SAP são entregues ao gestor de *stocks* que decide se deve, ou não, encomendar ao fornecedor a quantidade indicada pelo SAP, gerando Requisições de Compra com a quantidade necessária a ser reposta de forma a permitir colocar uma encomenda ao fornecedor, de quantidade igual ou diferente à planeada. A reserva, ou necessidade dos técnicos, é, assim, o *input* do processo no sistema SAP, sendo a encomenda planeada o seu *output*, como se constata na figura 3.9.

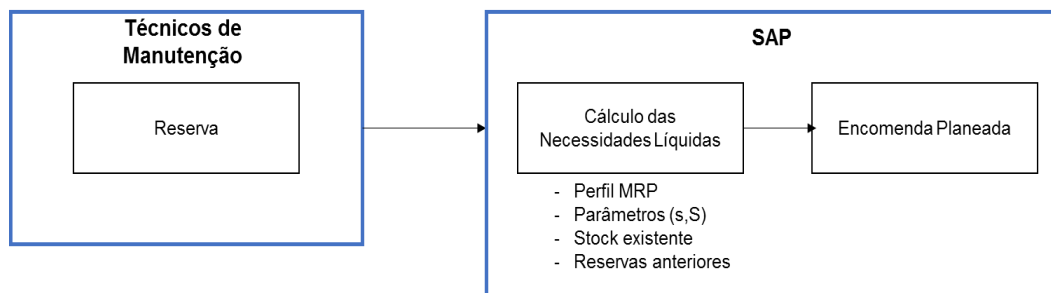


Figura 3.9- Esquema representativo da emissão de encomendas planeadas

- Z2: Não considera parâmetros de gestão sendo normalmente associado a materiais que não necessitam de permanecer em *stock*, mas emite notificações de encomendas planeadas se for efetuada uma reserva. Neste caso a quantidade da encomenda planeada é igual à quantidade da reserva, isto é, aquando da reserva, pelo técnico, ao armazém, é gerado uma encomenda planeada na plataforma SAP da mesma quantidade.
- ND: Não considera parâmetros de gestão e não emite notificações nem encomendas planeadas na plataforma SAP. É associado tanto aos materiais para os quais não é constituído *stock*, como para os materiais obsoletos, ou ainda para situações momentâneas, tais como projetos esporádicos, grandes paragens de manutenção ou sobras de material de obra.

Cada perfil de MRP contém um conjunto de parâmetros pré-definidos a aplicar aos materiais que se pretende utilizar no planeamento de necessidades, simplificando desse modo a criação e modificação dos dados que figuram no registo mestre dos materiais.

Estando caracterizado todo o processo de gestão de materiais que se verifica na EDP Produção, interessa, de seguida, caracterizar as referências existentes no armazém da central termoelétrica de Sines.

3.5.3. Caracterização dos Materiais da Central Termoelétrica de Sines

Atualmente, a central termoelétrica de Sines engloba 21 627 referências de material, tendo sido identificados os seguintes grupos: i) Peças de reserva; ii) Materiais de procura corrente; iii) Materiais novos; iv) Materiais reparáveis; e v) Materiais com outras aplicações. As peças de reserva são o foco desta dissertação, sendo os materiais usados nos equipamentos das unidades produtivas, como é o caso dos motores, rolamentos e válvulas. Já os materiais de procura corrente são aqueles que servem as unidades produtivas, mas não são usados em nenhum equipamento específico, fazendo parte as matérias-primas ou outros produtos, como por exemplo vedantes. Os materiais novos dizem respeito àqueles que foram introduzidos recentemente na plataforma SAP e para os quais ainda não existe qualquer registo de procura. Os materiais reparáveis são aqueles que são suscetíveis de serem enviados para um agente de reparação aquando da deteção de uma avaria. Por fim, os materiais com outras aplicações englobam todos os outros que não se enquadram em nenhuma das categorias anteriores, entrando nesta categoria, por exemplo, material de escritório e equipamento de proteção individual.

A figura 3.10 ilustra parte do armazém em questão, onde as diversas referências se encontram armazenadas pelo respetivo grupo.



Figura 3.10- Algumas peças de reserva existentes no armazém

Tal como abordado na secção 3.5.2, das 21 627 referências, interessará, sobretudo, estudar as que têm associado um MRP do tipo V1, pois são geridas a partir de parâmetros de gestão, nomeadamente o ponto de encomenda (s) e o nível de *stock* máximo (S), segundo uma política (s, S), e que, por conseguinte, são desejáveis de ter em armazém. As restantes são aprovisionadas apenas quando surge uma necessidade dos técnicos do armazém, sem haver necessidade de serem mantidas unidades em *stock*. Na tabela 3.4 encontram-se distribuídas todas as referências de materiais, existentes na central, pelo seu tipo de MRP definido em SAP.

Tabela 3.4- Referências de material distribuídas por tipo de MRP

	Tipo de MRP		
	V1	Z2	ND
Número de referências	13 278 (61,4%)	7 526 (34,8%)	823 (3,8%)

Dentro do lote de materiais referenciados no armazém da central termoelétrica de Sines apenas 11 021 são Materiais Valorizados (MV) (figura 3.11), isto é, suscetíveis de se obter um custo unitário e que o valor do seu ativo consta na conta das existências (em termos contabilísticos). Por outro lado, os Materiais Não Valorizados (MNV) contêm o seu valor imputado na conta de investimentos, imputação esta que consta no total do valor de investimento do projeto de construção das centrais. Os MNV caracterizam-se por ser de baixa rotação e são “enviados” a custo zero para a conta das existências apenas com o intuito de serem geridos na plataforma SAP.

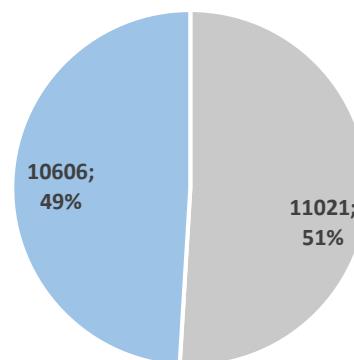
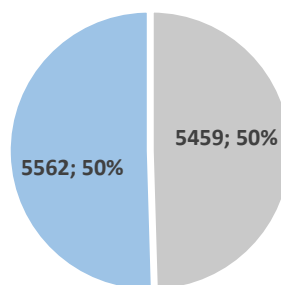


Figura 3.11- Proporção de Materiais Valorizados na central de Sines

Dentro dos MV, apenas em cerca de metade, 5 459 referências, se consegue obter um prazo de entrega fidedigno a partir do sistema (figura 3.12).



■ MV com prazo de entrega ■ MV sem prazo de entrega

Figura 3.12- Proporção de Materiais Valorizados com prazo de entrega associado

Neste lote de MV com registos de prazo de entrega associado, verifica-se ainda que 648 referências de material não tiveram qualquer procura desde 2005 (figura 3.13). Entendendo-se que um material para o qual não existe uma única procura desde 2005 deverá ser considerado obsoleto.

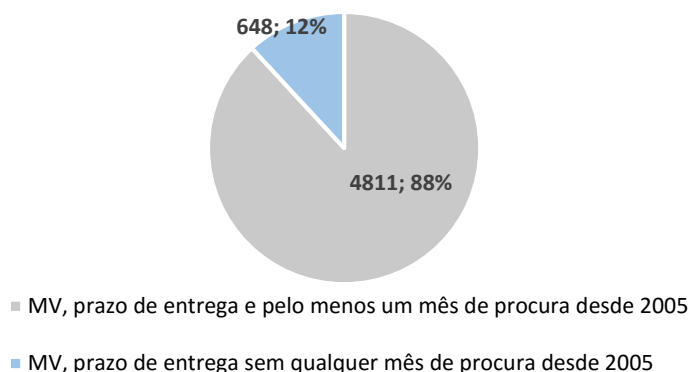


Figura 3.13- Proporção de Materiais Valorizados com prazo de entrega associado e pelo menos um mês de procura desde 2005

É de referir, ainda, que dentro dos MV com registos de prazo de entrega associado e com pelo menos um mês de procura desde 2005, verificam-se 522 referências de material que não tiveram procura nem qualquer unidade em *stock* ao longo do ano de 2015, sobrando 4289 (das 4811) referências de material que tiveram procura ou unidades em *stock* em 2015 (figura 3.14).

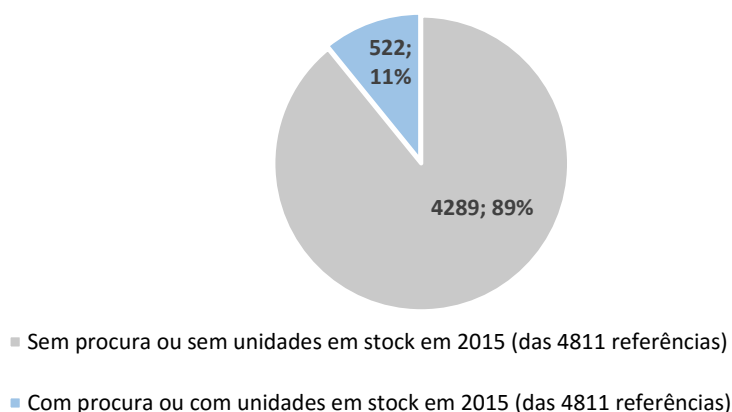


Figura 3.14 - Proporção de materiais sem procura ou sem unidades em *stock* em 2015

Dentro das 4289 referências de material obtidas, verificam-se um total de 3704 adimensionais (figura 3.15), isto é, desprovidas de qualquer unidade física que as definam, estando incluídas neste lote as peças de reserva (disjuntores, transmissores, retentores, entre outros) e elementos de fixação/imobilização (parafusos, rebites, entre outros), representando cerca de 86,3% da diversidade de materiais em armazém e 92,15% do valor do *stock* em armazém (figura 3.16). Os restantes são outros tipos de materiais encomendados em outras unidades de medida como: o centímetro ou metro (tubos, telas, varões, cabos, entre outros), o grama ou quilograma (chapas, varetas, empanques, entre outros), o litro (óleos, aditivos e outros consumíveis), a área ou metro quadrado (tecido, redes, entre outros).

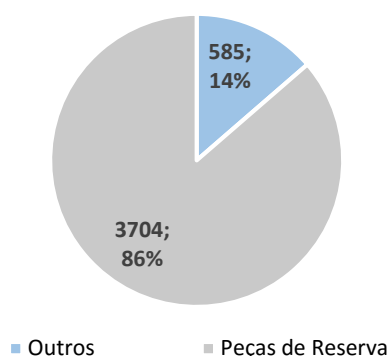


Figura 3.15 - Proporção de peças de reserva (em quantidade)

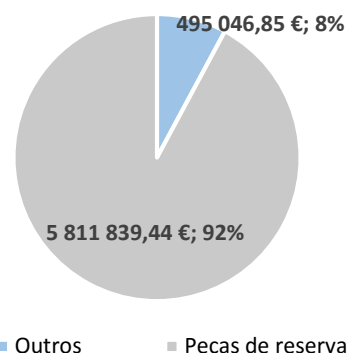


Figura 3.16- Proporção de peças de reserva (em valor de stock)

Dentro do lote das 3704 referências, 214 dizem a respeito a peças de reserva que só tiveram procura nos meses referentes às grandes paragens de manutenção que ocorreram na central de Sines, nos períodos referidos secção 3.4, sobrando 3490 referências que tanto podem ser consumidas nas paragens de manutenção como em todos os restantes meses de procura.

De modo a selecionar os materiais considerados interessantes para o estudo e separando daqueles que devem ser excluídos da análise, utilizar-se-á esta caracterização dos materiais da central termoelétrica de Sines como um processo de triagem ou seleção constituído por 6 fases, como está retratado no gráfico da figura 3.17.

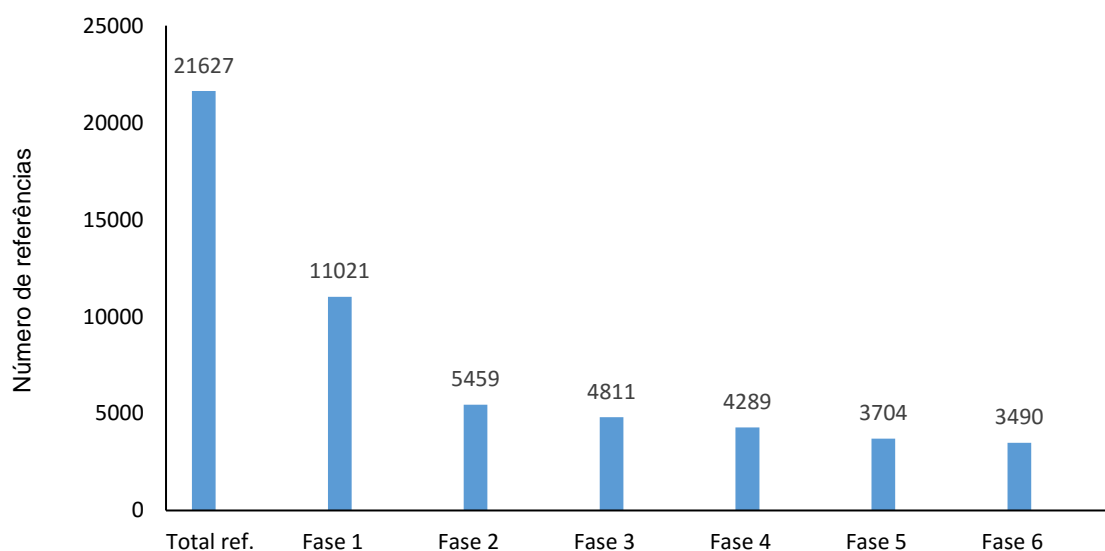


Figura 3.17 - Número de referências de material selecionadas após cada fase

Assim, é tendo como base as 3490 referências de peças de reserva selecionadas, que resultaram da triagem, que o restante estudo irá ser desenvolvido, pois são as que reúnem as características essenciais e suficientes para o desenvolvimento da análise, segundo a metodologia definida na secção 1.5.

3.6. Indicadores de Desempenho na Gestão de Stocks da EDP

De forma a desenvolver-se o *dashboard* pretendido, como abordado no capítulo 1, foi necessário recolher toda a informação relativa aos indicadores de desempenho atualmente praticados. Neste sentido, nos armazéns das centrais a cargo da EDP, utilizam-se os seguintes indicadores para avaliar e comparar a gestão de *stocks* e planeamento de aprovisionamentos nas diferentes centrais (tabela 3.5):

Tabela 3.5- Indicadores de desempenho atualmente utilizados na gestão de *stocks* da EDP

Indicador de Desempenho	Unidade de medição	Descrição
Valor das existências	€	Valor total de materiais em <i>stock</i> .
Índice de cobertura	Temporal (meses)	É o quociente (em meses) entre o valor das existências do período e a média da procura nos últimos 12 meses. Este indicador indica o tempo, em meses, de duração média dos materiais em armazém, para fazer face à procura futura.
Número de documentos emitidos	-	Número total de movimentos de materiais em armazéns (nomeadamente entradas, saídas, transferências, abates, entre outros).
Materiais inventariados	%	Corresponde à proporção de referências de material inventariadas num determinado período.
Materiais por inventariar	%	Corresponde à proporção de referências de material que ficaram por inventariar num determinado período.
Cumprimento do inventário anual	%	Corresponde à proporção anual de referências de material inventariadas no total de referências de material existentes em <i>stock</i> .
Número de movimentos em armazém	-	Corresponde ao número total de movimentos de materiais efetuados pelo armazém (entradas, saídas, transferências, estornos e devoluções).
Valor da procura	€	Valor da procura, em euros, de materiais em armazém, incluindo materiais em <i>stocks</i> com destino a projetos.
Número de diferenças regularizadas	-	Corresponde à diferença entre o nível de <i>stock</i> físico e a informação do nível de <i>stock</i> que está disponibilizada no sistema.
Valor de diferenças regularizadas	€	Mede o valor da diferença entre o nível de <i>stock</i> físico e a informação do nível de <i>stock</i> que está disponibilizada no sistema.
Valor dos obsoletos	€	Corresponde ao valor dos materiais em <i>stock</i> classificados como obsoletos (materiais sem registo de procura desde 2005)
Valor de fração de obsoletos	%	Mede, em valor, a percentagem de material obsoleto no total de existências.
Cumprimento do prazo de entrega pelo fornecedor	%	Comparação de prazo de entrega real com o previsto e registado em SAP
<i>Service Level Agreement</i> (SLA) de conformidade de encomendas	%	Representa uma medida de satisfação da transformação de Requisições de Compra em encomendas.

3.7. Síntese do Capítulo

A EDP Valor constitui a unidade de serviços partilhados do grupo, responsável pelo desenvolvimento dos processos de suporte à gestão, cuja “centralização e gestão visam a redução de custos e a criação de valor”. A prestação de serviços de suporte desenvolvida pela

EDP Valor abrange um conjunto alargado de clientes, constituído maioritariamente por empresas participadas pela EDP e com atuação em Portugal, como é o caso da EDP Produção.

O DSCL responsabiliza-se por gerir as operações e atividades logísticas do Grupo EDP, entre elas a gestão de *stocks*. A estrutura organizativa do DSCL é dividida em três áreas: Área de Logística; Área de Serviços e Controlo de Gestão. Dentro da área de logística fazem parte três unidades operativas: Coordenação Logística; Materiais Distribuição (que se encarrega de gerir os materiais da empresa EDP Distribuição); e Materiais Geração (que se encarrega de gerir os materiais da empresa EDP Produção).

A unidade operativa de Materiais Geração caracteriza-se pela gestão de materiais de geração (térmica, hídrica e renovável) e tem como objetivo gerir os níveis de *stock* dos diferentes materiais, de forma a garantir a disponibilidade atempada dos mesmos em qualidade e quantidade, assegurando a continuidade das operações e dos planos de manutenção. É dentro desta última unidade operativa que a dissertação se insere, mais concretamente na Geração Térmica, de onde faz parte a central termoelétrica de Sines da EDP Produção.

Em 2014, 94% da produção do parque termoelétrico do Grupo EDP em Regime Ordinário, correspondeu à produção líquida da central de Sines. Juntando a isto os factos de englobar cerca de 21 627 referências de materiais (representando 25% do total gerido) e de obter um maior índice de rotação, conclui-se que a gestão da central termoelétrica de Sines, que tem o carvão como fonte energética primária, é a mais complexa e urgente comparativamente às restantes. Portanto, a focalização do tema da dissertação na melhoria do seu desempenho, no que toca à gestão de *stocks*, é essencial para o Grupo EDP.

Caracterizou-se, ainda, a plataforma de planeamento de recursos SAP, que utiliza o planeamento MRP para gerar encomendas planeadas, e a gestão de materiais que se realiza atualmente na central termoelétrica de Sines, fazendo uso de uma política de gestão de *stocks* (s, S) nos materiais com tipo de MRP V1. Os valores dos parâmetros atualmente em sistema são definidos com uma elevada subjetividade, tendo como base a experiência e análise individual do gestor de *stocks*, o conhecimento da criticidade, do Prazo de Entrega Previsto (PEP), do histórico da procura e do seu valor, não havendo, portanto, nenhum modelo ou base estruturada para gerar os parâmetros para cada material.

De modo a selecionar os materiais considerados interessantes, por reunirem todas as características essenciais ao estudo, e separando daqueles que devem ser excluídos da análise, efetuou-se um processo de seleção constituído por 6 fases, resultando num total de 3490 referências de peças de reserva que servirão de base para o estudo.

Por fim, com vista ao desenvolvimento do *dashboard* de indicadores de desempenho, listaram-se e descreveram-se os 14 indicadores de desempenho atualmente usados na gestão de *stocks* e planeamento dos aprovisionamentos da EDP Produção.

4. Métodos de Previsão e Modelos de Gestão de *Stocks* Implementados

O estudo da melhoria da eficiência na gestão de *stocks* de peças de reserva do armazém da central termoelétrica de Sines assenta na metodologia descrita na secção 1.5. Esta metodologia envolve o teste de diversos métodos de previsão e modelos de gestão de *stocks* referenciados na literatura. Para além da descrição de cada um, é também apresentada a estrutura de aplicação que sustenta a implementação dos métodos e modelos selecionados e a notação utilizada, tanto para a previsão da procura como para a estimativa dos parâmetros de gestão de *stocks*. Por fim, são definidos, não só, os indicadores de desempenho a utilizar na avaliação da previsão e da gestão de *stocks*, como também os níveis de serviço que cada peça de reserva exige, de acordo com a sua importância.

4.1 – Métodos de Previsão da Procura

Como referido no capítulo 2, para além dos pressupostos dos modelos de gestão de *stocks* relacionados com o ajuste dos dados a distribuições de probabilidade, estes partem ainda de uma estimativa ou previsão da procura. Esta estimativa, nuns modelos, é obtida a partir da aplicação de um qualquer método de previsão e, noutros modelos, a partir da aplicação de um método de previsão específico, tal como mencionado na secção 2.7.2 (ver tabela 2.1).

Os métodos de previsão são determinantes para o cálculo do valor dos parâmetros de gestão de *stocks* mais adequados segundo uma determinada política, pois fornecem uma estimativa das necessidades de peças de reserva para um determinado intervalo de tempo. Na secção 2.6 foram identificados os métodos de previsão associados a peças de reserva referenciados na literatura, optando-se por seleccionar aqueles que permitem uma simplificação do processo de previsão, devido à sua facilidade de utilização, e um adequado nível de resposta à procura de peças de reserva, características que estão na base de uma boa previsão (ver secção 2.6). Esta seleção é, então, formada pelos seguintes métodos que serão implementados e testados no capítulo 5:

- Método Alisamento Exponencial Simples (AES)
- Método de Croston Original
- Método de Croston Modificado - SBA
- Método TSB

É de referir que três destes métodos são incluídos no estudo pelo facto de serem desenvolvidos com o objetivo de responder ao ritmo lento da procura das peças de reserva existente no armazém da central termoelétrica de Sines, sendo eles o Croston original, o Croston Modificado – SBA e o TSB. Já o AES é incluído no estudo pois, tal como Teunter *et al.* (2011) apontam,

Capítulo 4– Métodos de Previsão e Modelos de Gestão de Stocks Implementados

pode responder de forma adequada a situações em que haja obsolescência ou diminuição repentina da procura.

Representando t um determinado período (mês), a notação a ser utilizada na aplicação dos métodos de previsão selecionados é a seguinte:

IEP'_0 representa a estimativa inicial do valor do Intervalo de tempo Entre Procuras, fundamental no processo de inicialização dos métodos de Croston original e Croston modificado - SBA.

IEP'_t representa a estimativa da média do Intervalo de tempo Entre Procuras em t .

IEP_t representa o Intervalo de tempo Entre as duas últimas Procuras que se verifica em t .

n representa o número de meses que constitui a amostra de dados em análise.

p representa a probabilidade de ocorrência de procura com base no histórico.

p_t representa o indicador de ocorrência de procura para o mês t , sendo igual a 1 quando ocorre procura no mês t e igual a 0, caso contrário.

p'_0 representa a estimativa inicial da probabilidade de ocorrência de procura, fundamental no processo de inicialização do método TSB de previsão.

p'_t representa a estimativa de probabilidade da ocorrência de procura para o mês t .

T representa o número de meses com procura positiva nos n meses de histórico.

y_t representa a procura de uma peça de reserva no mês t .

y'_0 representa a estimativa inicial da procura média, fundamental no processo de inicialização dos métodos de previsão.

y'_t representa a estimativa da procura média por período feita no mês t para o mês $t+1$.

z'_0 representa a estimativa inicial da quantidade de procura (quando ela existe) de uma peça de reserva no mês t , fundamental no processo de inicialização dos métodos de previsão.

z_t representa a estimativa da quantidade de procura (quando ela existe) de uma peça de reserva no mês t .

α e β representam constantes de alisamento com valores compreendidos entre 0 e 1.

Os métodos de previsão selecionados são métodos de alisamento, pelo que implicam a definição de constantes de alisamento (α e β) e de valores de inicialização.

A constante de alisamento reflete o peso atribuído aos dados de procura mais recentes ou, por outras palavras, regula a influência que o erro tem na previsão: um valor reduzido torna a previsão pouco reativa, sendo favorável quando a procura é estável e o histórico mais antigo é relevante; por outro lado, um valor elevado da constante de alisamento dá ênfase aos dados mais recentes, sendo a previsão melhor ajustada quando existem alterações bruscas de comportamento da procura, ou seja, o alisamento é menor. Assim, devem ser adotados diferentes valores de constantes de alisamento para diferentes padrões ou tipos de procura.

4.1.1. Método do Alisamento Exponencial Simples

O Alisamento Exponencial Simples (AES) é o único método de previsão clássico entre os quatro selecionados e foi descrito resumidamente na secção 2.6. No caso de séries cronológicas em que a maioria dos valores é diferente de zero, este método consegue proporcionar grande precisão nas previsões, uma vez que permite ajustar diferentes efeitos de tendência e sazonalidade (Santos, 2011). Makridakis & Hibon (1991) consideram-no muito robusto e de fácil utilização, envolve apenas uma constante (α), consistindo na atribuição de pesos exponencialmente decrescentes às observações mais antigas, atualizando as estimativas em todos os períodos (t) quer ocorra ou não procura no período.

Segundo Silver *et al.* (1998), para o AES os valores mais adequados de α são entre 0,1 e 0,3 quando as previsões são feitas mensalmente (como é o caso).

No método de AES a previsão é atualizada no final de cada período de acordo com a equação 3:

$$y'_t = y'_{t-1} + \alpha(y_t - y'_{t-1}) \quad (3)$$

O AES como método de previsão de procura intermitente permite várias conclusões. Croston (1972) apresenta e discute as falhas deste método (descritas na secção 2.6) quando aplicado a materiais cuja procura é intermitente (como se observa na maioria das peças de reserva da central termoelétrica de Sines), pelo facto de ser impossível obter separadamente as estimativas da probabilidade de ocorrência da procura e da quantidade da procura (quando ela existe), fatores de extrema importância na gestão de *stocks* de peças de reserva. Já Boylan & Johnson (1996) consideram o AES adequado quando o Intervalo médio Entre Procuras é inferior a 1,25 meses.

4.1.2. Método de Croston Original

No método de Croston original (Croston, 1972), apresentado na secção 2.6, são considerados os valores da procura, quando ela existe, e do intervalo entre procuras. Este método, sendo determinístico, usa dados históricos e as séries temporais são divididas e previstas nos seus elementos constituintes: o Intervalo de tempo que medeia Entre Procuras consecutivas (IEP_t) e a quantidade de procura individual não nula, z_t . No período t , se não ocorre procura ($p_t = 0$) então as estimativas das variáveis z'_t e IEP'_t permanecem inalteradas (equações 4 e 5) e apenas se verifica um incremento na contagem do período de tempo desde a última procura sem atualização.

$$z'_t = z'_{t-1} \quad (4)$$

$$IEP'_t = IEP'_{t-1} \quad (5)$$

Sempre que existe procura ($p_t = 1$), as previsões z'_t e IEP'_t são atualizadas através das equações 6 e 7 sob a forma de um alisamento.

$$z'_t = z'_{t-1} + \alpha(y_t - z'_{t-1}) \quad (6)$$

$$IEP'_t = IEP'_{t-1} + \alpha(IEP_t - IEP'_{t-1}) \quad (7)$$

A previsão da procura para um dado período de tempo t (y'_t) é dada pela equação 8.

$$y'_t = \frac{z'_t}{IEP'_t} \quad (8)$$

4.1.3. Método de Croston Modificado – SBA

Com base no método de Croston original, o método de Croston Modificado – SBA, proposto por Syntetos & Boylan (2001) e descrito na secção 2.6, usa um fator de correção $(1 - \frac{\alpha}{2})$ na estimativa da procura média por unidade de tempo proposta por Croston (1972), com o objetivo de reduzir o enviesamento associado. A previsão da procura para um dado período de tempo t é determinado pela equação 9.

$$y'_t = (1 - \frac{\alpha}{2}) \times \frac{z'_t}{IEP'_t} \quad (9)$$

4.1.4. Método TSB

O método TSB, proposto por Teunter, Syntetos & Babai (2011) e descrito na secção 2.6, atualiza a probabilidade de ocorrência de procura p'_t , enquanto o método de Croston atualiza a estimativa do IEP'_t . Assim, a probabilidade de ocorrência da procura pode ser atualizada em todos os períodos, ao contrário dos Intervalos Entre Procuras, que apenas podem ser atualizados depois da ocorrência de uma procura positiva. Para além disso, usando a probabilidade de ocorrência de procura é possível eliminar o enviesamento da previsão quando se considera um instante arbitrário no tempo. O método usa ainda constantes de alisamento diferentes para o valor da quantidade da procura (quando ela existe) e respetiva probabilidade, tornando-se mais flexível. Desta forma, o método TSB lida bem com a obsolescência de milhares de peças de reserva de movimento lento sendo as previsões de z'_t e p'_t efetuadas, respetivamente, de acordo com as equações 4 e 10 quando $p_t = 0$ e de acordo com as equações 6 e 10, caso contrário.

$$p'_t = (1 - \beta)p'_{t-1} + \beta p_t \quad (10)$$

Por fim, a previsão da procura para um dado período de tempo é determinada (equação 11).

$$y'_t = p'_t \times z'_t \quad (11)$$

Em todos os métodos descritos é fundamental obter-se o valor de previsão para os períodos da amostra de validação, y'_t , pois é com base nesses valores de procura esperada que os modelos de gestão de *stocks* são aplicados.

4.1.5. Indicadores de Desempenho, Inicialização e Constantes de Alisamento

Para uma análise e comparação destes métodos de previsão podem ser utilizadas as medidas de erro mais referenciadas na literatura e já abordadas na secção 2.6, nomeadamente o Erro Absoluto Médio (EAM), que mede o enviesamento do método, e o Erro Quadrático Médio (EQM) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), que estimam a variância do mesmo (Velagić, 2012). A principal diferença entre o EAM e as duas últimas prende-se com a importância que dão aos erros de maiores dimensões. O EAM atribui pesos iguais a todos os erros, enquanto que o EQM e a REQM atribuem pesos exponencialmente superiores aos erros maiores (Carvalho *et al.*, 2012). Sendo n o número de instantes para os quais se apura o erro de previsão e e_t o erro de previsão no instante t (equação 12), as medidas de erro são determinadas através das equações 13 a 15.

$$e_t = y_t - y'_t \quad (12)$$

$$EAM = \frac{\sum |e_t|}{n} \quad (13)$$

$$EQM = \frac{\sum e_t^2}{n} \quad (14)$$

$$REQM = \sqrt{EQM} \quad (15)$$

Devido ao facto de a REQM ser mais utilizado na literatura do que o EQM (Hyndman & Koehler, 2006), optou-se por analisar a aplicação dos diferentes métodos de previsão a partir de apenas duas medidas de erro, o EAM e a REQM. Para além disso, cada método de previsão é parametrizado com base na amostra de ajustamento e considerando um valor da constante de alisamento α , optando-se, ainda, por minimizá-la a partir da medida de erro REQM, que reduz os erros quadráticos médios e é mais útil quando os erros mais elevados são particularmente indesejáveis, como é o caso. Para além disso, adapta-se bem ao contexto de procura intermitente (Velagić, 2012).

Chase (2009) defende que um modelo de previsão de procura pode ajustar-se muito bem aos dados históricos, apresentando medidas de erro quase nulas mas efetuar uma má previsão do valor atual. No sentido de contornar este facto, o autor propõe que se divida a procura histórica num conjunto de modelação inicial denominado de amostra de ajustamento (*in-sample dataset*) e num conjunto de dados teste denominado de amostra de validação (*out-of-sample data*). No primeiro conjunto estimam-se os parâmetros incluindo constantes de alisamento e inicializa-se o método, enquanto que no segundo se medem os erros de previsão. Deste modo o conjunto de dados teste não é usado no ajustamento da inicialização, fazendo com que as previsões sejam projeções atuais criadas sem usar os valores das observações (Chase, 2009).

Os métodos de previsão selecionados partilham o facto de serem recursivos e, como tal, necessitam de valores iniciais para dar início ao processo de previsão. O cálculo destes valores de inicialização pode ser feito a partir de diversos métodos (Gardner, 1985). Segundo Velagić

(2012), os valores de inicialização do processo de previsão para os métodos considerados são dados pelas equações 16 a 19.

$$y'_0 = \frac{1}{n} \sum_1^n y_t \quad (16)$$

$$IEP'_0 = \frac{n}{|T|} \quad (17)$$

$$p'_0 = \frac{|T|}{n} \quad (18)$$

$$z'_0 = \frac{1}{|T|} \sum_{t \in T} y_t \quad (19)$$

Teunter *et al.* (2011) propõem duas formas de escolher o valor da constante de alisamento α sem conhecer o processo de procura:

- Processo heurístico baseado em dados históricos. Esta opção é de difícil aplicação no caso de procura intermitente, devido à existência de numerosos valores históricos nulos;
- Uso de valores fixos para as constantes com base em conclusões de estudos realizados por investigadores no âmbito destes métodos de previsão, sendo que o intervalo de valores recomendado para a constante de alisamento α situa-se entre 0,05 e 0,2.

De forma a aplicar o método TSB, e se atingir uma redução da variância em relação ao método de Croston, Teunter *et al.* (2011) propõem, ainda, que seja respeitada a seguinte condição na determinação da constante de alisamento β , função da constante de alisamento α e da probabilidade de ocorrência de procura com base no histórico (p) (inequação 20):

$$\beta \leq \frac{2 \times p \times \alpha}{2 - \alpha(1-p)} \quad (20)$$

4.2. Modelos de Gestão de Stocks

Depois de efetuada a revisão bibliográfica dos modelos de gestão de *stocks* existentes (secção 2.7.2 e tabela 2.1), o anexo A apresenta uma proposta de metodologia de gestão de *stocks* que se pode aplicar num qualquer armazém de manutenção com gestão de peças de reserva. Esta proposta é apresentada num fluxograma, segundo certos requisitos ou pressupostos em função do tipo de distribuição a que os dados se ajustam relativamente ao comportamento da procura, prazo de entrega, à procura durante o prazo de entrega e ao intervalo de tempo entre procuras. É de referir que quantos mais requisitos ou pressupostos o modelo de gestão de *stocks* respeitar mais específico se torna na gestão das peças de reserva e mais eficiente é a sua implementação, resultando numa melhor obtenção dos parâmetros de gestão de *stocks* mais adequados, ou seja, maior é o poder do modelo. O anexo A é, portanto, um auxílio na tomada de decisão da seleção do melhor modelo de gestão de *stocks* a ser aplicado consoante as características de cada peça de reserva. Alguns modelos partem ainda da aplicação de métodos de previsão específicos.

Tendo em conta que as peças de reserva existentes no armazém de Sines são numerosas e apresentam características bem distintas umas das outras, numa ótica de simplificação do processo de geração dos parâmetros optou-se por adequar modelos heurísticos que se caracterizam, fundamentalmente, por não terem qualquer requisito de aplicação (ver tabela 2.1 e anexo A). Os modelos heurísticos, apresentados na secção 2.7.2, utilizam uma política de gestão de *stocks* do tipo (s, s) ou (T, s, S) e, de facto, a gestão de *stocks* referente a padrões de procura maioritariamente intermitentes é feita tipicamente por políticas destes tipos (Silver *et al.*, 1998), tendo sido provada tanto teoricamente, como em simulações de dados reais, como em casos de estudo a sua adaptabilidade na geração dos parâmetros mais adequados em termos de minimização de custos (Babai, *et al.*, 2010).

Para além disso, devido à dificuldade em calcular parâmetros de gestão de *stocks* ótimos e da possibilidade da procura de peças de reserva do armazém não se ajustar às distribuições estatísticas destinadas a peças de reserva e referenciadas na secção 2.6, o recurso a modelos heurísticos parece ser a opção mais adequada em termos de versatilidade e capacidade de adaptação ao universo de referências de peças de reserva existentes, que, na sua maioria, apresenta um índice de rotação reduzido.

Assim, para além da aplicação dos modelos clássicos que permitem comparar e validar resultados, opta-se por aplicar e testar três modelos heurísticos reconhecidos na literatura para gerir este tipo de materiais: i) o modelo heurístico de Naddor; ii) o modelo heurístico *Power Approximation*; e iii) o modelo heurístico *Normal Approximation*. Estes modelos heurísticos permitem calcular valores aproximados dos parâmetros de gestão de *stocks* relativamente à política (T, s, S) no caso do modelo heurístico de Naddor, e relativamente à política (s, S) nos restantes. Sani & Kingman (1997) realizaram um estudo comparativo destes modelos heurísticos e recomendaram a utilização de qualquer um deles neste tipo de *stock*, uma vez que a diferença de desempenho entre eles é pequena.

Verifica-se que mais recentemente tem aparecido na literatura a integração da previsão da procura com a geração de parâmetros de gestão de *stocks* (Babai, Synetos & Teunter, 2010, 2014), estando incluídas na notação dos modelos de gestão de *stocks* algumas variáveis comuns às dos métodos de previsão apresentadas na secção 4.1. Utiliza-se, então, a seguinte notação nos sistemas clássicos de revisão contínua e periódica e nos modelos heurísticos propostos:

- μ_D representa o valor médio da procura histórica.
- $\mu_{D(L+1)}$ e $\sigma_{D(L+1)}$ representam a média e o desvio padrão da procura ao longo de L+1 períodos, respetivamente.
- μ_{DL} representa o valor médio da procura durante o prazo de entrega.
- c representa o custo unitário de compra de uma determinada peça de reserva.
- C_a representa o custo fixo de aprovisionamento.
- C_d representa o custo de diferimento ou de rutura de *stock* de uma peça de reserva durante um mês.

Capítulo 4– Métodos de Previsão e Modelos de Gestão de Stocks Implementados

C_p	representa o custo de posse de uma peça de reserva durante um mês.
D_L	representa a procura durante o prazo de entrega.
D_{L+T}	representa a procura durante o prazo de entrega e o intervalo de tempo entre revisões de <i>stock</i> .
EQM_0	representa a inicialização do processo de cálculo de σ_t (equação 14).
$I_N(.)$	representa a <i>standardized normal loss integral</i> ou função de perda da distribuição Normal padrão.
i	representa a taxa de custo de posse.
L	representa a média do prazo de entrega.
$P(0)$	representa a probabilidade de não ocorrência de procura (procura nula) por unidade de tempo.
Q	representa a quantidade de encomenda de peças de reserva de uma dada referência.
qd'	representa a quantidade média diferida esperada de peças de reserva de uma dada referência.
Q_{seg}	representa a quantidade de segurança de peças de reserva de uma dada referência.
R_N	representa uma variável auxiliar, traduzida num rácio característico do modelo heurístico <i>Normal Approximation</i>
s	representa o ponto de encomenda de uma determinada referência de peça de reserva.
s_p	representa uma variável auxiliar utilizada no cálculo de s e S e característica do modelo heurístico <i>Power Approximation</i> .
S_0	representa uma variável auxiliar utilizada no cálculo de s e S e característica do modelo heurístico <i>Power Approximation</i> .
S	representa o nível de <i>stock</i> máximo de uma determinada referência de peça de reserva.
T	representa a periodicidade de revisão do <i>stock</i> .
u	representa a unidade de medida da quantidade da procura (característica do modelo heurístico de Naddor).
y_t	representa a procura histórica de uma peça de reserva no mês t .
y'_t	representa a estimativa da procura média por período feita no mês t para o mês $t+1$ (obtida na fase de previsão).
\bar{y}	representa a média da procura ao longo do período $L+t$.
w	representa a unidade de tempo do período analisado (característica do modelo heurístico de Naddor).
Z	representa uma variável auxiliar, traduzida num rácio característico do modelo heurístico <i>Power Approximation</i> .
α	representa uma constante de alisamento com valores compreendidos entre 0 e 1.

λ	representa o nível de serviço, onde $(1 - \lambda)$ representa a probabilidade de rutura.
σ_D	representa o desvio padrão da procura.
σ_{DL}	representa o desvio padrão da procura durante o prazo de entrega.
σ_L	representa o desvio padrão do prazo de entrega
σ_t	representa o desvio padrão da procura por período de tempo (obtido na fase de previsão).
σ_y	representa o desvio padrão da procura ao longo do período $L+t$.
$\Phi(.)$	representa a função densidade de probabilidade de uma variável.
$\Psi(.)$	representa a função de probabilidade acumulada da distribuição Normal padrão.
$\Psi^{-1}(\lambda)$	representa a função inversa do nível de serviço ou fator de segurança e é retirado da tabela da distribuição Normal em função do nível de serviço.

As variáveis σ_t , $\mu_{D(L+1)}$, $\sigma_{D(L+1)}$, $P(0)$, C_p e λ são obtidas pelas equações 21, 22, 23, 24, 25 e 26, respetivamente.

$$\sigma_t = EQM_t = \alpha(y'_t - y_t)^2 + (1 - \alpha) \times EQM_{t-1} \quad (21)$$

$$\mu_{D(L+1)} = y'_t \times (L + 1) \quad (22)$$

$$\sigma_{D(L+1)} = \sigma_t \times \sqrt{L + 1} \quad (23)$$

$$P(0) = \frac{\text{Número de períodos com procura nula}}{\text{Número de períodos em estudo}} \quad (24)$$

$$C_p = i \times c \quad (25)$$

$$\lambda = \frac{C_d}{C_d + C_p} \quad (26)$$

Seguidamente, apresentam-se os passos necessários à resolução de cada um dos modelos de gestão de *stocks* propostos, iniciando-se pelos modelos clássicos, que são a base de formulação dos restantes.

4.2.1. Modelo Clássico de Revisão Contínua

O modelo clássico de Revisão Contínua (Carvalho *et al.*, 2012), tal como já foi introduzido na secção 2.7.1, estabelece a necessidade de ser encomendada uma determinada quantidade de encomenda (Q) quando o *stock* atinge o valor do ponto de encomenda (s), existindo, por isso, uma monitorização constante (contínua) do nível de *stock*.

Como, no presente caso de estudo, a procura e o prazo de entrega são variáveis aleatórias, existe probabilidade de rutura de *stock*. Se se dividir o ciclo de encomenda em duas partes (quando a quantidade em *stock* é superior ao ponto de encomenda e quando a quantidade em *stock* é inferior ao ponto de encomenda), a probabilidade de rutura só existe na segunda parte do ciclo, que corresponde ao prazo de entrega do fornecedor. Assim, estas ruturas ocorrem

apenas quando a procura durante o prazo de entrega (D_L) do fornecedor for superior ao ponto de encomenda (s) (equação 27):

$$P(D_L > s) = 1 - \lambda \quad (27)$$

Os parâmetros que caracterizam este modelo (Q e s) são obtidos usando as equações 28 a 32. Assim, neste modelo a quantidade de encomenda (Q) é fixa (equação 28), mas a periodicidade de revisão do *stock* (T) é variável e dependente do ritmo da procura no período entre encomendas.

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times \mu_D \times C_a}{C_p}} \quad (28)$$

O ponto de encomenda (s) (equação 29) é calculado em função da procura média durante o prazo de entrega, μ_{DL} (equação 30) e do *stock* de segurança, Q_{seg} (equação 31). Q_{seg} é calculado com base num nível de serviço pré-definido λ e no desvio padrão da procura durante o prazo de entrega, σ_{DL} (equação 32), de forma a evitar possíveis variações da procura durante o prazo de entrega.

$$s = \mu_{DL} + Q_{seg} \quad (29)$$

$$\mu_{DL} = L \times \mu_D \quad (30)$$

$$Q_{seg} = \Psi^{-1}(\lambda) \times \sigma_{DL} \quad (31)$$

$$\sigma_{DL} = \sqrt{(L \times \sigma_D^2) + (\mu_D^2 \times \sigma_L^2)} \quad (32)$$

Esta caracterização do modelo clássico de Revisão Contínua é complementada pela figura 4.1, em que quando o nível de *stock* atinge o ponto de encomenda (s) é realizada uma encomenda de quantidade fixa Q com um certo prazo de entrega associado. O nível de *stock* máximo (S) e o período entre encomendas (T) são variáveis e o maior ou menor consumo (estocástico) do *stock* de segurança (Q_{seg}) dita a probabilidade a rutura que possa resultar.

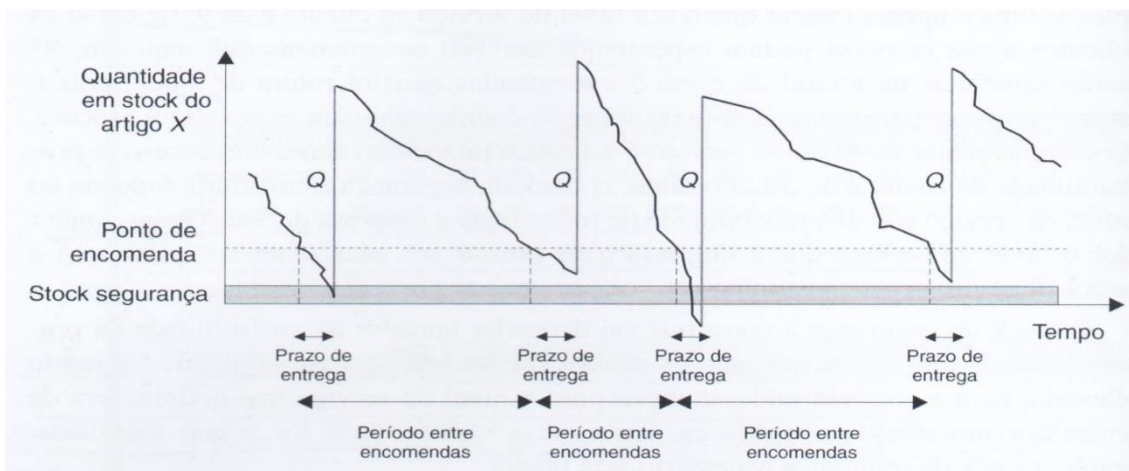


Figura 4.1- Modelo clássico de Revisão Contínua

Retirado de: Carvalho *et al.* (2012)

4.2.2. Modelo Clássico de Revisão Periódica

O modelo clássico de Revisão Periódica (Carvalho *et al.*, 2012) foi introduzido na secção 2.7.1 e tem por base determinar o nível de *stock* máximo (S) e a periodicidade de revisão do *stock* (T). Neste modelo T é fixo, enquanto que a quantidade a encomendar (Q) é variável e dependente da procura durante o tempo entre revisões. T pode ser imposto pelo fornecedor ou negociada com o mesmo. Neste último caso, T deve ser o mais próximo possível do obtido pela equação 33 pois, apesar de existir o fator aleatório neste modelo, a sua utilização será uma boa aproximação.

$$T = \sqrt{\frac{2 \times C_a}{C_p \times \mu_D}} \quad (33)$$

Neste modelo existe rutura quando a procura durante o período de tempo resultante da soma do período entre revisões e do prazo de entrega (D_{L+T}) for superior ao nível de *stock* máximo ou *stock* alvo (S) fixo e previamente definido (equação 34).

$$P(D_{L+T} > S) = 1 - \lambda \quad (34)$$

Para lidar com as aleatoriedades da procura e do prazo de entrega, e com base no nível de serviço λ que se pretende prestar e no desvio padrão da procura durante o período resultante da soma do prazo de entrega e do período entre revisões ($\sigma_{D(L+T)}$) (equação 35), é constituído um *stock* de segurança (Q_{seg}) (equação 36).

$$\sigma_{D(L+T)} = \sqrt{(L + T) \times \sigma_D^2 + (\mu_D^2 \times \sigma_L^2)} \quad (35)$$

$$Q_{seg} = \Psi^{-1}(\lambda) \times \sigma_{D(L+T)} \quad (36)$$

Depois de obtidos os valores da média da procura histórica (μ_D) e da média da procura durante o período resultante da soma do período entre revisões e do prazo de entrega ($\mu_{D(L+T)}$) (equação 37), os parâmetros que caracterizam o modelo (T e S) são obtidos usando as equações 33 e 38.

$$\mu_{D(L+T)} = (L + T) \times \mu_D \quad (37)$$

$$S = \mu_{D(L+T)} + Q_{seg} \quad (38)$$

Esta caracterização do modelo clássico de Revisão Periódica é complementada pela figura 4.2, em que de T em T períodos é realizada uma encomenda de quantidade variável Q de modo a repor o nível de *stock* no seu valor máximo definido ou *stock* alvo (S).

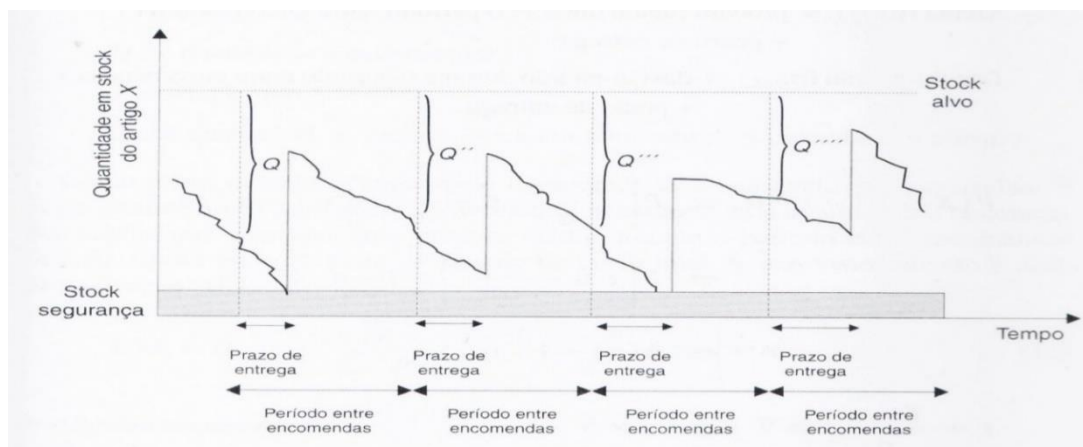


Figura 4.2- Modelo clássico de Revisão Periódica

Retirado de: Carvalho *et al.* (2012)

4.2.3. Modelo Heurístico *Normal Approximation*

O modelo heurístico *Normal Approximation*, introduzido na secção 2.7.2, foi desenvolvido por Wagner (1975) e baseia-se na política de gestão de stocks (s, S). Este modelo heurístico simplifica o algoritmo ótimo desenvolvido por Veinott & Wagner (1965) ao assumir que o comportamento da procura se aproxima de uma distribuição Normal (Babai, Syntetos & Teunter, 2010). A desvantagem deste modelo heurístico surge quando o comportamento da procura se afasta da distribuição Normal. A vantagem consiste no facto de não ser necessário apurar a exata distribuição da procura (Babai *et al.*, 2010). A aplicação do modelo heurístico envolve 6 passos, nomeadamente:

Passo 1.1: Cálculo da quantidade de encomenda (equação 39).

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times C_a \times y'_t}{C_p}} \quad (39)$$

Passo 1.2: Cálculo da variável auxiliar R_N (equação 40), de modo a dar início a um processo iterativo ditado no passo 1.3.

$$R_N = \frac{C_p \times Q}{C_d \times \sigma_{D(L+1)}} \quad (40)$$

Passo 1.3: Encontrar valor de μ_s , tal que $\ln(\mu_s) = R_N$

Passo 1.4: Se $y'_t < 0,8888 \frac{C_a}{C_p}$, então, determinar s e S (equações 41 e 42).

$$s = \mu_{D(L+1)} + \mu_s \times \sigma_{D(L+1)} \quad (41)$$

$$S = s + Q \quad (42)$$

Caso contrário, ir para o passo 1.5.

Passo 1.5: Determinar o valor de v_s , tal que $\Psi(v_s) = \lambda$

Passo 1.6: Determinar o valor mínimo entre μ_s e v_s (equação 43) e determinar o ponto de encomenda (s) (equação 44) e o nível de *stock* máximo (S) (equação 45).

$$\omega_s = \min \{\mu_s, v_s\} \quad (43)$$

$$s = u_{D(L+1)} + \omega_s \times \sigma_{D(L+1)} \quad (44)$$

$$S = u_{D(L+1)} + \min\{u_s \times \sigma_{D(L+1)} + Q, v_s \times \sigma_{D(L+1)}\} \quad (45)$$

4.2.4. Modelo Heurístico *Power Approximation*

O modelo heurístico *Power Approximation*, introduzido na secção 2.7.2, foi desenvolvido por Erhardt (1979) e usa os métodos de aproximação de Roberts (1962), mas ao contrário destes, a geração dos parâmetros de gestão de *stocks*, segundo uma política (s, S), é independente do comportamento da procura, em termos de ajuste a uma determinada distribuição de probabilidade específica, requerendo a determinação do valor médio ou valor esperado da procura e da sua variância. Este modelo heurístico pode ser sintetizado nos seguintes passos:

Passo 2.1: Determinar a quantidade de encomenda (Q) (equação 46).

$$Q = 1,3 \times y'_t{}^{0,494} \times \left(\frac{C_a}{C_p}\right)^{0,506} \times \left(1 + \frac{\sigma_{D(L+1)}^2}{y'_t}\right)^{0,116} \quad (46)$$

Passo 2.2: Determinar a variável auxiliar Z a partir da equação 47.

$$Z = \sqrt{\frac{C_p \times Q}{\sigma_{D(L+1)} \times C_d}} \quad (47)$$

Passo 2.3: Determinar o valor das variáveis s_p e S_0 (equações 48 e 49).

$$s_p = 0,973 \times \mu_{D(L+1)} + \sigma_{D(L+1)} \times \left(\frac{0,183}{Z} + 1,063 - 2,192 \times Z\right) \quad (48)$$

$$S_0 = \mu_{D(L+1)} + \Psi^{-1}(\lambda) \times \sigma_{D(L+1)} \quad (49)$$

Passo 2.4: Determinar ponto de encomenda (s) e nível de *stock* máximo (S). Se $\frac{Q}{y'_t} > 1,5$, então, aplicar equações 50 e 51. Caso contrário, aplicar equações 52 e 53.

$$s = s_p \quad (50)$$

$$S = s_p + Q \quad (51)$$

$$s = \min \{s_p, S_0\} \quad (52)$$

$$S = \min \{s_p + Q, S_0\} \quad (53)$$

4.2.5. Modelo Heurístico de Naddor

O modelo heurístico de Naddor, introduzido na secção 2.7.2, foi desenvolvido por Naddor (1975) e baseia-se numa política mista de gestão de *stocks* (T, s, S) que se aplica, geralmente, a materiais com procura intermitente, mas que também se ajusta a outros tipos de procura com IEP elevado. Este modelo heurístico envolve o procedimento que se descreve de seguida.

Passo 3.1: Determinar a periodicidade de revisão do *stock* (T) (equação 54) e a quantidade de encomenda (Q) (equação 55).

$$T = \sqrt{\frac{2 \times C_a}{C_p \times y'_t \times \lambda}} \quad (54)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times C_a \times y'_t}{C_p \times \lambda}} \quad (55)$$

Passo 3.2: Determinar o fator de segurança (equação 56).

$$N = \Psi^{-1}(\lambda) \quad (56)$$

Passo 3.3: Determinar as variáveis auxiliares $\bar{Y}(T)$, $\sigma_y(T)$, $\bar{Y}(Q)$ e $\sigma_y(Q)$ (equações 57 a 60) essenciais para a determinação dos parâmetros de gestão de *stocks*.

$$\bar{y}(T) = y'_t \times \left(L + \frac{T}{2}\right) \quad (57)$$

$$\sigma_y(T) = \sqrt{\left(L + \frac{T}{3}\right) \times \sigma_t^2 + \frac{(T \times y'_t)^2}{12} + \frac{u^2 \times (1 - P(0)^T)}{6}} \quad (58)$$

$$\bar{y}(Q) = y'_t \times \left(L + \frac{w}{2}\right) + \frac{Q - u}{2} \quad (59)$$

$$\sigma_y(Q) = \sqrt{\sigma_t^2 \times \left(L + \frac{w}{3}\right) + \frac{(w \times y'_t)^2}{12} + \frac{u^2(1 - P(0)^w)}{6} + \frac{Q^2 - u^2}{12}} \quad (60)$$

Passo 3.4: Determinar o ponto de encomenda (s) (equação 61) e o nível de *stock* máximo (S) (equação 62).

$$s = \bar{y}(Q) + N \times \sigma_y(Q) - Q \quad (61)$$

$$S = \bar{y}(T) + N \times \sigma_y(T) \quad (62)$$

4.2.6. Indicadores de Desempenho e Definição de Níveis de Serviço Alvo

Depois de estimados os parâmetros de gestão de *stocks*, é necessário avaliar e comparar os resultados obtidos. Neste sentido, utilizar-se-ão indicadores de desempenho típicos de gestão de *stocks*, nomeadamente os custos envolvidos.

Um dos aspetos necessários para o desenvolvimento dos modelos heurísticos abordados assenta nos valores a considerar para os custos associados ao *stock*, que são agrupados em três categorias: i) custos de aprovisionamento; ii) custos de posse; e iii) custos de rutura.

Os custos de aprovisionamento das peças de reserva, em cada período, são obtidos pelo produto do custo fixo de aprovisionamento (C_a) e do número de encomendas realizadas de cada referência. Estes custos correspondem ao custo incorrido no processo de aprovisionamento representado na figura 3.8. Foram definidos em conjunto com os gestores de *stocks* e, apesar de o seu valor real ser muito subjetivo, este reflete bastante bem a característica mais, ou menos, conservadora de cada gestor. No ano de 2015, do número total de peças de reserva adquiridas para o armazém da central termoelétrica de Sines, cerca de 10% dizem respeito a peças não contratualizadas, isto é, peças em que o seu processo de compra não tem um contrato associado. Este é um fator importante para a estimativa do C_a , pois os aprovisionamentos destas peças de reserva implicam um maior tempo despendido, envolvendo, entre outras etapas, a seleção de fornecedores e negociação. Neste sentido, estima-se que o custo fixo de aprovisionamento destas peças seja, aproximadamente, 10 vezes maior do que o custo incorrido pelas peças contratualizadas. Portanto, considerando que 1 € é o custo fixo de aprovisionamento de peças contratualizadas, a partir da equação 63 obtém-se um custo médio que define o C_a para todas as peças de reserva.

$$C_a = (1 \times 0,9) + (10 \times 0,1) \approx 2 \text{ €} \quad (63)$$

Como o valor de C_a é uma estimativa, é efetuada uma análise de sensibilidade. Numa primeira fase foram aplicados os três modelos heurísticos às 3490 referências de peças de reserva, que resultaram da triagem efetuada na secção 3.5.3, utilizando diferentes valores de C_a (1€, 2€, 3€ e 10€). Através da média dos erros dos valores dos parâmetros (s , S) obtidos pelos modelos heurísticos (por comparação com os atuais), observa-se que o valor de C_a definido (2€) é o mais preciso relativamente à situação atual. No entanto, este é apenas um indicador de que a opção tomada pode aproximar-se do custo real de aprovisionamento.

Os custos de posse por período são calculados através da multiplicação do nível de *stock* observado pela taxa de custo de posse (i) considerada nesse período. A taxa de custo de posse é determinada com base em três fatores de extrema importância no contexto do negócio: i) o custo de armazenagem; ii) o custo de oportunidade de investimento do capital imobilizado; e iii) o custo de obsolescência (que está diretamente relacionado com a restrição do espaço de armazenagem). Como o universo EDP tem considerado um custo de oportunidade de investimento do capital imobilizado de cerca de 6% por ano, após uma reunião com os gestores de *stocks*, chegou-se à conclusão de que esta fatia representava apenas 50% dos custos de posse dos materiais, atribuindo-se, também, uma taxa de 6% por ano relativamente a custos de armazenagem e de obsolescência. Assim, na implementação dos modelos heurísticos considera-se o valor de 12% por ano, ou seja, uma taxa de custo de posse mensal (i_{mensal}) de 1%.

Os custos de rutura (C_d), são definidos com base no estudo de Teunter *et al.* (2011), isto é, em função dos custos de posse (C_p) através do rácio $\frac{C_p}{C_d}$, que traduz a probabilidade de rutura ou o complementar para 100 do nível de serviço (λ) ($\frac{C_p}{C_d} = 1 - \lambda$). Um valor elevado deste rácio implica

Capítulo 4– Métodos de Previsão e Modelos de Gestão de Stocks Implementados

que para um determinado custo de posse, o custo de rutura não tenha grande expressão. Tal como foi explicado na secção 2.3, existem peças de reserva mais importantes para o processo produtivo do que outras, tendo que ser geridas de forma eficaz e eficiente, consoante o seu valor e nível de criticidade, na medida em que a paragem de uma máquina por falta de uma dada peça de reserva pode tornar-se pouco ou muito significativa se a sua utilização for ou não for fulcral para as operações durante o tempo em que a peça está a ser abastecida.

Assim, assumem-se 3 valores para o rácio $\frac{C_p}{C_d}$ (1%, 5% ou 10%) (tabela 4.1) consoante a classificação das peças de reserva que se obtém. Esta classificação baseia-se no cruzamento dos critérios valor (classificação ABC) e criticidade (classificação VED) como abordado no capítulo 2, e que é fulcral para definir os níveis de serviço alvo (λ) para cada classe de peças de reserva (tabela 4.1), que representa uma variável fundamental na aplicação dos modelos heurísticos. Opta-se por atribuir uma maior importância à classificação de criticidade na definição deste nível de serviço pois, segundo os gestores de *stocks* e Bailey & Helms (2007), é considerado o critério mais importante na gestão de peças de reserva.

Tabela 4.1- Definição da probabilidade de rutura e nível de serviço alvo de cada peça de reserva de acordo com a classificação ABC/VED

	A		B		C	
	Probabilidade de rutura	Nível de serviço	Probabilidade de rutura	Nível de serviço	Probabilidade de rutura	Nível de serviço
V	1%	99%	1%	99%	5%	95%
E	5%	95%	5%	95%	10%	90%
D	5%	95%	10%	90%	10%	90%

Após definidos os valores de nível de serviço (λ) e probabilidade de rutura, o custo de rutura unitário de cada referência pode, então, ser calculado a partir do rácio $\frac{C_p}{C_d}$. Esta simplificação poderá conduzir ao aumento dos níveis de *stock* em algumas peças e à sub-encomenda para outras. No entanto, espera-se que a sua influência nos custos associados aos *stocks* se aproxime, quase se anulando.

De modo a serem avaliados e comparados os diferentes modelos testados, é utilizado o indicador de desempenho Potencial de Redução de Custos (PRC) (equação 64), que compara, através de uma simulação para o ano de 2015, os custos reais incorridos, caso sejam mantidos os parâmetros de gestão de *stocks* atualmente definidos no sistema, com os custos previstos incorridos, caso seja aplicado um determinado modelo.

$$PRC = \frac{\text{Custo Previsto} - \text{Custo Real}}{\text{Custo Real}} \quad (64)$$

A comparação de custos efetuada pelo PRC é realizada com os valores de custo variável anual, resultantes da soma do Custo de Aprovisionamento anual (CA), do Custo de Diferimento anual

(CD) e do Custo de Posse anual (CP). Estes custos são obtidos anualmente a partir da procura real de 2015 e das variáveis associadas a cada referência, nomeadamente o custo fixo de aprovisionamento (C_a), a taxa fixa de custo de posse mensal (i_{mensal}), o nível de serviço (λ), o custo unitário (c), o custo de rutura unitário (c_d) e o prazo de entrega (L). É de referir, ainda, que a simulação de custos inicia em janeiro de 2015 com o nível de *stock* correspondente ao nível de *stock* máximo (S) resultante de cada modelo ou com o nível de *stock* máximo (S) definido no sistema (no caso da simulação da situação atual).

4.3. Síntese do Capítulo

Ao longo deste capítulo foram apresentados os diferentes métodos de previsão e modelos de gestão de *stocks* a serem implementados no capítulo 5 como resposta aos problemas verificados na secção 1.2.

Com base na revisão bibliográfica realizada no capítulo 2, foram selecionados 4 métodos de previsão: i) AES; ii) Croston original; iii) Croston modificado – SBA e iv) TSB. Estes métodos destacam-se por englobarem as características que estão na base de uma boa previsão (secção 2.6), destacando-se a simplicidade de utilização e nível de resposta à procura de peças de reserva, com reduzido índice de rotação. Neste âmbito, descreveu-se o processo iterativo de obtenção das previsões da procura associado a cada método e apresentaram-se, ainda, as medidas de erro consideradas na avaliação da precisão dos métodos, nomeadamente o Erro Absoluto Médio (EAM) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM).

Relativamente aos modelos de gestão de *stocks*, foi apresentada uma proposta de metodologia (ver anexo A) que pode ser aplicada a qualquer armazém de manutenção que pratique uma gestão de *stocks* de peças de reserva. A proposta, apresentada num fluxograma, tem por base as conclusões obtidas na secção 2.7.2 e resumidas na tabela 2.1, e sugere qual ou quais os modelos de gestão de *stocks* que devem ser aplicados segundo os seus requisitos ou pressupostos, em função do tipo de distribuição de probabilidade a que os dados se ajustam relativamente ao comportamento da procura, prazo de entrega, à procura durante o prazo de entrega e ao intervalo de tempo entre procuras. É de referir que alguns exigem ainda a utilização de métodos de previsão específicos.

Foram selecionados os 3 modelos heurísticos a testar no capítulo 5: i) *Normal Approximation* (s , S); ii) *Power Approximation* (s , S) e iii) Naddor (T , s , S). Foram selecionados estes modelos heurísticos (de entre os apresentados na tabela 2.1 e no anexo A) devido às seguintes razões: i) não terem qualquer requisito de aplicação, já que existe a possibilidade da procura das peças de reserva não se ajustar a nenhuma das distribuições de probabilidade destinadas a peças de reserva referenciadas na secção 2.6; ii) o facto da gestão de *stocks* de padrões de procura maioritariamente intermitentes ser feita tipicamente por estas políticas (Silver *et al.*, 1998); e iii) por ter sido provada a sua adaptabilidade na geração dos parâmetros mais adequados em termos de minimização de custos (Babai, *et al.*, 2010).

Capítulo 4– Métodos de Previsão e Modelos de Gestão de Stocks Implementados

Por fim, estabeleceu-se uma estratégia para definição dos valores dos níveis de serviço a considerar para cada peça de reserva de acordo com a classificação ABC/VED, de modo a refletir a importância de cada uma para a produção, e uma estratégia de determinação dos custos associados à gestão de *stocks*, necessários para a aplicação dos modelos heurísticos, nomeadamente o custo fixo de aprovisionamento (C_a), o custo de posse unitário (C_p), de uma peça de reserva durante um mês, e o custo de rutura unitário (C_d), de uma peça de reserva durante um mês.

Os três custos associados à gestão de *stocks* definidos, juntamente com as três variáveis, nível de serviço, prazo de entrega e custo unitário de cada referência, possibilitam a realização da simulação de custos numa base anual (2015), permitindo avaliar os resultados obtidos com os parâmetros definidos pelos modelos testados relativamente aos atuais, segundo o indicador de desempenho Potencial de Redução de Custos (PRC), que permitirá tirar conclusões a partir do comportamento da procura nesse ano.

5. Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

Neste capítulo da dissertação apresenta-se a resolução do problema descrito na secção 1.2. Para tal, com base no estudo do armazém da central termoelétrica de Sines e na metodologia de estudo proposta na secção 1.5 são aplicados e testados os métodos de previsão e modelos de gestão de *stocks*, descritos no capítulo 4. A resolução do caso de estudo é apresentada e discutida, é caracterizado o processo de obtenção dos resultados e apresentados os pressupostos associados.

Apesar da base de estudo englobar uma amostra de 3490 referências de peças de reserva, pretende-se, no futuro, aplicar este estudo ao total de referências (21 627) existentes no armazém da central termoelétrica de Sines (secção 3.5.3). A este elevado número de referências está associada uma elevada diversidade dos dados, sendo fulcral a recolha de dados a partir de 6 relatórios distintos obtidos a partir da plataforma SAP. A recolha de dados é, portanto, o primeiro passo da resolução do caso de estudo.

5.1. Recolha de Dados

Para uma avaliação mais eficiente das peças de reserva, foi criada uma base de dados em Excel para organizar a informação associada a cada referência de peça de reserva. É de referir que se escolheu o Excel pois é mais simples de se trabalhar e a interação com os dados provenientes de SAP é mais fácil e rápida, ainda que o tratamento da informação seja moroso.

Os dados da plataforma SAP foram recolhidos desde 2005 até 2016. Foi necessário recolher todos os dados necessários referentes aos seis centros geridos pela EDP Produção, o que representou muito tempo despendido nesta tarefa pois, apesar do foco da dissertação ser o armazém da central termoelétrica de Sines, é intenção dos gestores aplicar a proposta aos restantes. É de referir que, embora a plataforma SAP tenha sido implementada desde 2004, ocorreu uma alteração de sistema no início de 2015, o que obrigou a uma recodificação das referências das peças e a um cruzamento de dados de modo sistemático quando da sua extração.

A primeira recolha de dados teve como objetivo a extração da lista total de materiais dos centros, incluindo peças de reserva. Para cada material foi recolhido o código de referência SAP, a unidade de medição, o centro correspondente, a designação e o respetivo grupo. A segunda recolha de dados incidiu sobre a gestão MRP feita a cada material. Neste âmbito, foi necessário fazer corresponder a cada material os seguintes parâmetros: Tipo de MRP; Planeamento MRP; Ponto de encomenda (s); Prazo de Entrega Previsto (PEP); Nível de *stock* máximo (S), entre

outros. De seguida, foi necessário extrair todos os dados de procura mensal dos materiais, bem como o nível de *stock* atual (em 28 de janeiro de 2016). Posteriormente, foram extraídos dados referentes às encomendas efetuadas aos fornecedores desde 2005, nomeadamente o custo unitário de cada material e a data de lançamento de cada encomenda. Foi igualmente extraída a classificação de criticidade de cada referência de material de acordo com a informação carregada na plataforma SAP. Por fim, no que toca às movimentações de material, foi extraída a data de receção de cada encomenda, usada juntamente com a data de lançamento de cada encomenda para calcular o prazo de entrega e, assim, constituir a matriz final de dados dos materiais para ser seguidamente analisada. Este prazo de entrega obtido foi registado para todos os materiais e feita uma proposta de alteração dos PEP desatualizados que estão introduzidos em SAP.

5.2. Análise das Características das Peças de Reserva em Estudo

As peças de reserva são os materiais essenciais ao estudo, assim, são analisados os seguintes parâmetros: Designação do material; Tipo de MRP; Ponto de encomenda (s); Nível de *stock* máximo (S); Valor em *stock* em 28 de janeiro de 2016. A tabela 5.1 apresenta um exemplo de peça de reserva de cada tipo de MRP.

Tabela 5.1- Exemplo de peça de reserva para cada tipo de MRP

Referência SAP	Designação do material	Tipo de MRP	Ponto de encomenda (s)	Nível de <i>stock</i> máximo (S)	Valor <i>stock</i> em 28 janeiro de 2016 (€)
20040591	Transmissor BBC XT8160A-V3001	Z2	0	0	27 930,96
20066238	Válvula RESPIRO F.WHEELER N.1548	V1	6	12	2 150,82
20056537	Temporizador IMPS ASCO 88122627	ND	0	0	0

As referências de peças de reserva com tipo de MRP Z2 e ND não têm parâmetros de gestão de *stocks* associados, pois são geridas com *stock* nulo. Só as referências de peças de reserva com tipo de MRP V1 têm parâmetros de gestão de *stocks* associados (tal como se verifica na tabela 5.1) e são as que permitem uma comparação dos resultados obtidos (ver secção 3.5.2). As referências do tipo de MRP ND não são geridas pela plataforma SAP pois não há emissão de notificações de necessidades e, no caso do exemplo, não existe nenhuma unidade em *stock* em 2015 podendo, eventualmente, representar uma peça obsoleta.

No armazém da central termoelétrica de Sines uma paragem de manutenção tem a duração de dois meses e as suas datas de ocorrência estão identificadas na secção 3.4. Tendo em conta que nestes períodos a procura é geralmente superior ao normal, consideram-se estes

períodos de dois meses como atípicos. Assim, do histórico de procura analisado excluem-se os meses em que ocorreram essas paragens (16 meses), sobrando 105 meses de dados.

De acordo com a triagem de materiais, apresentada na figura 3.17, 214 referências só tiveram procura durante os períodos de paragem. Portanto, estas foram excluídas do estudo e é nas 3490 referências de peças de reserva (ver secção 3.5.3) que se encontra o foco desta dissertação.

A análise global da procura por peças de reserva permite obter uma estimativa das características relevantes, tais como a sua quantidade, o Intervalo médio de tempo Entre Procuras (IEP), o prazo de entrega e os custos unitários. Na tabela 5.2 apresenta-se as estatísticas descritivas destas características.

Tabela 5.2- Estatísticas descritivas de características essenciais das peças de reserva

3490 referências de peças de reserva	Procura (unidades/mês)	Custo unitário (€/unidade)	Prazo de entrega (dias)	IEP (meses)
Média	23,356	592,0971	49,959	15,83
Desvio padrão	183,597	3 218,678	57,623	15,22
Mínimo	1	0,01	1	1
Máximo	9 900	135 000	625	111

Verifica-se uma grande variabilidade existente no armazém entre as diferentes peças de reserva em termos de procura, custo unitário, prazo de entrega e IEP. Dada a variabilidade existente e o elevado número de referências a gerir, seguidamente é realizada a sua classificação.

5.3. Classificação das Peças de Reserva

Atualmente a EDP não tem uma classificação adequada de peças de reserva. Dada a dimensão do problema, gerir 21 627 ou mesmo as 3490 referências em estudo (ver secção 3.5.3), a classificação das referências é uma etapa fundamental para reduzir a dimensão do mesmo e facilitar o processo de implementação dos modelos de gestão de *stocks*.

A agregação em classes permite priorizar certas referências e adequar a aplicação e definição dos tipos de planeamento e políticas de gestão de *stocks*. Esta classificação é feita com base nas recomendações presentes na secção 2.3 e envolve duas fases: uma primeira classificação das peças de reserva em função dos critérios relevantes para a gestão, como o valor e a criticidade, que terá impacto na definição do nível de serviço de cada referência de peça de reserva (ver tabela 4.2); e uma segunda classificação em função do comportamento da procura durante o período em análise.

De facto, a variabilidade entre as diferentes peças de reserva que constituem o armazém é mais notória em termos de valor, criticidade e tipo de procura. Juntando a este facto a influência que a classificação poderá ter na obtenção de um melhor desempenho na gestão de *stocks*, as peças de reserva serão classificadas de acordo com estes três critérios, os quais ajudarão a definir os modelos de gestão de *stocks* e os parâmetros de gestão mais adequados.

5.3.1. Critério Valor

A classificação das peças de reserva poderia ser feita de acordo com a quantidade em *stock*. Nestas circunstâncias, as que têm maior quantidade em *stock* seriam consideradas as mais importantes. No entanto, o custo de cada referência de peça de reserva é muito variável pelo que um nível de *stock* elevado pode não corresponder a um investimento elevado.

Assim, o mais indicado é utilizar como critério de classificação o volume monetário da procura anual de cada peça de reserva (procura multiplicada pelo seu custo unitário). No entanto, existem peças de reserva cujo IEP é superior a um ano, resultando numa procura anual, muitas vezes, nula. Nestas circunstâncias, e como se pretende reduzir os custos de posse das peças de reserva em armazém (secção 1.4), não se pode utilizar o critério da média anual da procura dos últimos anos.

Como o custo de posse que se verifica no armazém, determinado pelo valor existente em *stock*, e o valor da procura são essenciais na análise, uma classificação ABC foi realizada com base no valor total anual de cada peça de reserva (equação 65), somando o valor em *stock* (médio observado em 2015) (equação 66) com o valor total de procura em 2015 (equação 67).

$$\text{Valor Total} = \text{Valor em Stock} + \text{Valor da Procura} \quad (65)$$

$$\text{Valor em Stock} = \text{Stock Médio 2015} \times \text{Custo Unitário} \quad (66)$$

$$\text{Valor da Procura} = \text{Procura Anual 2015} \times \text{Custo Unitário} \quad (67)$$

É de referir que quando o custo unitário de certa referência de peça de reserva não foi passível de ser extraído diretamente da plataforma SAP, considerou-se o custo unitário da sua última compra.

A classificação ABC foi, então, feita para as 3490 referências de peças de reserva selecionadas (figura 5.1). Pela análise dos resultados, verificou-se que 753 referências de peças de reserva representaram um valor total, no ano de 2015, superior a 1 000 euros e, por outro lado, 1683 representaram um valor inferior a 100 euros. Devido a esta elevada variabilidade de valor observado, ao facto de existir uma elevada percentagem de referências que representam um valor reduzido e uma reduzida percentagem que representa um valor muito elevado, e à necessidade de equilibrar o número de referências de peças de reserva pertencentes a cada classe, optou-se por fixar um peso a cada classe. Neste sentido e de acordo com o estudo de Chu, Liang & Liao (2008) (secção 2.3) definiu-se que as referências pertencentes à classe A são responsáveis, no máximo, por 80% do valor total em 2015, sendo que as de classe C são responsáveis, no máximo, por 5%. Estes valores de fronteira entre classes estão evidenciados na figura 5.1 através de cruces que correspondem à mudança da classe A para a B e da classe B para a C, respetivamente.

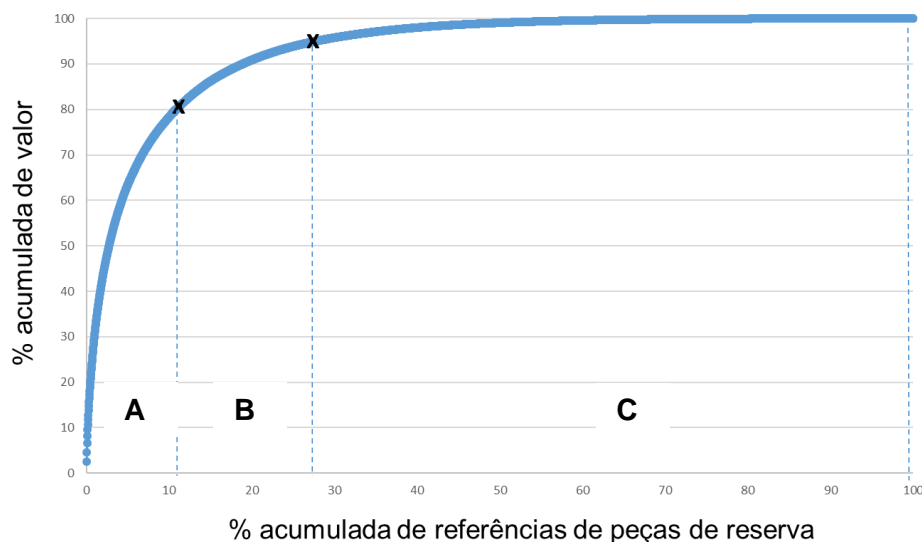


Figura 5.1- Curva ABC de acordo com o critério valor

Depois de elaborada a análise ABC e por interpretação da curva representada na figura 5.1, conclui-se que na classe A contabilizam-se 379 referências de peças de reserva (10,86% da globalidade), representando cerca de 80% (79,98%) do valor total. A classe B agrega 16,76% referências de peças de reserva que representam 15,02% do valor total. Por fim, a classe C é responsável por apenas 5% do valor total mas engloba a maioria das referências de peças de reserva (72,38%) (tabela 5.3).

Tabela 5.3- Síntese da classificação ABC com base no valor

	Classe			Total
	A	B	C	
Referências de peças de reserva	379 (10,86%)	588 (16,76%)	2 523 (72,38%)	3 490 (100%)
Valor Total (€)	4 330 596 (79,98%)	811 986 (15,02%)	270 662 (5%)	5 413 246 (100%)

O facto de 11% das peças de reserva representarem 80% do valor total em armazém deve-se à existência de um número reduzido de referências de peças de reserva com elevado valor, estando associadas, muitas delas, a peças de procura reduzida, mas com elevados custos unitários, acontecendo o oposto nas referências pertencentes à classe C.

5.3.2. Critério Criticidade

Tendo em conta que a gestão de stocks atual da EDP utiliza a classificação das peças de reserva quanto à sua criticidade e, tornando-se impraticável adotar uma nova classificação, pois envolveria um trabalho minucioso, apenas possível com o acesso às listas técnicas de material e com o constante acompanhamento dos técnicos de manutenção, decidiu-se, em consonância com os responsáveis pela gestão do armazém, considerar a classificação de criticidade já adotada, que distingue 3 classes. No entanto, a nomenclatura utilizada é substituída pela da classificação VED (secção 2.3.2), sendo esta a mais referenciada na literatura.

A classificação de criticidade que se encontra implementada é medida por diferentes critérios, sendo que a importância na produção é o que representa maior peso. Assim, as peças de reserva associadas aos equipamentos mais importantes na unidade produtiva são classificadas como V. As peças de reserva de classe E são as que estão associadas ao nível de criticidade médio, tendo associado um certo nível de *stock* de segurança. E, por fim, as peças de reserva de classe D são geridas sem constituição de *stock*, pois apenas estão associados custos de manutenção ou de substituição, não sendo consideradas críticas. Na tabela 5.4 encontra-se representada a constituição das diferentes classes de criticidade, em número e percentagem.

Tabela 5.4- Constituição de cada classe de criticidade

Classe	Referências de peças de reserva
V- Vital	667 (19,1%)
E- Essencial	2428 (69,6%)
D- Desejável	395 (11,3%)

Das 3490 referências de peças de reserva, 19,1% pertencem à classe mais alta de criticidade (classe V), visto que comprometem a produção caso haja rutura associada. Naturalmente, para esta classe, a tendência será aumentar o nível de serviço, uma vez que a falta destas peças de reserva constituintes provoca consequências mais graves para a produção. Por outro lado, nas classes cuja criticidade é mais reduzida existe a tendência em apontar níveis de serviço mais reduzidos, de modo a reduzir custos, admitindo o aumento do risco de rutura (ver tabela 4.1).

É de referir que muitas das peças de reserva classificadas de D, de criticidade mais baixa, são geridas pela EDP adotando uma política de gestão “sem *stock*”, admitindo que é preferível, em termos de balanceamento entre custos e benefícios, efetuar-se uma encomenda sempre que haja uma necessidade, em detrimento de manter armazenadas unidades em *stock*.

5.3.3. Matriz ABC/VED

Cada referência de peça de reserva do armazém foi classificada de acordo com o seu valor total anual, pela classificação ABC (secção 5.3.1) e de acordo com a sua criticidade, pela classificação VED (secção 5.3.2). A análise conjunta permitiu constituir 9 classes de peças de reserva, que estão divididas de acordo com a composição da matriz apresentada na tabela 5.5.

Tabela 5.5- Matriz ABC/VED

Classificação Criticidade	Classificação Valor Total			Total
	A	B	C	
V	250 (37,5%)	106 (15,9%)	311 (46,6%)	667 (100%)
E	94 (3,9%)	381 (15,7%)	1953 (80,4%)	2428 (100%)
D	35 (8,9%)	101 (25,6%)	259 (65,5%)	395 (100%)

Esta classificação cruzada permite definir um nível de serviço que reflita a importância de cada peça de reserva para o armazém e para a produção, atribuindo-se um valor mais elevado quanto maior for a importância atribuída a cada uma (ver secção 4.2.6). É de realçar que a classe multicritério mais observada no armazém é a CE (1953 referências de peças de reserva) que representa valor reduzido e criticidade média, e que uma percentagem relativamente elevada de referências de peças de reserva com criticidade V pertence à classe A (37,5%). Pode ainda concluir-se, de acordo com o definido na tabela 4.1 (secção 4.2.6), que 10,2% das peças de reserva estudadas (250 + 106 unidades) são geridas com um nível de serviço de 99% pois pertencem às classes AV e BV (respetivamente), sendo as que necessitam de maiores esforços e recursos alocados na sua gestão ao contrário das peças de reserva classificadas de CE, CD e BD.

5.3.4. Tipo de Procura

A atribuição do nível de serviço a cada combinação de classes é essencial para definir os valores dos parâmetros de gestão de *stocks*. No entanto, para definir quais os modelos gestão de *stocks* que melhor se aplicam a cada conjunto de peças de reserva e analisar quais as dificuldades com que se deparam os gestores de *stocks* do armazém, é necessário analisar o tipo de procura em termos da sua quantidade e da sua frequência.

A partir da análise do histórico de procuras entre 2005 e 2015 observa-se que existem cerca de 1450 referências de peças de reserva que têm uma procura binária (cada vez que existe procura, a quantidade é a mesma), dentro das quais existem 951 em que a procura é de uma unidade (procura unitária) (Guajardo *et al.*, 2014). Cerca de 58,45% das referências de peças de reserva têm uma procura de lotes variáveis (a quantidade de procura é diferente sempre que ela existe) (tabela 5.6).

Tabela 5.6- Classificação do comportamento da procura não nula

	Procura Binária		Procura de lotes variáveis
Referências de peças de reserva	1450 (41,55%)		2040 (58,45%)
	Procura não unitária	Procura unitária	
	499 (34,41%)	951 (65,59%)	

Diferentes peças de reserva estão associadas a diferentes padrões ou tipos de procura. Como tal, também as peças de reserva em estudo são classificadas segundo o tipo de procura que enfrentam ao longo do tempo. De acordo com o modelo de classificação proposto por Syntetos (2005) e que Cavalieri *et al.* (2008) também concorda, a classificação é realizada com base em duas variáveis, o IEP e a variabilidade da procura (CV^2). Importa, antes de mais, analisar e identificar as peças de reserva que obtiveram procura em apenas um mês desde 2005 (procura singular), ou seja, aquelas cujo IEP é nulo no histórico analisado. Foram identificadas 836

referências de peças de reserva nestas condições. Logo, só em 2654 referências se conseguirá obter um IEP positivo (procura não singular) (figura 5.2).

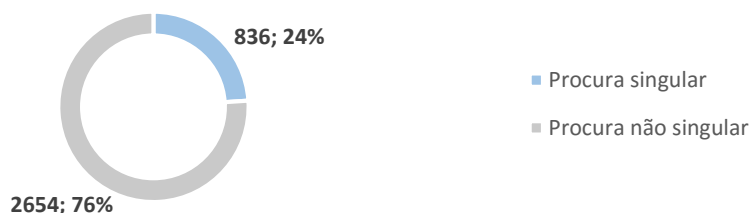


Figura 5.2- Peças de reserva com procura singular e não singular

A análise efetuada às peças de reserva com procura não singular permitiu concluir que a maioria apresenta um CV^2 inferior a 3 unidades e um IEP entre 0 e 111 meses, como representado na figura 5.3.

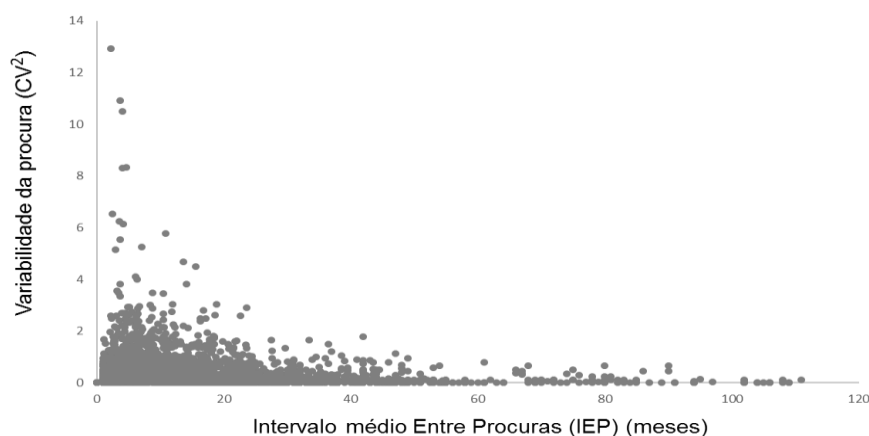


Figura 5.3- Distribuição das peças de reserva do armazém em função da variabilidade da procura e do Intervalo médio Entre Procuras

Os valores de fronteira dos 4 quadrantes (ver figura 2.1) devem ser 0,49 e 1,32 para CV^2 e IEP, respetivamente, como descrito na secção 2.3.3. No entanto, estes são valores teóricos, obtidos de uma forma empírica, não havendo garantias de que se ajustam à população das peças de reserva existente no armazém da central termoelétrica de Sines. Assim, foi aplicado o método de *clustering* proposto por Eaves (2002) para definir os valores de fronteira que permitem obter conjuntos homogéneos de peças de reserva com o mesmo tipo de procura.

Numa reunião com os gestores de *stocks* da EDP chegou-se à conclusão de que: i) peças de reserva com IEP superior a 6 meses deveriam ser consideradas intermitentes ou irregulares; e ii) peças de reserva com CV^2 superior a 1, ou seja, em que o desvio padrão da procura é superior à média, deveriam ser considerados de procura irregular ou errática. Assim, resta estudar as peças de reserva incluídas na região correspondente a valores de IEP inferior a 6 e de CV^2 inferior a 1, correspondentes a 407 referências de peças de reserva às quais é aplicado o método de *clustering*, com recurso ao *software* SPSS Statistics.

A dispersão das referências de peças de reserva com IEP inferior a 6 e CV^2 inferior a 1 está apresentada na figura 5.4. Pela sua análise, os valores de fronteira dos 4 *clusters* (tipos de procura) são diferentes dos sugeridos pela literatura. Em relação ao CV^2 (eixo vertical), os resultados apontam para um valor entre 0,4 e 0,6, e para o IEP (eixo horizontal) apontam para um valor entre 4 e 6 meses, conferindo às peças de reserva deste armazém uma procura muito mais intermitente quando comparada com outros estudos, isto é, a procura das peças de reserva do armazém da central termoelétrica de Sines apresenta um ritmo mais lento do que a maioria dos armazéns de peças de reserva. Decidiu-se, então, efetuar a separação dos *clusters*, e consequentemente de cada tipo de procura, para valores de CV^2 de 0,49, mantendo o valor proposto por Syntetos, Boylan & Croston (2005) e de IEP igual a 5 meses (tal como está representado nas guias a cheio da figura 5.4), prevendo-se um ritmo lento da procura futura.

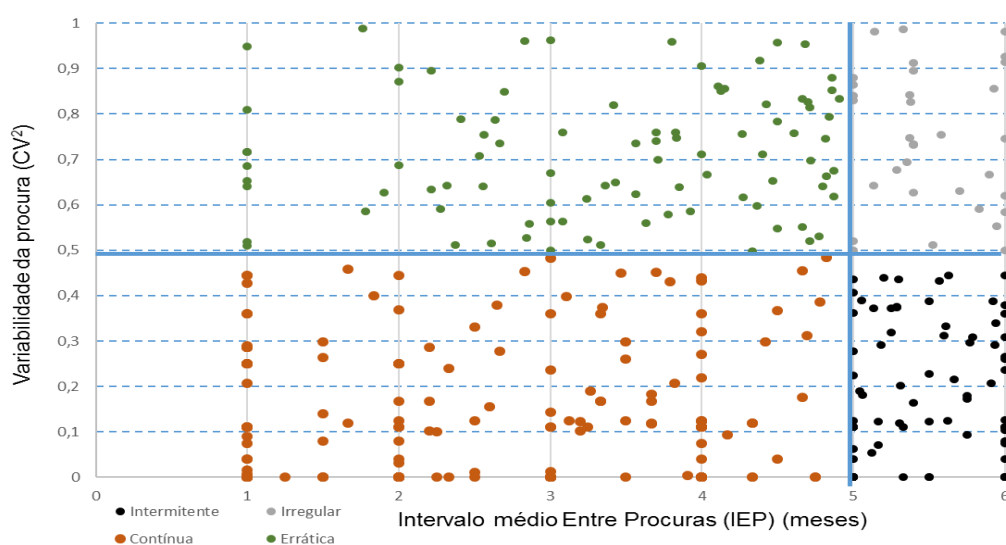


Figura 5.4- Resultados da redefinição dos valores de fronteira que definem os tipos de procura

Assim, com base nas conclusões obtidas a partir da figura 5.4 e no estudo de Syntetos *et al.* (2005), a caracterização do tipo de procura das peças de reserva do armazém em análise define-se na figura 5.5, ditando que uma peça de reserva pode ter uma procura singular ou não singular que, por sua vez, pode ser irregular, intermitente, errática ou contínua.

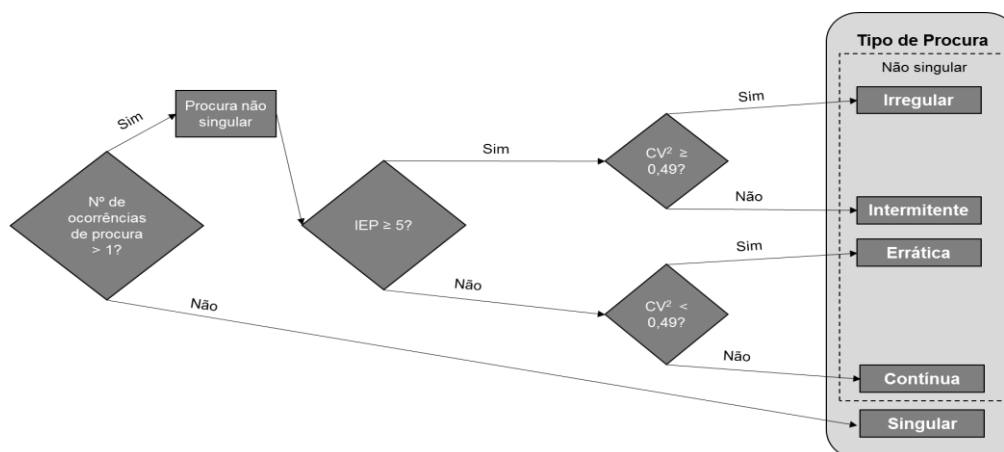


Figura 5.5- Procedimento de classificação do tipo de procura de cada peça de reserva

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

Assim, as 3490 referências de peças de reserva são caracterizadas nos 5 tipos de procura considerando os dados de 2005 a 2015, estando sintetizados os seus dados relativos ao valor da procura em 2015 e ao valor do *stock* em 28 de janeiro de 2016.

Tabela 5.7- Peças de reserva por tipo de procura

Tipo de Procura		Número de referências de peças de reserva	Valor da procura em 2015 (€)	Valor do <i>stock</i> em 28 de janeiro de 2016 (€)
Singular		836 (24%)	164 307 (20,7%)	1 770 897 (36,6%)
Não singular	Errática	171 (4,9%)	92 383 (11,7%)	78 998 (1,7%)
	Irregular	589 (16,9%)	56 437 (7,1%)	492 142 (10,1%)
	Contínua	198 (5,7%)	133 521 (16,9%)	329 665 (6,8%)
	Intermitente	1696 (48,5%)	344 904 (43,6%)	2 166 307 (44,8%)

Cerca de metade das referências de peças de reserva apresentam uma procura intermitente (48,5%), uma vez que a procura ocorre com intervalos de tempo muito espaçados e em quantidades pouco variáveis. Estas são as que mais contribuem para o valor total do armazém, que engloba o valor do *stock* atual (28 de janeiro de 2016) e o valor da procura em 2015, sendo maioritariamente peças de reserva com custo unitário elevado pelo que, mesmo existindo menor rotação destas peças de reserva, cada um dos movimentos representa um peso considerável nos custos.

O armazém engloba um número mais reduzido de peças de reserva com procura errática (4,9%) e contínua (5,7%), que representam uma percentagem considerável no valor total da procura (11,7% e 16,9%, respetivamente), mas uma mais reduzida percentagem no valor do *stock* atual (1,6% e 6,8%), explicada pelo facto do índice de rotação destas peças de reserva ser mais elevado (reduzindo o nível de *stock* médio).

Por fim, destaca-se a considerável percentagem de referências de peças de reserva com procura singular (24%) que não foram sujeitas ao processo de classificação da procura proposto por Syntetos *et al.* (2005) por não ser possível determinar qualquer intervalo entre procuras. Neste conjunto de peças de reserva com procura singular existe uma considerável proporção (26%) que são muito críticas para o processo produtivo (de classe V) e, portanto, necessitam de ser mantidas em *stock* representando, por esse motivo, um elevado valor imobilizado em *stock* (36,6%).

Na tabela 5.8 encontra-se representada a distribuição das peças de reserva, pertencentes a cada classe de valor (A, B e C) e de criticidade (V, E e D), pelos 5 tipos de procura identificados.

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

Tabela 5.8- Distribuição das peças de reserva de cada classe de valor e criticidade pelos tipos de procura

Tipo de Procura	Análise ABC Valor			Criticidade VED		
	A	B	C	V	E	D
Singular	123 (32,5%)	192 (32,7%)	521 (20,7%)	212 (31,8%)	486 (20%)	138 (34,9%)
Errática	8 (2,1%)	28 (4,8%)	135 (5,4%)	36 (5,4%)	125 (5,1%)	10 (2,5%)
Irregular	31 (8,2%)	59 (10%)	499 (19,8%)	64 (9,6%)	475 (19,6%)	50 (12,7%)
Contínua	30 (8%)	28 (4,8%)	140 (5,5%)	48 (7,2%)	117 (4,8%)	33 (8,4%)
Intermitente	187 (49,2%)	281 (47,7%)	1 228 (48,6%)	306 (46%)	1 226 (50,5%)	164 (41,5%)
Total	379 (100%)	588 (100%)	2 523 (100%)	666 (100%)	2 429 (100%)	395 (100%)

Da análise da tabela 5.8 confirma-se a importância das peças de reserva de procura intermitente, já que constituem cerca de metade das peças de reserva com maior valor, representando 49,2% das classificadas como “A”, e uma percentagem considerável das peças de reserva com maior criticidade, representando 46% das classificadas como “V”. Na tabela 5.9 encontra-se representada a proporção de referências de peças de reserva por tipo de procura e classificação multicritério (valor e criticidade), destacando a elevada percentagem de peças de reserva classificadas de AV (níveis mais elevados de ambas as classificações) que apresentam procura singular e intermitente (35,6% e 44,8%, respetivamente) e, portanto, um índice de rotação bastante reduzido.

Tabela 5.9- Constituição das peças de reserva pelo tipo de procura e classificação ABC/VED

Tipo de Procura	ABC/VED								
	AV	BV	CV	AE	BE	CE	AD	BD	CD
Singular	35,6%	30,2%	29,3%	24,5%	30,7%	17,7%	31,4%	42,6%	32,4%
Errática	2,4%	12,8%	5,5%	1%	3,4%	5,7%	2,9%	2%	2,7%
Irregular	8,4%	8%	10,9%	7,4%	10%	22%	8,6%	11,9%	13,5%
Contínua	8,8%	0,9%	8%	8,5%	5,5%	4,5%	0%	5,9%	10,4%
Intermitente	44,8%	48,1%	46,3%	58,6%	50,4%	50,1%	57,1%	37,6%	41%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

A figura 5.6 caracteriza cada tipo de procura, tendo-se usado o histórico de procuras relativo a uma referência de peça de reserva pertencente a cada tipo como forma de exemplificação. Tal como é observável, a irregularidade das peças de reserva com procura irregular (1º quadrante) não se verifica só em termos de quantidade (elevado CV²) como também em termos de intervalo entre procuras (elevado IEP), ao contrário das peças de procura contínua (3º quadrante) que, apesar de, comparativamente a outros negócios, apresentar um valor considerável de IEP, apresenta procuras estáveis, tanto em termos de intervalo entre elas como de quantidade. Os quadrantes 2 e 4 apresentam o comportamento de duas referências de peças de reserva

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

pertencentes aos tipos de procura errática e intermitente, respetivamente. Em cada quadrante está, ainda, representado o tipo de procura a que cada quadrante se destina e o código que se atribui a cada referência de peça de reserva, cuja codificação e descrição estão expressas na lista de peças de reserva presente no anexo B.

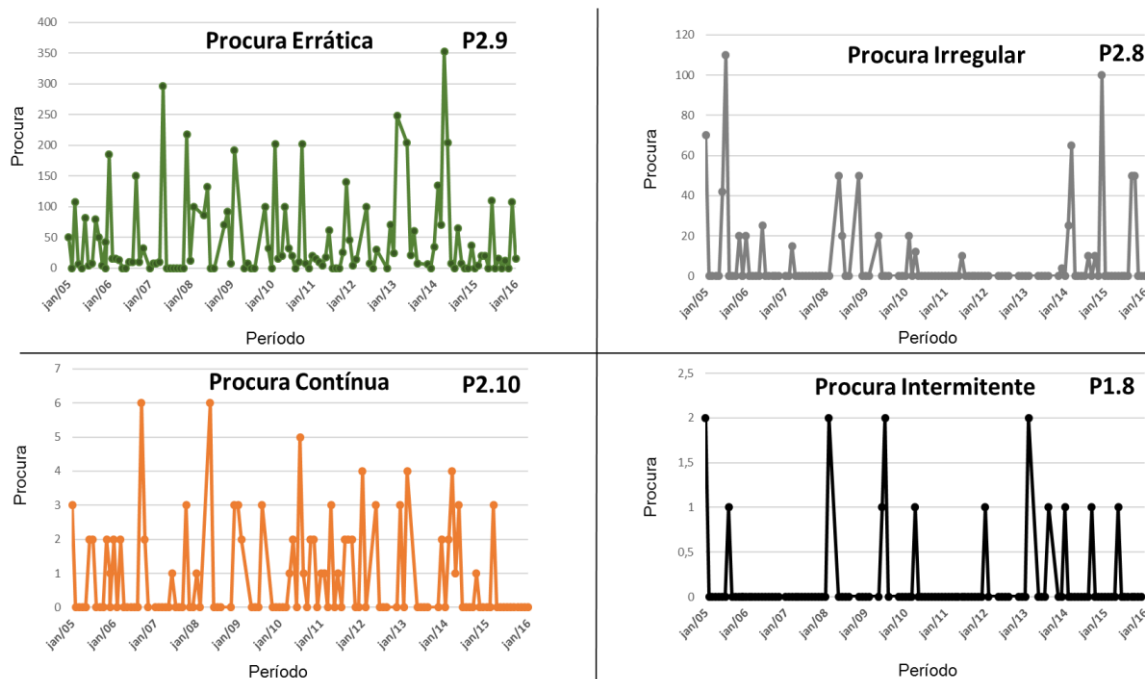


Figura 5.6- Comportamento de cada tipo de procura

5.4. Ajustamento da Procura a Distribuições de Probabilidade

Devido ao elevado número de modelos de gestão de *stocks* com requisitos ao nível das distribuições de probabilidade (ver secção 2.7.2) e de acordo com o fluxograma da metodologia de gestão de *stocks* de peças de reserva (presente no anexo A), esta secção auxilia a tomada de decisão em relação ao modelo de gestão de *stocks* mais adequado a adotar a cada referência de peça de reserva, segundo o comportamento da procura, isto porque o sucesso de aplicação dos modelos de gestão de *stocks* considerados no anexo A está diretamente relacionado com o facto de se seguir, ou não, os seus requisitos.

O ajustamento a distribuições de probabilidade estatística pretende confirmar, ainda, a capacidade da decisão tomada na secção 4.2, quando se optou pela aplicação dos modelos heurísticos de gestão de *stocks*.

As distribuições de probabilidade estatística mais assumidas pelos modelos quanto ao comportamento da procura são a Normal, Gamma, Poisson e Erlang (ver secção 2.7.2). Quanto ao prazo de entrega, alguns modelos sugerem uma distribuição Gamma ou Normal e outros assumem que é constante. Para além destas variáveis, alguns modelos assumem, ainda, a distribuição de Poisson, Laplace ou Gamma para a procura durante o prazo de entrega e, por fim, a distribuição Gamma para o intervalo entre procuras.

Uma vez que o sucesso dos testes de aderência depende da qualidade da informação recolhida, foi necessário fazer, também aqui, uma triagem das peças de reserva que seriam sujeitas ao teste. Decidiu-se incluir apenas as que apresentaram pelo menos quinze registos de procura no período em estudo, contabilizando-se 263 (num total de 3490) referências de peças de reserva para o efeito.

Como já referido na secção 2.5, os testes de aderência mais indicados variam conforme o tipo de distribuição a ser testada: no caso das distribuições contínuas, como a Normal, Gamma e Erlang, recomenda-se a utilização do teste do Kolmogorov-Smirnov, já no caso da distribuição de Poisson é mais aconselhável realizar o teste do Qui-Quadrado. No entanto, optou-se por efetuar o teste Kolmogorov-Smirnov também para a distribuição de Poisson. Esta decisão deve-se ao facto de simplificar o processo de ajuste no *software* e os resultados provenientes dos dois testes serem praticamente semelhantes (Silva, 2011). Utilizou-se, então, um teste de hipóteses para cada uma das 263 referências de peças de reserva, com recurso à aplicação *EasyFit* que gera representações gráficas de ajuste a determinadas distribuições de probabilidade, fornecendo os valores do teste do Kolmogorov-Smirnov. De facto, o teste do Kolmogorov-Smirnov apresenta globalmente vantagens relativamente ao teste do Qui-Quadrado, pois quando a distribuição é contínua e os seus parâmetros e forma são conhecidos, a estatística de teste é definida rigorosamente, ao passo que a estatística de teste do Qui-Quadrado é aproximada, fazendo com que, na maioria das situações o teste do Kolmogorov-Smirnov seja mais potente (secção 2.5).

O teste foi realizado com um nível de confiança de 95 % (5% de nível de significância). Usando a variável da procura como referência e , sendo x uma das 263 referências de peças de reserva testadas e y uma das distribuições testadas, as hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1) são definidas da seguinte forma:

H_0 : A procura de x aproxima-se a uma distribuição y .

H_1 : A procura de x não se aproxima a uma distribuição y .

Seguidamente apresenta-se o ajustamento dos dados históricos da procura relativo à peça de reserva P2.10 (ver anexo B), de forma a concluir-se quanto ao tipo de distribuição que melhor se ajusta ao comportamento da procura. O *output* do *EasyFit* obtido através da opção “*Fit Distributions*” atribui um *ranking* de ajustamento a cada distribuição de probabilidade selecionada (figura 5.7) e define os valores dos parâmetros, que, no caso do exemplo, são a média e o desvio padrão (relativo à distribuição Normal). As distribuições Gamma (3P) e Erlang (3P), apesar de estarem representadas na figura, são distribuições com 3 parâmetros e que não entram em consideração para o estudo por não estarem associadas a nenhum dos modelos de gestão de stocks referenciados na secção 2.7.2 e no anexo A.

Goodness of Fit - Summary							
#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank	Statistic	Rank
5	Normal	0,18055	1	1,1007	2	2,2453	2
3	Gamma	0,21727	2	0,86563	1	0,0746	1
2	Erlang (3P)	0,23675	3	6,1858	3	4,0052	3
4	Gamma (3P)	0,28074	4	12,647	5	N/A	
1	Erlang	0,40283	5	6,6215	4	8,5037	4

Normal

σ 6,7948

μ 8,7931

✓ | 📁 | ⚡ | 📊 | ⓘ

Figura 5.7- *Ranking* do ajustamento estatístico obtido para o comportamento da procura da peça de reserva P2.10

Retirado de: Aplicação *EasyFit*

Tal como se observa na figura 5.7, a procura da peça de reserva P2.10 ajusta-se melhor a uma distribuição Normal, em detrimento da Gamma e Erlang. O ajuste à distribuição de Poisson que por ser discreta é analisado separadamente, não apresentou resultados satisfatórios. Resta perceber se, de facto, se pode não rejeitar a hipótese nula (a procura da peça de reserva aproximar-se a uma distribuição Normal). Observando a figura 5.8 conclui-se que para um nível de significância (α) de 5% a hipótese nula não é rejeitada, uma vez que o *p-value* obtido no teste (0,26718) é superior ao nível de significância, portanto assume-se que a procura da peça de reserva P2.10 segue uma distribuição (para um $\alpha=5\%$).

Goodness of Fit - Details [hide]					
Normal [#5]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	29				
Statistic	0,18055				
P-Value	0,26718				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,19348	0,22117	0,24571	0,27471	0,29466
Reject?	No	No	No	No	No

Normal

σ 6,7948

μ 8,7931

✓ | 📁 | ⚡ | 📊 | ⓘ

Figura 5.8-Resultados do teste de hipótese aplicado à peça de reserva P2.10 para cada nível de significância

Retirado de: Aplicação *EasyFit*

Repetiu-se este processo para as restantes 262 referências de peça de reserva e o resultado do seu ajuste às 4 distribuições testadas (Normal, Gamma, Poisson e Erlang) encontra-se representado na tabela 5.11. Uma vez que a seleção do modelo de gestão de *stocks* (anexo A) depende do tipo de procura e respetivo comportamento, foram agrupados os resultados dos testes nos 4 tipos de distribuições de probabilidade. É de referir, ainda, que as percentagens observadas na tabela 5.10 dizem respeito à proporção de peças de reserva pertencentes a cada tipo de procura (das 263 testadas) que se ajustam a cada uma das distribuições, portanto, o comportamento da procura de cada referência pode ajustar-se a mais do que uma distribuição. A coluna “sem ajuste” diz respeito à percentagem que não se ajusta a nenhuma das distribuições testadas.

Tabela 5.10- Resultados dos testes de aderência estatística para a distribuição da procura (não singular) das peças de reserva

Tipo de Procura	Ajustamento a distribuição de probabilidade				Sem ajuste
	Gamma	Normal	Erlang	Poisson	
Errática	54%	32%	36%	8%	26%
Irregular	51%	39%	34%	46%	34%
Contínua	52%	57%	22%	0%	27%
Intermitente	47%	33%	30%	53%	32%

A distribuição Gamma é a mais versátil adaptando-se razoavelmente, de uma maneira geral, a todos os tipos de procura, tal como conclui o estudo efetuado por Levén & Segerstedt (2004). A distribuição de Poisson parece ser muito específica, obtendo bons resultados para os tipos de procura intermitente e irregular (com IEP elevado), ao contrário dos tipos de procura errática e contínua.

Por análise da tabela 5.10 pode concluir-se, ainda, que para os tipos de procura errática e irregular a distribuição Gamma parece ser a que melhor se ajusta aos dados. Para o tipo de procura contínua a distribuição Normal é a que apresenta melhores resultados (como seria de esperar). Por fim, o tipo de procura intermitente ajusta-se melhor, de uma maneira geral, à distribuição de Poisson. De resto, estas conclusões vêm alinhadas com o estudo efetuado por Syntetos, Babai & Altay (2010) (ver secção 2.5).

Os resultados dos testes de aderência estatística fornecem boas indicações à tomada de decisão de aplicar modelos heurísticos de gestão de *stocks* (ver secção 4.2), pois, como se observa na tabela 5.10, dentro das 263 referências de peças de reserva testadas, existe uma considerável percentagem que não se ajusta às distribuições de probabilidade estatística para um nível de significância de 5%. A aplicação de modelos heurísticos de gestão de *stocks* pode, então, ser uma boa solução pois não requerem qualquer tipo de requisito quanto à distribuição que melhor se adequa,

No que toca às peças de reserva com tipo de procura intermitente, quanto maior for o valor de IEP maior é a tendência para se ajustarem à distribuição de Poisson. Já nas peças de reserva com tipo de procura contínua, quanto menor for o valor de IEP maior é a tendência para se ajustarem à distribuição Normal. Assim, e tendo em conta a versatilidade da distribuição Gamma, propõe-se na figura 5.9 uma estratégia de atribuição da distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a cada referência, a partir das duas variáveis que definem o seu tipo de procura: CV^2 e IEP. Esta estratégia pode ser aplicada juntamente com a metodologia proposta no anexo A, de modo a seleccionar o melhor modelo de gestão de *stocks*. É de referir que os valores de fronteira definidos ($IEP \leq 3$ meses e $CV^2 \leq 0,49$ no caso da distribuição Normal e $IEP \geq 10$ meses e $CV^2 \leq 0,49$ no caso da distribuição de Poisson) diferem dos utilizados para classificar o tipo de procura, nomeadamente no valor da variável IEP (IEP=5 meses) (secção 5.3.4).

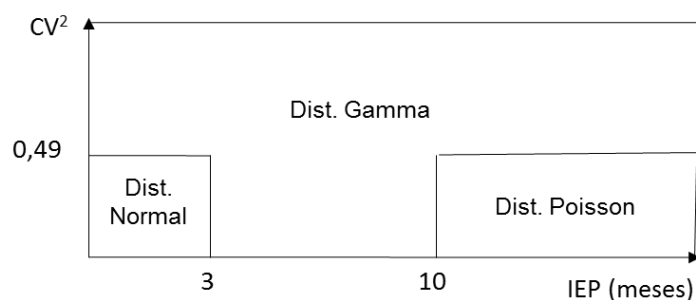


Figura 5.9- Definição de distribuições de probabilidade aos dados de procura

5.5. Previsão da Procura de Peças de Reserva

Seguidamente são aplicados os quatro métodos de previsão, abordados na secção 4.1. O objetivo desta etapa passa pela comparação dos resultados obtidos de modo a identificar o método que apresenta melhor desempenho para cada tipo de procura. Esta análise comparativa é realizada com base no Erro Absoluto Médio (EAM) e na Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) (medidas de erro abordadas na secção 4.1.5).

Segundo Chase (2009) subdividiu-se o histórico de procura em duas amostras, a amostra de ajustamento e a amostra de validação. A amostra de ajustamento serve de base de ajuste ao método de previsão aplicado e compreende os dados mensais da procura de todas as peças de reserva entre janeiro de 2005 e dezembro de 2014. A amostra de validação serve para testar a capacidade de cada método e compreende os dados de 2015 (janeiro a dezembro de 2015), correspondendo ao período para o qual são calculados os erros de previsão.

Numa análise preliminar foi escolhida uma referência de peça de reserva característica de cada tipo de procura (4 referências) e foi feita uma previsão (estimativa) da procura mensal segundo cada um dos métodos. A determinação da constante de alisamento α foi obtida, em cada método, pela minimização da REQM (ver secção 4.1.5) e com recurso à ferramenta *Solver* do Excel, estando subjacente uma regressão polinomial. A constante de alisamento α determinada é, então, utilizada para realizar a previsão da amostra de validação (ano de 2015).

Tal como nos testes de aderência estatística, a análise dos resultados é feita por tipo de procura. Na tabela 5.11 estão representadas as medidas de erro associadas à aplicação dos 4 métodos de previsão testados, estando evidenciadas a verde os melhores resultados de cada medida respeitantes a cada tipo de procura, permitindo, assim, a sua comparação. Aos resultados de cada um dos métodos de previsão está associado um valor da constante de alisamento α que minimiza a REQM.

Tabela 5.11- Comparação dos métodos de previsão por tipo de procura

Tipo de Procura	AES		Croston		SBA		TSB	
	EAM	REQM	EAM	REQM	EAM	REQM	EAM	REQM
Errática	$\alpha=0,012$		$\alpha=0,001$		$\alpha=0,008$		$\alpha=0,061$	
	58,89	78,32	55,13	78,60	54,49	78,20	53,55	78,18
Irregular	$\alpha=0,173$		$\alpha=0,260$		$\alpha=0,278$		$\alpha=0,128$	
	0,96	1,33	0,86	1,31	0,84	1,30	0,82	1,29
Contínua	$\alpha=0,178$		$\alpha=0,233$		$\alpha=0,332$		$\alpha=0,130$	
	1,26	1,69	1,18	1,64	1,15	1,63	1,15	1,63
Intermitente	$\alpha=0,189$		$\alpha=0,285$		$\alpha=0,295$		$\alpha=0,214$	
	0,40	0,56	1,49	1,54	0,41	0,57	0,38	0,55

Após análise da tabela 5.11, pode-se afirmar que o método de Croston modificado – SBA apresenta, ainda que ligeiramente, melhores resultados do que o método de Croston original qualquer que seja o tipo de procura, que se deve ao fator de correção introduzido (ver secção 4.1.3). Os valores da constante de alisamento α são muito próximos de zero na procura errática pois esta procura tem uma elevada variabilidade, favorecendo a atribuição de menor importância à procura mais recente. Verifica-se ainda que, de uma forma geral, os 3 métodos mais abordados na literatura para efetuar previsões deste tipo específico de materiais (as peças de reserva) são mais eficazes do que o AES. Para além disto, e convergindo para a simplificação do processo de previsão pensando na sua implementação, decidiu-se adotar apenas o método TSB, pois é o mais versátil, apresentando melhores resultados para todos os tipos de procura, e reúne as 4 características que estão na base de uma boa previsão da procura, nomeadamente, i) a eficácia, ii) o custo de desenvolvimento do método, iii) o nível de resposta, iv) e simplicidade (Smith, 1994) (ver secção 2.6). Os valores da constante de alisamento α obtidos neste método de previsão, por minimização da REQM são apresentados na tabela 5.11 e os da constante de alisamento β (característica deste método) foram determinados para cada referência de peça de reserva segundo a equação 20 indicada por Teunter *et al.* (2011).

Numa ótica de se continuar com a simplificação do processo de previsões de procura para as restantes referências e comparando os resultados obtidos na tabela 5.11 com as indicações de Teunter *et al.* (2011), expressas na secção 4.1.5, quanto ao intervalo de valores recomendado para a constante de alisamento α (devendo estar compreendida entre 0,05 e 0,2), optou-se por estimar a procura das 3490 referências para a amostra de validação com os seguintes valores deste parâmetro (figura 5.10):

- i) $\alpha = 0,05$ para a procura errática;
- ii) $\alpha = 0,15$ para as procuras irregular e contínua;
- iii) $\alpha = 0,20$ para a procura intermitente.

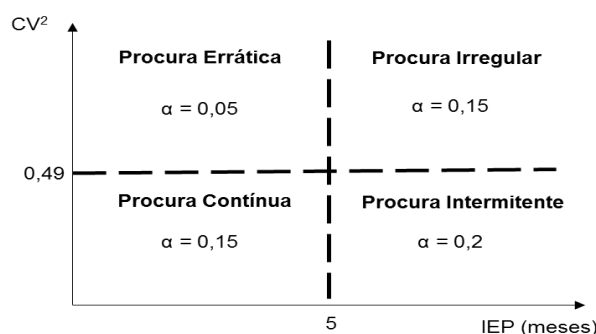


Figura 5.10- Constante de alisamento para cada tipo de procura

Para sustentar a decisão tomada foi prevista a procura para as 3490 referências de peças de reserva, utilizando-se os métodos AES e TSB. Os resultados foram obtidos a partir da estratégia de definição da constante de alisamento, segundo as indicações da figura 5.10. A tabela 5.12 indica para cada tipo de procura a percentagem de referências para as quais cada método apresenta os melhores resultados, relativamente às duas medidas de erro. As células a verde, à semelhança da tabela 5.12, identificam o método que permite obter melhores resultados.

Tabela 5.12- Análise comparativa dos resultados de aplicação dos métodos AES e TSB

Tipo de Procura	Método de Previsão	Proporção de melhores resultados	
		EAM	REQM
Errática	AES	18,71%	12,87%
	TSB	81,29%	87,13%
Irregular	AES	0%	2,71%
	TSB	100%	97,29%
Contínua	AES	1,51%	13,64%
	TSB	98,49%	86,36%
Intermitente	AES	0%	2,48%
	TSB	100%	97,52%

Através da análise da tabela 5.12 é possível concluir que o método TSB ajusta-se melhor às peças de reserva de todos os tipos de procura. Relativamente à medida de erro REQM, as peças de reserva com procuras intermitente e irregular apresentam resultados para o método TSB muito próximos dos 100%, indicando que quanto mais elevado for o IEP mais adequado é este método.

Tendo em conta o ritmo lento da procura das peças de reserva existentes no armazém e os resultados expressos pelas tabelas 5.11 e 5.12, a aplicação dos modelos de gestão de stocks têm por base as previsões de procura efetuadas pelo método TSB.

5.6. Aplicação dos Modelos de Gestão de Stocks

Para seleccionar o modelo de gestão de stocks a adotar a cada referência de peça de reserva, de entre os 5 analisados na secção 4.2, primeiramente foram aplicados os 5 modelos a cada uma

das 3490 referências de peças de reserva. A partir dos resultados conclui-se que os modelos clássicos de revisão contínua (secção 4.2.1) e periódica (secção 4.2.2) não se ajustam, de uma forma geral, aos dados visto que, ao contrário dos modelos heurísticos (secções 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5), dependem do valor médio da procura (e não do valor de previsão), fazendo com que os valores dos parâmetros s e Q e T e S , respetivamente, sejam, por vezes, elevados para determinadas referências de peças de reserva e reduzidos para outras. Para além disso, são pouco sensíveis aos dados de procura nula (característica das procuras irregular e intermitente) e à sua variabilidade (característica das procuras irregular e errática), motivos pelo qual se optou por implementar apenas os modelos heurísticos (secções 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5).

Na tabela 5.13 encontram-se os dados comuns utilizados na implementação dos três modelos heurísticos. A forma de obtenção do custo de aprovisionamento (C_a) e da taxa de custo de posse mensal (i_{mensal}) encontra-se na secção 4.2.6. Ψ^{-1} representa a função de perda, dependente do nível de serviço (λ) que se pretende para cada referência de peça de reserva (tabela 4.1)

Tabela 5.13- Dados comuns à aplicação dos três modelos heurísticos

Custo de aprovisionamento (C_a)	Taxa de custo de posse mensal (i_{mensal})	Função de perda (Ψ^{-1})		
		$\lambda=99\%$	$\lambda=95\%$	$\lambda=90\%$
2 €/encomenda	1%	2,33	1,64	1,28

5.6.1. Aplicação dos Modelos Heurísticos à Referência de Peça de Reserva P2.2

A aplicação dos modelos heurísticos também implica a utilização de dados específicos das diferentes referências de peças de reserva. Relativamente à peça de reserva P2.2, com tipo de procura errática e pertencente à classe CE (C em valor e E em criticidade), os dados específicos apresentam-se na tabela 5.14. O valor de y'_t foi obtido a partir da equação 11, o de σ_t a partir do processo iterativo representado na equação 21 e o de $P(0)$ a partir da equação 24. É de referir, ainda, que sendo de procura errática, a previsão da procura foi determinada pelo método TSB com constantes de alisamento $\alpha = 0,05$ (com base nas conclusões da secção 5.5) e $\beta = 0,02$, obtido a partir do maior valor que satisfaz a inequação 20.

Tabela 5.14- Dados específicos da referência de peça de reserva P2.2

Código da referência	λ	y'_t (unidades)	σ_t (unidades)	L(meses)	σ_L (meses)	c (€)	P(0)
P2.2	90%	1,152	4,26	0,436	0,872	5,2	60,7%

Com os dados apresentados nas tabelas 5.13 e 5.14 determinam-se as variáveis necessárias ao cálculo dos parâmetros de gestão de *stocks* dos modelos heurísticos, cujas fórmulas estão disponíveis nas equações 22 a 26.

$$\mu_{D(L+1)} = 1,152 \times (0,436 + 1) = 1,654 \approx 2 \text{ unidades}$$

$$\sigma_{D(L+1)} = 4,26 \times \sqrt{0,436 + 1} = 5,104 \approx 6 \text{ unidades}$$

$$P(0) = \frac{71}{117} = 0,607 = 60,7\%$$

$$C_p = 0,01 \times 5,2 = 0,052 \text{ €/unidade. mês}$$

$$1 - \lambda = \frac{C_p}{C_d} \Leftrightarrow C_d = \frac{0,01 \times 5,2}{0,1} = 0,52 \text{ €/unidade. mês}$$

De seguida apresentam-se todos os passos necessários à aplicação dos três modelos heurísticos à peça de reserva P2.2.

Na aplicação do modelo heurístico *Normal Approximation*, descrito na secção 4.2.3, são seguidos os passos 1.1 a 1.4, cujas fórmulas de cálculo estão disponíveis nas equações 39 a 45.

Passo 1.1: $Q = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 1,152}{0,052}} \approx 10 \text{ unidades}$

Passo 1.2: $R_N = \frac{0,052 \times 10}{0,52 \times 5,104} = 0,184$

Passo 1.3: $\ln(u_s) = 0,184 \Leftrightarrow u_s = 0,55$

Passo 1.4: Como $1,152 < 0,8888 \frac{2}{0,01 \times 5,2}$

$$\text{Então } s = 1,654 + 0,55 \times 5,104 \approx 4 \text{ unidades e } S = 4 + 10 = 14 \text{ unidades}$$

Na aplicação do modelo heurístico *Power Approximation*, descrito na secção 4.2.4, são seguidos os passos 2.1 a 2.4, cujas fórmulas de cálculo estão disponíveis nas equações 46 a 53.

Passo 2.1: $Q = 1,3 \times 1,152^{0,494} \times \left(\frac{2}{0,052}\right)^{0,506} \times \left(1 + \frac{5,104^2}{1,152}\right)^{0,116} \approx 13 \text{ unidades}$

Passo 2.2: $Z = \sqrt{\frac{0,052 \times 13}{5,104 \times 0,52}} \approx 0,5$

Passo 2.3: $s_p = 0,973 \times 1,654 + 5,104 \times \left(\frac{0,183}{0,5} + 1,063 - 2,192 \times 0,5\right) \approx 3 \text{ unidades}$

$$S_0 = 1,654 + 1,28 \times 5,104 \approx 8 \text{ unidades}$$

Passo 2.4: Como $\frac{10}{1,152} > 1,5$

$$\text{Então } s = 3 \text{ unidades e } S = 3 + 13 = 16 \text{ unidades}$$

Por fim, na aplicação do modelo heurístico de Naddor, descrito na secção 4.2.5, são seguidos os passos 3.1 a 3.4, cujas fórmulas de cálculo estão disponíveis nas equações 54 a 62.

Passo 3.1: $T = \sqrt{\frac{2 \times 2}{0,052 \times 1,152 \times 0,9}} \approx 9 \text{ meses}$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 1,152}{0,052 \times 0,9}} \approx 10 \text{ unidades}$$

Passo 3.2: $N = 1,28$

Passo 3.3: $\bar{y}(T) = 1,152 \times \left(0,436 + \frac{9}{2}\right) = 5,464 \approx 6$ unidades

$$\sigma_y(T) = \sqrt{\left(0,436 + \frac{9}{3}\right) \times 4,26^2 + \frac{(9 \times 1,152)^2}{12} + \frac{1^2 \times (1 - 0,607^9)}{6}} = 8,269 \approx 9 \text{ unidades}$$

$$\bar{y}(Q) = 1,152 \times \left(0,436 + \frac{1}{2}\right) + \frac{10-1}{2} = 5,540 \approx 6 \text{ unidades}$$

$$\sigma_y(Q) = \sqrt{4,26^2 \times \left(0,436 + \frac{1}{3}\right) + \frac{(1 \times 1,152)^2}{12} + \frac{1^2(1 - 0,607^1)}{6} + \frac{10^2 - 1^2}{12}} = 10,609$$

≈ 11 unidades

Passo 3.4: $s = 5,54 + 1,28 \times 10,609 - 10 \approx 9$ unidades e $S = 5,46 + 1,28 \times 8,269 \approx 16$ unidades

Após terem sido calculados para a peça de reserva P2.2 os parâmetros ponto de encomenda (s) e nível de *stock* máximo (S), segundo os três modelos heurísticos, e a periodicidade de revisão do *stock* (T), no caso específico do modelo heurístico de Naddor, repetiu-se este processo para todas as restantes 3489 referências em análise. De seguida são avaliados os resultados obtidos para se estabelecer uma estratégia adequada de aplicação dos modelos heurísticos de gestão de *stocks* às diferentes peças de reserva do armazém.

5.6.2. Resultados da Aplicação dos Modelos de Gestão de Stocks

Depois de aplicados os modelos heurísticos ao conjunto de 3490 referências de peças de reserva, torna-se fundamental analisar os parâmetros (resultados) obtidos, no sentido de avaliar e comparar os diversos modelos heurísticos e selecionar-se aquele que melhor se adequa a cada peça de reserva.

Sendo demasiado dispendioso realizar-se a avaliação e comparação dos modelos heurísticos das 3490 referências de peças de reserva com base no indicador de desempenho Potencial de Redução de Custos (PRC), abordada na secção 4.2.6, visto que engloba uma simulação anual dos custos incorridos para cada uma, selecionou-se um número de referências de peças de reserva de maior relevância de cada tipo de procura para testar a eficiência dos modelos heurísticos de gestão de *stocks*. Assim, selecionou-se uma amostra de 24 referências de peças de reserva, cuja listagem, codificação e descrição se encontram apresentadas no anexo B, distribuídas pelos quatro tipos de procura, às quais foram aplicados os modelos. De seguida, é realizada uma simulação (como referido na secção 4.2.6) do funcionamento do sistema e foram estimados os custos de aprovisionamento, de posse e de rutura relativamente ao ano de 2015 (histórico relativo à amostra de validação). É com base nesta simulação, presente no anexo C e efetuada às 24 referências, que se seleciona o modelo heurístico a ser implementado para cada peça de reserva, através do PRC definido pela equação 64 e com base nas variáveis abordadas

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

na secção 4.2.6, tornando possível a comparação dos parâmetros obtidos pelos modelos heurísticos com os definidos atualmente em sistema.

Importa salientar, ainda, que alguns dos parâmetros de gestão de *stocks* obtidos para as 3490 referências, incluindo alguns apresentados no anexo C, aparentam não ter valores condizentes com os do histórico de 2015, ano relativo à simulação. Isto pode ser devido ao facto dos parâmetros serem calculados com base em dados de procura desde 2005, pelo que podem haver casos de peças de reserva que possam ter alterado o comportamento de procura ao longo do histórico analisado ou, ainda, que, existindo elevada imprevisibilidade, possam haver casos em que a procura ocorrida em 2015 não reflita o comportamento nos restantes anos do histórico, impossibilitando, nesses casos, de tirar conclusões quanto à capacidade do modelo heurístico de gestão de *stocks*.

Na tabela 5.15 estão apresentados os parâmetros obtidos pela aplicação dos modelos heurísticos à peça de reserva P2.2 (utilizada na secção 5.6). Os restantes dados da tabela foram obtidos após efetuada a simulação de custos (anexo C). A linha identificada pelo “sistema atual” apresenta os parâmetros de gestão de *stocks* (s, S) que atualmente estão definidos no sistema. É de referir ainda que na coluna “PRC” apenas as células a verde representam redução de custos relativamente ao sistema atual, representando as células a vermelho situações desvantajosas de potencial aumento de custos.

Tabela 5.15- Parâmetros estimados a partir dos modelos heurísticos aplicados à peça de reserva P2.2

Peça de reserva P2.2					
	Periodicidade de revisão do stock (T)	Ponto de encomenda (s)	Nível de stock máximo (S)	Custo variável anual (CA+CD+CP)	PRC
Sistema atual	-	4	12	9,98€ (4+1,04+4,94)	-
Normal Approximation	-	4	14	10,292€ (4+0,52+5,772)	-3,126%
Power Approximation	-	3	16	7,928€ (2+0+5,928)	20,561%
Naddor	9 meses	9	16	6,576€ (2+0+4,576)	34,108%

Pela análise da tabela 5.15 conclui-se que na peça de reserva P2.2 a melhor solução seria a implementação do modelo heurístico de Naddor (PRC = 34,108%), propondo-se a adoção da política (T, s, S), pelo que os parâmetros s=4 e S=12 utilizados atualmente no sistema devem ser substituídos pelos parâmetros T=9, s=9 e S=16, gerados pelo modelo heurístico que induz em custos mais reduzidos. O mesmo processo foi utilizado para as restantes 23 referências de peças de reserva sujeitas à simulação.

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

Depois de serem obtidos os valores dos parâmetros referentes aos três modelos heurísticos e aplicados às 3490 referências, pretende-se avaliar a sua precisão. Para tal, compararam-se os resultados dos parâmetros provenientes dos modelos heurísticos com os usados atualmente. A tabela 5.16 reflete a dispersão destes resultados em relação à situação atual. O desvio corresponde à diferença entre o parâmetro proposto e o atualmente usado.

Considera-se que um modelo heurístico é mais eficaz do que outro modelo caso os seus resultados indiquem uma percentagem mais elevada de referências com um desvio (associado ao novo parâmetro de gestão de stocks) inferior a 50% do valor do parâmetro usado atualmente.

Tabela 5.16- Precisão dos resultados dos parâmetros (s, S) provenientes dos modelos heurísticos

Modelo heurístico	Ponto de encomenda (s)		Nível de stock máximo (S)	
	$S_{proposto} < S_{atual}$	desvio $S_{proposto} < 50\% \text{ de } S_{atual}$	$S_{proposto} < S_{atual}$	desvio $S_{proposto} < 50\% \text{ de } S_{atual}$
Normal Approximation	79%	20,6%	50,3%	36,2%
Power Approximation	89%	21,5%	47%	34,7%
Naddor	54,7%	38%	48,1%	41,5%

Com base nos resultados apresentados na tabela 5.16 (que engloba as 3490 referências de peças de reserva) e nos resultados da simulação do anexo C à qual 24 referências de peças de reserva foram sujeitas, foi possível tirar as seguintes conclusões:

1) O modelo heurístico de Naddor, de uma maneira geral, é aquele que consegue reduzir, mais consideravelmente, os custos sem incorrer em maiores riscos, observando-se na simulação efetuada que em 70,8% das referências este modelo heurístico é o mais favorável, segundo o PRC. É o mais versátil, visto que está associado à maior percentagem de peças de reserva dentro dos limites impostos, segundo os desvios considerados na tabela 5.16, aproximando os valores dos seus parâmetros aos observados atualmente no sistema. Para além disso, é o mais conservador (devido à maior percentagem de pontos de encomenda (s) superiores aos atuais). A variável T mostrou ser adequada no caso de peças de reserva com um nível de serviço superior a 90% (que envolvem um maior esforço de gestão) devido aos valores reduzidos obtidos permitindo, por um lado, reduzir custos de posse e, por outro, não aumentar o risco de rutura, fazendo com que, em muitas referências, em várias revisões de stock não se verificar qualquer procura. Portanto, nas peças de reserva com nível de serviço superior a 90% o modelo heurístico adequa-se, pois, os resultados alinham-se com os objetivos traçados pela gestão. No entanto, na aplicação deste modelo heurístico às peças de reserva com nível de serviço de 90% verificam-se referências com valor de T bastante elevado (por vezes mais elevado do que o período de simulação de 12 meses), aumentando, em demasia, o seu risco de rutura, o que faz com que, apesar de serem peças de reserva que exigem uma gestão de menor esforço, estejam expostas demasiadas vezes à rutura.

2) O modelo heurístico *Power Approximation* é o mais sensível à variação do nível de serviço, variando muito o valor dos parâmetros (s , S) consoante o nível de serviço de cada referência, observando-se valores elevados para níveis de serviço de 99% e valores reduzidos para níveis de serviço de 90%, o que permite, neste último caso, uma elevada redução dos custos de posse nas peças de menor valor e menor criticidade. As conclusões estão alinhadas com as observadas no estudo de Babai *et al.* (2010) (secção 2.7.2).

3) O modelo heurístico *Normal Approximation* é o que melhor se ajusta às peças de reserva com o tipo de procura contínua (como referido na secção 4.2.3).

Com base nestas conclusões e nos objetivos definidos para esta dissertação, propõe-se a implementação dos modelos heurísticos da seguinte forma: i) O modelo heurístico *Power Approximation* é aplicado a todas as peças de reserva com um nível de serviço igual a 90% pois, para além de, como se observa no anexo C, reduzir consideravelmente os custos anuais neste grupo, baseia-se numa política (s , S) (ao contrário do modelo heurístico de Naddor) o que permite reduzir a exposição das peças a ruturas desnecessárias (não se corre o risco de ter valores de T superiores a um ano e a procura das peças de reserva mudarem o seu comportamento durante esse período de tempo). Este modelo é, então, aplicado a 1840 referências; ii) O modelo heurístico de Naddor é aplicado às peças de reserva com os tipos de procura errática, irregular e intermitente com um nível de serviço superior a 90%, não existindo o problema anterior do valor elevado de T . É aplicado a 1573 referências; iii) Por último, o modelo heurístico *Normal Approximation* é aplicado às restantes 77 referências, que se caracterizam por um tipo de procura contínua e um nível de serviço superior a 90%. A tabela 5.17 resume esta estratégia de aplicação.

Tabela 5.17- Estratégia de aplicação dos diferentes modelos heurísticos às peças de reserva

Tipo de procura	Nível de serviço	Modelo heurístico
Errática Irregular Intermitente	99%	Naddor
	95%	
	90%	<i>Power Approximation</i>
Contínua	99%	<i>Normal Approximation</i>
	95%	
	90%	<i>Power Approximation</i>

Com base na definição desta estratégia, determinou-se novamente a precisão de cada modelo heurístico (agora com apenas as peças de reserva que lhe estão associadas). Os gráficos da figura 5.11 apresentam os resultados antes e após ser definida a estratégia presente na tabela 5.18.

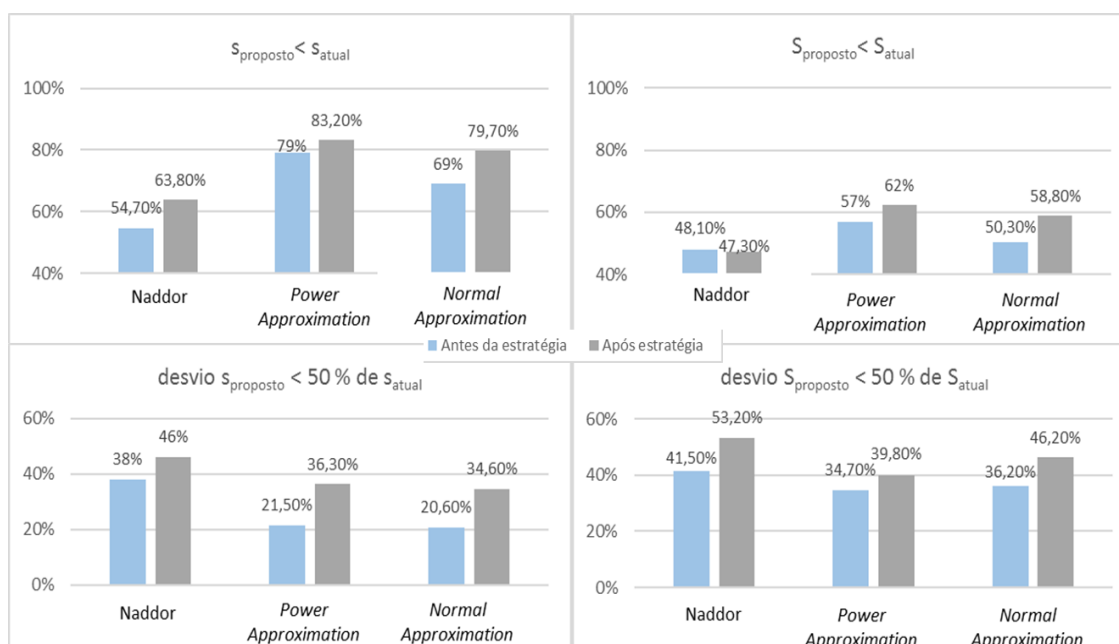


Figura 5.11- Evolução da precisão dos modelos heurísticos após definição da estratégia de aplicação

A figura 5.11 permite validar a opção tomada na definição da estratégia de aplicação dos modelos (tabela 5.17). Após a implementação da estratégia de aplicação dos modelos (tabela 5.18), é possível reduzir, de forma global, o ponto de encomenda (s) e o nível de *stock* máximo (S) do armazém, sendo o modelo heurístico *Power approximation* o que mais se destaca neste sentido, visto que é aplicado apenas a peças de reserva com um nível de serviço de 90%, isto é, com maior risco de rutura, permitindo reduzir o custo de posse. Constata-se, ainda, em todos os modelos, a redução do desvio associado aos parâmetros propostos, uma vez que há um aumento da percentagem de peças que se enquadram dentro do limite definido (50% do valor do parâmetro atual). O modelo heurístico de Naddor é o mais equilibrado e o que mais aproxima os seus resultados dos valores observados atualmente no sistema, apesar de introduzir um parâmetro T que se ajusta bem a estas peças de reserva devido ao ritmo lento da procura.

Segundo esta estratégia (tabela 5.17), a aplicação dos modelos ao conjunto de peças de reserva sujeito à simulação permite obter os parâmetros e outra informação relevante que se encontram nas tabelas 5.18, 5.219 e 5.20 (uma tabela para cada modelo), como é o caso do PRC, retirado do anexo C e que permite analisar e comparar os resultados.

Comparar o nível de *stock* observado em janeiro de 2016 com os valores dos parâmetros gerados é uma forma de análise limitativa. Isto porque um nível de *stock* medido num determinado momento não permite concluir em que estágio da revisão cada peça de reserva se encontra, visto que o seu nível observado tanto pode corresponder, no máximo, ao nível de *stock* imediatamente após um reaprovisionamento, como, no mínimo, ao nível de *stock* após um pico imprevisto da procura. É de referir também que quando o nível do *stock* atual (em janeiro de 2016) é superior ao parâmetro S definido no sistema é porque a peça de reserva já foi requerida

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

anteriormente para satisfazer as paragens de manutenção programadas dos grupos de produção ou são sobras provenientes de paragens de manutenção anteriores.

Na tabela 5.18 são apresentados os resultados do modelo heurístico de Naddor aplicado a 12 das 24 referências de peças de reserva sujeitas à simulação, divididos pelos três diferentes tipos de procura a que o modelo se destina, nomeadamente irregular, intermitente e errática, e que apresentam diferentes tipos de classificação ABC/VED.

Tabela 5.18- Resultados da aplicação do modelo heurístico de Naddor a peças de reserva da amostra, segundo a estratégia definida

Modelo heurístico de Naddor									
Código	Tipo de Procura	ABC/VED	T (meses)	Ponto de encomenda (s)		Nível de stock máximo (S)		Stock janeiro de 2016	PRC
				Sistema	Modelo	Sistema	Modelo		
P1.1	Irregular	AE	0,5	6	6	10	7	16	30,7%
P1.2	Irregular	AV	1,4	33	21	64	24	48	62,5%
P1.3	Irregular	AV	2	200	198	300	220	257	27%
P1.4	Irregular	BE	1,6	7	4	12	6	12	49,1%
P1.5	Intermitente	BE	4	6	5	12	8	12	35,2%
P1.6	Intermitente	BE	2	8	4	12	5	9	50,4%
P1.7	Intermitente	BE	4	19	11	40	16	40	60%
P1.8	Intermitente	CV	10	2	3	6	4	8	6,6%
P1.9	Errática	BV	3	50	72	100	83	104	9,6%
P1.10	Errática	AV	2,5	5	20	10	23	15	-303,8%
P1.11	Errática	BV	4	20	59	100	72	29	22,2%
P1.12	Errática	AV	0,6	8	10	16	11	17	19,2%

Da análise da tabela 5.18 realça-se o facto de ser possível reduzir, consideravelmente, o custo de gestão de *stocks* nas peças de reserva mais críticas (classificadas de AV e BV). No entanto, é nas menos críticas que se encontra o maior valor de PRC, podendo-se atingir reduções de custo de cerca de 50%. É de referir que em algumas peças de reserva classificadas de AV este modelo permite reduzir o nível de *stock* mas noutras aumentar esse valor, por via da necessidade de incorrer em menor risco de rutura e, conseqüentemente, risco de perda de produção.

Seguidamente é realizada uma análise dos resultados associados a cada peça de reserva da tabela 5.18 e com base na simulação apresentada no anexo C:

- i) No caso das peças de reserva P1.1, P1.2, P1.3, P1.4, P1.5, P1.6 e P1.7 a redução do valor dos parâmetros *s* e *S* permite reduzir consideravelmente os custos de posse sem provocar custos de rutura. Para além disso, os valores de *T* são bastante adequados neste conjunto respondendo adequadamente ao ritmo lento da procura que se observa no ano de 2015.
- ii) No caso da peça de reserva P1.8, verifica-se o valor de *T* mais elevado (*T*=10 meses) pelo facto de, para além de ser uma peça de reserva com 95% de nível de serviço (necessitando

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

de menos esforços de gestão quando comparadas com as de 99%), tem uma procura intermitente e unitária, não havendo variabilidade na quantidade e conferindo-lhe pouca irregularidade, e um prazo de entrega reduzido. Devido a estes fatores, os resultados da simulação indicam que este valor de T elevado é uma boa opção.

- iii) No caso das peças de reserva P1.9 e P1.11, o modelo propõe aumentar o ponto de encomenda (s) e reduzir o nível de *stock* máximo (S), permitindo obter uma potencial redução de custos. De facto, sendo peças de reserva com um nível de serviço de 99% e com uma procura errática, é lógico existir uma quantidade de segurança superior e, conseqüentemente, um ponto de encomenda (s) mais elevado.
- iv) No caso da peça de reserva P1.10, à partida as conclusões seriam no sentido de se manterem os parâmetros atuais devido ao potencial crescimento de custos de 303,8%, e pelo facto de ter um custo unitário relativamente elevado (86,8 €). No entanto, sendo uma peça de reserva crítica para o processo, com uma procura errática e um elevado prazo de entrega (L=7 meses), é recomendável a adoção dos parâmetros propostos, aceitando-se o provável incremento nos custos de gestão de *stocks*.
- v) Por fim, a peça de reserva P1.12 é a maior fonte de redução de custos pois permite um PRC de 19,2% numa peça de reserva com um custo unitário de 1164 €. O ponto de encomenda (s) é aumentado, visto que tem uma procura errática, diminuindo o risco de rutura, e o nível de *stock* máximo (S) é diminuído, proporcionando a redução do custo de posse e da quantidade de encomenda.

Na tabela 5.19 estão representados os resultados do modelo heurístico *Power Approximation* aplicado a 7 referências (das 24 sujeitas à simulação) classificadas de CE com um nível de serviço de 90%.

Tabela 5.19- Resultados da aplicação do modelo heurístico *Power Approximation* a peças de reserva da amostra, segundo a estratégia definida

Modelo heurístico <i>Power Approximation</i>								
Código	Tipo de Procura	ABC/VED	Ponto de encomenda (s)		Nível de <i>stock</i> máximo (S)		Stock janeiro de 2016	PRC
			Sistema	Modelo	Sistema	Modelo		
P2.1	Errática	CE	12	12	24	24	25	-
P2.2	Errática	CE	4	3	12	16	10	20,6%
P2.3	Irregular	CE	10	3	20	55	14	39,4%
P2.4	Irregular	CE	3	2	6	4	8	30%
P2.5	Irregular	CE	8	1	14	9	17	67,8%
P2.6	Intermitente	CE	5	5	25	25	11	-
P2.7	Intermitente	CE	6	2	12	8	30	27,9%

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

Através da análise da tabela 5.19 é possível verificar a capacidade que o modelo heurístico *Power Approximation* tem em reduzir o nível de *stock* através da redução, de uma maneira geral, dos valores dos parâmetros e, conseqüentemente reduzir o custo de posse das peças de reserva menos críticas e de menor valor (nível de serviço de 90%) (ver anexo C). De facto, não sendo imprescindíveis à produção, é conveniente que se deseje ter em *stock* a menor quantidade possível e, neste sentido, este modelo heurístico responde bem a este objetivo, estando por vezes, até, os resultados alinhados e coincidentes com os parâmetros atuais, como se observa nos dois casos em que o PRC é nulo (P2.1 e P2.6).

Seguidamente é realizada uma análise dos resultados associados às restantes peças de reserva da tabela 5.19 e com base na simulação apresentada no anexo C:

- i) Nos casos das peças de reserva P2.2, P2.4, P2.5 e P2.7 a redução dos parâmetros *s* e *S* permite reduzir consideravelmente os custos de posse sem provocar custos de rutura.
- ii) No caso da peça de reserva P2.3, a simulação efetuada indica que os parâmetros atuais não são suficientes para satisfazer a procura verificada ao longo de 2015, ocorrendo ruturas. Tendo em conta os reduzidos valores do prazo de entrega e custo unitário, a redução do ponto de encomenda (*s*) e o aumento do nível de *stock* máximo (*S*) resulta num menor número de encomendas e numa maior quantidade encomendada (*Q*) de cada vez, tornando o modelo proposto mais eficiente. É de referir que se propõe um ponto de encomenda (*s* = 3 unidades) inferior ao atual pois, para além de ser uma peça de reserva que admite a ocorrência de rutura, tem associado um prazo de entrega reduzido, permitindo rapidamente abastecer para o seu nível de *stock* máximo (*S* = 55 unidades).

Por fim, na tabela 5.20 são apresentados os resultados do modelo heurístico *Normal Approximation* aplicado às restantes 2 referências (das 24 sujeitas à simulação) e que pertencem ao tipo de procura contínua e têm um nível de serviço superior a 90%.

Tabela 5.20- Resultados da aplicação do modelo heurístico *Normal Approximation* a peças de reserva da amostra, segundo a estratégia definida

Modelo heurístico <i>Normal Approximation</i>								
Código	Tipo de Procura	ABC/V ED	Ponto de encomenda (s)		Nível <i>stock</i> máximo (S)		Stock janeiro de 2016	PRC
			Sistema	modelo	Sistema	Modelo		
P3.1	Contínua	AV	50	158	150	159	219	68%
P3.2	Contínua	AE	9	30	18	36	42	29,4%

Através da análise da tabela 5.20 é possível verificar o valor elevado de PRC que é possível obter a partir da implementação do modelo heurístico *Normal Approximation* a peças de reserva que enfrentam um tipo de procura contínua. Nas duas referências (P3.1 e P3.2), constata-se que os valores dos parâmetros sofrem um aumento de forma a cobrir riscos de rutura de *stock*. A

simulação efetuada com os parâmetros atuais resultou em custos de rutura elevados (ver anexo C), principalmente na peça P3.1 que exige um nível de serviço de 99%. Portanto, em ambos, o aumento do respetivo custo de posse justifica-se, sendo compensado pela redução do custo de rutura, pelo que existe um considerável PRC.

As tabelas 5.18, 5.19 e 5.20 permitem retirar, ainda, algumas conclusões gerais. Em relação às peças de reserva em que o nível de *stock* máximo (S) é inferior ao nível de *stock* registado em janeiro de 2016 é possível reduzir a quantidade em *stock*. Relativamente às peças de reserva que apresentam pontos de encomenda (s) superiores ao nível de *stock* registado em janeiro de 2016, no futuro terão uma diminuição da rutura de *stock*.

5.7. Avaliação e Controlo do Desempenho

Com o objetivo de medir, avaliar, comparar e controlar a atividade logística das diferentes empresas a que a EDP Valor presta serviços (EDP Produção, EDP Distribuição, EDP Gás e EDP Renováveis) e os processos logísticos atualmente praticados no Departamento de Serviços Corporativos e Logística (DSCL) da EDP Valor foi desenvolvido um *dashboard* englobando os vários indicadores de desempenho considerados fundamentais na gestão do negócio. A figura 5.12 apresenta o seu painel principal.

No *dashboard* é possível visualizar, a qualquer momento, os resultados dos indicadores de cada uma das empresas relativo a determinado mês. O *dashboard* encontra-se dividido em 3 áreas, o planeamento, a execução e uma área transversal, o *cross*, onde se enquadram indicadores de desempenho de índole económica e financeira. As áreas de planeamento e execução são constituídas por atividades logísticas, contendo, cada uma delas, uma ou mais questões que se relacionam com os indicadores de desempenho. Estas questões produzem um sinal vermelho, amarelo ou verde, de acordo com a comparação entre o valor do indicador de desempenho observado (relativo a determinada empresa e a determinado mês) e o seu valor mínimo alvo que é definido e programado pelo colaborador responsável da EDP Valor por esse indicador. É de referir ainda que este *dashboard* foi desenvolvido tendo em conta os indicadores de desempenho já implementados atualmente (abordados na secção 3.6) e outros indicadores de desempenho pertinentes, referenciados na secção 2.8.1, e provenientes da classificação de *stock* de peças de reserva realizada (secção 5.3).

A área de planeamento do *dashboard* (figura 5.12) tem particular interesse para esta dissertação pois engloba a gestão de *stocks*, o planeamento dos aprovisionamentos (*supply planning*) e a previsão da procura (*demand planning*), uma vez que os valores dos parâmetros dos modelos propostos (secção 5.6) afetam, direta ou indiretamente, os valores dos seus indicadores de desempenho.

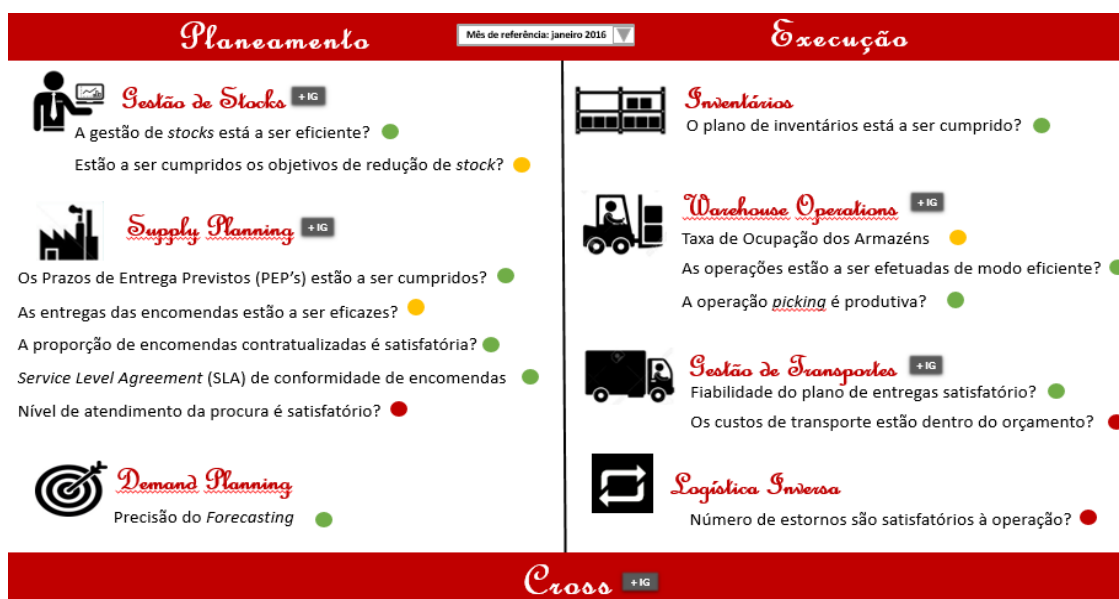


Figura 5.12- *Dashboard* de indicadores de desempenho logístico

5.7.1. Indicadores de Desempenho Incluídos no *Dashboard*

Após reuniões com colaboradores da EDP Valor, foram definidos os indicadores de desempenho a serem incluídos no *dashboard*. Os valores dos indicadores de desempenho apresentados nas tabelas 5.21 a 5.25 estão associados ao armazém da central termoelétrica de Sines da EDP Produção, retratando a atividade logística no mês de janeiro de 2016, sendo que uns traduzem os resultados específicos desse mês e outros são calculados de forma acumulada, relativamente ao comportamento nos últimos 12 meses.

Na tabela 5.21 são apresentados os valores dos indicadores de desempenho relativos à gestão de *stocks* que já se praticam atualmente na empresa (secção 3.6) e cujos valores foram calculados com precisão. É de realçar o valor relativamente elevado do índice de cobertura médio do armazém, isto é, o facto de a duração média do *stock* em armazém ser de 18,5 meses. Existe, ainda, uma elevada percentagem de valor de peças de reserva obsoletas (13%), sendo consideradas obsoletas todas as que não tiveram procura no histórico analisado, isto é, desde 2005.

Na tabela 5.22 são analisados os indicadores de desempenho implementados no decorrer deste trabalho de dissertação para as peças de reserva. Para além dos identificados na literatura (secção 2.8.1), são propostos, ainda, indicadores de desempenho provenientes da classificação de *stock* de peças de reserva realizada (secção 5.3). É de notar o valor reduzido do índice de rotação, em termos médios, que se observa no armazém, observando-se que, em média, o *stock* das peças de reserva rodou cerca de 4,2 vezes durante 2015. Os restantes valores estão resumidos na tabela e refletem as características do armazém no mês de janeiro de 2016. É de destacar, também, a percentagem elevada de peças de reserva *slow-movers*, com um IEP associado superior a 5 meses, conferindo um ritmo lento da procura associadas às peças de reserva do armazém.

Capítulo 5 – Implementação da Proposta de Gestão de Stocks

Tabela 5.21- Indicadores de desempenho de gestão de stocks já usados

Indicador de Desempenho	Valor
Índice de cobertura	18,50 meses
Valor das existências	9 283 637 €
Valor da procura	123 801 €
Valor dos obsoletos	1 206 676 €
Número de documentos emitidos	2 279
Número de movimentos em armazém	3824

Tabela 5.22- Indicadores de desempenho de gestão de stocks propostos

Indicador de Desempenho	Valor
Nível de stock inferior ao ponto de encomenda (s)	2,5%
Nível de stock superior ao stock máximo (S)	27%
Custo de posse do stock	928 363,7 €
Peças de reserva com procura intermitente	48,5%
Peças de reserva <i>slow-movers</i>	65,4%
Peças de reserva de criticidade V	19,1%
Peças de reserva obsoletas	11,1%
Peças de reserva não valorizadas	48%
Índice de rotação	4,2/ano

Na tabela 5.23 são apresentados os indicadores de desempenho de *supply planning* que já se praticam atualmente na empresa (secção 3.6), sendo de destacar o facto do valor do “SLA conformidade de encomendas” coincidir com o valor alvo pretendido (100%). Na tabela 5.24 são apresentados os indicadores de desempenho de *supply planning* implementados. No mês em consideração, 1,2% das procuras observadas resultaram em rutura, 12,8% das quais incidiram nas peças de reserva mais críticas (classificadas de V). Verifica-se, ainda, um valor relativamente elevado no prazo de entrega. No armazém de Sines, os fornecedores demoram, em média, cerca de 1,66 meses a realizarem as entregas, com uma variabilidade média associada de 1,08 meses.

Tabela 5.23- Indicadores de desempenho de *supply planning* já usados

Indicador de Desempenho	Valor
Cumprimento do prazo entrega pelo fornecedor	91,4%
SLA de conformidade de encomendas	100%

Tabela 5.24- Indicadores de desempenho de *supply planning* propostos

Indicador de Desempenho	Valor
Ruturas	1,2%
Ruturas com impacto na operação	12,8%
<i>Fill rate</i>	98,8%
Prazo de entrega médio	1,66 meses
Variabilidade do prazo de entrega	1,08 meses

Antes do cálculo dos indicadores de desempenho identificados nas tabelas 5.23 e 5.24, foi necessário reformular a obtenção dos indicadores “cumprimento do prazo de entrega pelo fornecedor” e “ruturas”. A reformulação do primeiro foi conseguida através da recolha dos prazos de entrega efetuada na secção 5.1, visto que existiam referências que não tinham Prazos de Entrega Previstos (PEP) definidos ou estavam desatualizados em sistema, o que não é positivo pois trata-se de uma variável fundamental para analisar o “cumprimento do prazo de entrega

pelo fornecedor”. Para além disso, influencia também a obtenção dos parâmetros de gestão de *stocks* e as notificações em SAP das necessidades para as datas previstas. Quanto ao indicador “raturas”, o anexo D apresenta uma estratégia de obtenção.

Na tabela 5.25 estão representados os indicadores de desempenho de *Demand Planning*, cuja implementação é proveniente das previsões efetuadas na secção 5.5. Os valores das medidas de erro apresentados correspondem ao valor médio relativo às 3490 referências de peças de reserva que foram sujeitas a previsões de procura.

Tabela 5.25- Indicadores de desempenho de *demand planning* propostos

Indicador de Desempenho	Valor
EAM	3,079
REQM	5,649

A partir do *dashboard* implementado (figura 5.12), que reflete a cada momento o comportamento dos indicadores mais relevantes, é possível controlar de forma mais adequada o desempenho das atividades logísticas e os recursos nelas aplicados, havendo em cada mês um ponto de referência que permitirá auxiliar na tomada de decisão. Este controlo permitirá, num futuro próximo, validar a capacidade de ajustamento dos modelos heurísticos aplicados na secção 5.6 nos armazéns da EDP Produção, pois a redução de custos (prevista pelo PRC) e a definição correta dos níveis de serviços têm impacto na melhoria em vários indicadores, como o índice de cobertura, o custo de posse do *stock*, o valor dos obsoletos, o nível de *stock* inferior ao ponto de encomenda, o nível de *stock* superior ao nível de *stock* máximo, as raturas, entre outros.

5.8. Síntese do Capítulo

Ao longo deste capítulo foram apresentados os passos, pressupostos e principais resultados obtidos na proposta de melhoria da gestão de *stocks* de peças de reserva, tendo sido seguidas as diversas etapas que constituem a metodologia definida na secção 1.5.

Numa primeira análise acerca das características essenciais referentes às 3490 referências de peças de reserva em estudo, que se encontram no armazém da central termoelétrica de Sines, conclui-se que apresentam uma elevada variabilidade em termos de procura, custo unitário, prazo de entrega e Intervalo médio Entre Procuras (IEP).

Foi aplicada a análise ABC, tendo sido considerado o critério valor anual (obtido pela soma do valor de *stock* médio observado em 2015 com o valor total de procura em 2015). Concluiu-se que cerca de 11% das referências de peças de reserva representam 80% do valor total em armazém (classe A) e a classe C, responsável por apenas 5% do valor anual total, engloba a maioria das referências de peças de reserva (cerca de 72%). Relativamente ainda às 3490 referências de peças de reserva, 19,1% pertencem à classe de maior criticidade (classe V), sendo as que mais comprometem a produção caso entrem em rutura. Do cruzamento destas

duas classificações (valor e criticidade) foi, então, possível definir níveis de serviço, tendo-se observado que 10,2% das referências de peças de reserva são geridas com um nível de serviço de 99% pois pertencem às classes (AV e BV) que necessitam de maiores esforços e recursos alocados na sua gestão.

Para a definição dos valores de fronteira que subdividem as peças de reserva nos 4 tipos de procura ou *clusters*, foi aplicado o método de *clustering* proposto por Eaves (2002). A partir deste método obteve-se conjuntos homogêneos de peças de reserva, decidindo-se efetuar a separação dos *clusters* e, conseqüentemente, de cada tipo de procura, para valores de CV² e de IEP iguais a 0,49 e 5 meses, respetivamente. A partir da classificação das peças de reserva nos tipos de procura, destaca-se a percentagem elevada de referências que pertencem ao tipo de procura intermitente, cerca de metade da amostra (48,5%).

A partir do ajustamento da procura a distribuições de probabilidade a uma amostra de 263 referências de peças de reserva, concluiu-se que para os tipos de procura errática e irregular a distribuição Gamma é a que melhor se ajusta aos dados. Para o tipo de procura contínua, a distribuição Normal é a que apresenta melhores resultados no ajustamento e o tipo de procura intermitente ajusta-se melhor, de uma maneira geral, à distribuição de Poisson, estando estes resultados em consonância com as conclusões do estudo efetuado por Syntetos, Babai & Altay (2010). Dos resultados dos testes de aderência estatística verificou-se, ainda, uma considerável percentagem que não se ajusta a nenhuma das distribuições de probabilidade para um nível de significância de 5%, favorecendo a aplicação de modelos heurísticos por não requererem qualquer tipo de requisito quanto ao comportamento da procura.

Após serem testados os 4 métodos de previsão de procura (Alisamento Exponencial Simples, Croston original, Croston Modificado – SBA e TSB) para peças de reserva dos 4 tipos de procura não singular, concluiu-se que o método TSB é o mais versátil, apresentando melhores resultados para todos os tipos de procura segundo as medidas de erro EAM e REQM, e reúne as 4 características que estão na base de uma boa previsão da procura, nomeadamente, i) a eficácia, ii) o custo de desenvolvimento do método, iii) o nível de resposta, iv) e simplicidade (Smith, 1994) (secção 2.6). Verificou-se ainda que quanto mais elevado é o IEP mais adequado é este método. Portanto, numa ótica de simplificar o processo de previsão da procura das 3490 referências de peças de reserva, implementou-se apenas o método TSB com valores da constante de alisamento α definidos para cada tipo de procura (0,05 para a procura errática, 0,15 para as procuras contínua e irregular e 0,2 para a procura intermitente).

Quanto à aplicação dos modelos de gestão de *stocks*, numa primeira análise, concluiu-se que os modelos clássicos de revisão contínua e periódica não são adequados visto que dependem do valor médio da procura (e não do valor de previsão) e são pouco sensíveis aos tipos de procura intermitente (com muitos meses de procura nula), errática e irregular (devido à elevada variabilidade), motivos pelo qual se optou por implementar os três modelos heurísticos apresentados.

Tendo como base a simulação anual de custos efetuada para o ano de 2015 (ver anexo C) e utilizando o indicador de desempenho Potencial de Redução de Custos (PRC), concluiu-se que o modelo heurístico de Naddor é o mais versátil e o que permite obter os custos mais reduzidos sem incorrer em maiores riscos, verificando-se que é o melhor para 70,8% das referências. Quanto à variável periodicidade de revisão do *stock* (T), necessária à aplicação do modelo, mostra-se adequada no caso de peças de reserva com um nível de serviço superior a 90% (que envolvem um maior esforço de gestão) e desadequada para peças de reserva com um nível de serviço de 90%, verificando-se referências com um valor de T bastante elevado (por vezes mais elevado do que o período de simulação, de 12 meses), estando expostas, demasiadas vezes, à rutura. O modelo heurístico *Power Approximation* é o mais sensível à variação do nível de serviço, variando muito o valor dos parâmetros (s, S) consoante o nível de serviço de cada referência, observando-se valores elevados para níveis de serviço elevados (de 99%) e valores reduzidos para níveis de serviço mais reduzidos (de 90%), o que permite, neste último caso, uma grande redução dos custos de posse nas peças de menor valor e menor criticidade. O modelo heurístico *Normal Approximation* é o que melhor se ajusta às peças de reserva com uma procura do tipo contínua. Assim, decidiu-se aplicar o modelo heurístico *Power Approximation* a todas as peças de reserva com um nível de serviço igual a 90%; o modelo heurístico de Naddor às peças de reserva com os tipos de procura errática, irregular e intermitente com um nível de serviço superior a 90%; e o modelo heurístico *Normal Approximation* às restantes, que se caracterizam por um tipo de procura contínua e um nível de serviço superior a 90%.

Numa amostra de 24 referências de peças de reserva, e segundo a estratégia de aplicação dos modelos definida, a simulação anual dita que em apenas 3 referências o modelo respetivo não permite reduzir custos (segundo o PRC). Em 2 das 3 referências os parâmetros obtidos são iguais aos atuais. Nas restantes (21 referências), é possível reduzir custos, atingindo valores de PRC até 68%, representando uma considerável melhoria na eficiência da gestão de *stocks* do armazém da central termoelétrica de Sines.

Com o objetivo de medir, avaliar, comparar e controlar a atividade logística e de validar a proposta desenvolvida nesta dissertação, foi desenvolvido um *dashboard* englobando os vários indicadores de desempenho considerados fundamentais para a gestão de *stocks*, planeamento dos aprovisionamentos e previsão da procura. Neste sentido, foram implementados 16 novos indicadores de desempenho, a juntar aos 8 já implementados na empresa.

6. Conclusões e Recomendações

Este é o capítulo final desta dissertação, onde é realizada uma descrição sucinta do trabalho desenvolvido e das principais conclusões obtidas nos diversos capítulos. Apresentam-se, ainda, as limitações da proposta e recomendações de trabalho futuro.

6.1. Conclusões Finais

Nesta dissertação foi estudada e proposta uma forma de melhorar a eficiência de gestão de *stocks* do armazém da central termoelétrica de Sines, a central mais importante que constitui o parque eletroprodutor da EDP Produção, com cerca de 21 627 referências para gerir. O problema em questão relaciona-se com um tipo específico de materiais, as peças de reserva, que são materiais com características específicas e distintas dos habitualmente analisados. As peças de reserva são maioritariamente de baixa rotação, mas determinantes para o processo produtivo, podendo o nível insuficiente de *stock* implicar paragens de produção e, conseqüentemente, custos elevados. Neste tipo de materiais, a procura é determinada pelas necessidades de manutenção dos equipamentos, sendo normalmente intermitente, pelo que existe grande incerteza na sua previsão, e o que aumenta o risco de obsolescência.

A melhoria do desempenho do armazém foi alcançada por meio de uma gestão de *stocks* adaptada às características das peças de reserva em estudo, permitindo, em alguns casos, uma previsão de melhoria do nível de serviço das peças de reserva mais importantes do armazém, mantendo o orçamento dentro dos níveis considerados aceitáveis pela gestão e, em outros casos, resolver o problema relacionado com o investimento excessivo em *stock* de peças de reserva que, por vezes, acaba por se tornar obsoleto.

Houve sempre a preocupação de estudar alternativas passíveis de serem implementadas na prática. No final, foi criado um sistema simples de cálculo dos parâmetros de gestão e delineada uma estratégia de atuação coerente e exequível. O estudo foi rigoroso e envolveu um total de 3490 referências de peças de reserva, que servem de base de aplicação à proposta de gestão de *stocks* e reúnem as características essenciais, tendo sido efetuado um processo de seleção (ou triagem) de peças de reserva constituído por 6 fases que excluiu, por exemplo, todas as que foram consideradas de obsoletas. Esta análise da obsolescência dos materiais deverá ajudar no processo de limpeza do armazém que há muito se necessitava.

Tendo em conta a diversidade de referências de peças de reserva, com especificidade, criticidade, procura, prazos de entrega, custo unitário e intervalo entre procuras muito variáveis, foi suscitada a necessidade de se utilizar uma metodologia de gestão sofisticada. Neste sentido, procedeu-se à reestruturação da classificação das peças de reserva, sendo agora usado um sistema mais intuitivo e adaptado à realidade, o qual permite uma melhor avaliação dos efeitos reais que as decisões de gestão exercem no desempenho geral do armazém. Como tal, são

agora classificadas de acordo com o seu valor, criticidade (importância para as unidades produtivas) e tipo de procura, concluindo-se que cerca de 11% das referências representam 80% do valor total em armazém (classe A) e a classe C, responsável por apenas 5% do valor total, engloba a maioria das referências de peças de reserva (cerca de 72%). Para além disso, 19,1% pertencem à classe de maior criticidade (classe V), comprometendo a produção caso entrem em rutura. Do cruzamento destas duas classificações (valor e criticidade) definiram-se níveis de serviço, tendo-se observado que 10,2% são geridas com um nível de serviço de 99% pois pertencem às classes (AV e BV) que necessitam de maiores esforços e recursos alocados na sua gestão. A partir da classificação das peças de reserva nos tipos de procura (errática, irregular, contínua ou intermitente), com base na variabilidade da procura (CV^2) e no Intervalo médio Entre Procuras (IEP), destaca-se a percentagem elevada de referências que pertencem ao tipo de procura intermitente, cerca de metade da amostra (48,5%).

A classificação teve como finalidade auxiliar a decidir quais os métodos de previsão e modelos de gestão de *stocks* a aplicar a cada conjunto de referências, de forma a perceber as necessidades do futuro e decidir as ações a realizar no reaprovisionamento, respetivamente. Por consequência, o *output* do processo de previsão constitui o *input* dos modelos de gestão de *stocks*, já que muitos modelos partem do valor previsto da procura e do desvio padrão associado. Portanto, para uma melhor gestão das peças de reserva identificaram-se e testaram-se vários métodos de previsão da procura e modelos de gestão de *stocks*, com a preocupação de encontrar a combinação que permite a obtenção de melhores resultados, isto é, de menores custos. A pesquisa bibliográfica permitiu a apresentação de uma proposta de metodologia de gestão de *stocks* (anexo A) a aplicar num armazém de peças de reserva. Esta proposta é apresentada num fluxograma, de acordo com requisitos ou pressupostos, nomeadamente quanto ao tipo de distribuição de probabilidade a que os dados se ajustam, funcionando como um auxílio na tomada de decisão na seleção do melhor modelo de gestão de *stocks* a ser aplicado consoante as características de cada peça de reserva. Alguns modelos partem ainda da aplicação de métodos de previsão específicos

Após a realização dos testes de ajustamento da procura a distribuições de probabilidade, verificaram-se os mesmos resultados do estudo efetuado por Syntetos, Babai & Altay (2010), visto que a distribuição que melhor se adapta à procura contínua é a Normal, a distribuição de Poisson é a que melhor representa a procura intermitente e, por fim, a distribuição Gamma é a que melhor descreve a procura das peças de reserva com os tipos de procura irregular e errática. No entanto, dada a grande incerteza associada à procura enfrentada por este tipo de materiais, o seu ajustamento à distribuição mais correta e o cálculo dos parâmetros a partir de uma política de otimização tornam-se difíceis de obter. De facto, uma considerável percentagem das peças de reserva do armazém não se ajusta a nenhuma das distribuições de probabilidade para um nível de significância de 5%, favorecendo a implementação de modelos heurísticos por não requererem qualquer tipo de requisito quanto à distribuição da procura (ver anexo A). Para além disso, foi provada a adaptabilidade dos modelos heurísticos em gerar os parâmetros mais

adequados em termos de custos mais reduzidos e, portanto, estes foram os modelos implementados.

Os modelos heurísticos aplicados, *Normal Approximation*, *Power Approximation* e de *Naddor*, podem partir de qualquer um dos métodos de previsão existentes na literatura associados a materiais de baixa rotação, nomeadamente o método de Croston original, o método de Croston modificado – SBA, e o método TSB. Concluiu-se que o método TSB é o mais eficaz, sendo dotado de uma grande versatilidade para todos os tipos de procura, e produz melhores resultados (relativamente aos restantes) para as medidas de erro consideradas, nomeadamente o EAM e a REQM, tendo sido implementado para todas as peças de reserva com valores da constante de alisamento α definidos para cada tipo de procura, nomeadamente 0,05 para a procura errática, 0,15 para as procuras contínua e irregular e 0,2 para a procura intermitente.

A decisão quanto ao modelo heurístico que melhor se aplica a cada tipo de procura e a cada nível de serviço (definido com base no cruzamento da classificação ABC em valor e da classificação VED de criticidade) foi tomada após a análise dos resultados da simulação anual de custos efetuada para 2015 (ver anexo C), baseada em dados reais da procura e utilizando o indicador de desempenho Potencial de Redução de Custos (PRC). Da análise dos parâmetros obtidos, concluiu-se que o modelo heurístico de *Naddor* é o que consegue reduzir, mais consideravelmente, os custos sem incorrer em maiores riscos, observando-se ser o mais favorável em 70,8% das referências de peças de reserva. Com base nos resultados do PRC obtido para as 3490 referências de peças de reserva, decidiu-se aplicar o modelo heurístico *Power Approximation* a todas as peças de reserva com um nível de serviço igual a 90%; o modelo heurístico de *Naddor* às peças de reserva com os tipos de procura errática, irregular e intermitente e com um nível de serviço superior a 90%; e o modelo heurístico *Normal Approximation* às restantes peças de reserva, que se caracterizam por um tipo de procura contínua e um nível de serviço superior a 90%.

Segundo esta estratégia, que foi validada a partir da evolução de resultados representada na figura 5.11 (secção 5.6.2), o modelo heurístico *Power approximation* é o que mais se destaca na redução do valor dos parâmetros ponto de encomenda (s) e nível de *stock* máximo (S) (em 83,2% e 62% dos casos, respetivamente) visto que é aplicado apenas a peças de reserva com um nível de serviço de 90%, isto é, com maior risco de rutura. O modelo heurístico de *Naddor* é o mais equilibrado e o que mais aproxima os valores dos seus parâmetros aos observados atualmente no sistema, sendo que os seus desvios (de s e S), em cerca de metade da amostra, é inferior a 50% dos respetivos valores atuais. Concluiu-se, ainda, que em 87,5% da amostra é possível reduzir custos com a proposta implementada, atingindo-se valores de PRC até 68%, o que representa uma considerável melhoria na eficiência da gestão de *stocks* do armazém da central termoelétrica de Sines. Para além disso, este ajuste dos parâmetros de gestão de *stocks* permite uma mais adequada emissão de encomendas planeadas pela plataforma SAP e, conseqüentemente das encomendas colocadas pelo gestor de *stocks* (ver secção 3.5.2),

permitindo responder de uma maneira mais eficiente ao futuro comportamento da procura de cada referência.

Apesar de terem sido obtidos resultados positivos para uma grande quantidade de referências, em termos do indicador PRC, é determinante que se tenha algum sentido crítico na validação dos parâmetros, tendo em conta a complexidade de gestão deste tipo de materiais. Um exemplo é o caso da peça de reserva P1.10 (procura errática e de classificação AV) onde, à partida as conclusões, seriam no sentido de se manterem os parâmetros atuais ($s=5$ e $S=10$) devido ao facto de haver um aumento de custos com a implementação do modelo heurístico de Naddor e de ser uma peça com um custo unitário relativamente elevado (86,8 €). No entanto, sendo uma peça de reserva crítica para a produção, com uma grande variabilidade de procura e um elevado prazo de entrega ($L=7$ meses), é recomendável a adoção dos parâmetros propostos ($s=20$ e $S=23$), aceitando-se o esperado incremento nos custos de gestão.

Com vista à avaliação, medição, comparação e controlo do desempenho da gestão de *stocks* das diferentes empresas do Grupo EDP às quais a EDP Valor presta serviço logístico, garantiu-se que os atuais e novos indicadores de desempenho revelam informações reais de modo a analisar a evolução dos resultados ao longo do tempo e corrigir possíveis desvios. Com o intuito de validar esta e outras futuras propostas de melhoria na gestão de *stocks*, propôs-se um *dashboard*, que reflete a cada momento o comportamento dos indicadores de desempenho considerados fundamentais na gestão logística do negócio, o que torna possível controlar de forma mais adequada o desempenho das atividades e os recursos nelas aplicados. Neste sentido, foram implementados 16 novos indicadores de desempenho pertinentes para a gestão de *stocks*, planeamento dos aprovisionamentos e previsão da procura de peças de reserva, juntando aos 8 que já se praticam atualmente na empresa, tendo sido necessário, ainda, proceder-se a uma estratégia de obtenção de 2 indicadores de desempenho, o “cumprimento do prazo de entrega pelos fornecedores” e o de “raturas”.

Com a implementação da proposta apresentada nesta dissertação e após a análise dos resultados da simulação anual de custos para 2015 (ano utilizado como amostra de validação da previsão mensal da procura), consegue-se atingir o objetivo da empresa e um dos objetivos principais da logística: ter níveis de serviço os mais adequados possíveis a cada classe de peças recorrendo a menores custos. Ao nível interno, uma das preocupações principais foi a de incluir os colaboradores da EDP Valor no âmbito deste trabalho, envolvendo-os nos processos de tomada de decisão.

6.2. Limitações e Propostas de Trabalho Futuro

A dissertação lançou as bases para um melhor funcionamento do armazém. No entanto, existem nesta proposta algumas limitações e muito poderá ser feito no futuro com vista a um resultado cada vez mais satisfatório.

- i) Existe a possibilidade de não ser possível obter os parâmetros mais adequados para certas referências de peças de reserva a partir dos modelos heurísticos implementados devido a diversos fatores, nomeadamente a existência de apenas 263 referências de peças de reserva que apresentaram mais do que 15 registos de procura mensal desde 2005 e o facto de os modelos heurísticos não considerarem fatores que podem ser determinantes, como é o caso da variabilidade do prazo de entrega e o tipo de manutenção aplicado a cada referência. Neste sentido, propõe-se no futuro:
- O enquadramento do critério prazo de entrega no sistema de classificação multicritério para posterior definição do nível de serviço, afetando diretamente a aplicação dos modelos heurísticos. Este pode ser um aspeto importante pois trata-se de uma variável que possui muita variabilidade e é importante na gestão do negócio das peças de reserva;
 - O desenvolvimento de um sistema de manutenção integrado que permita avaliar o sistema de falhas dos diversos equipamentos e, assim, confrontar as previsões da procura obtidas pelo método TSB com as previsões do sistema de falhas, já que “neste tipo de materiais, a procura é determinada pelas necessidades de manutenção dos equipamentos” e, portanto, a manutenção dos equipamentos e a gestão de *stocks* de peças de reserva não podem ser dissociadas (Van Horenbeek *et al.*, 2013). Este sistema poderia também ser uma ferramenta importante na reestruturação da classificação de criticidade das peças de reserva, na medida em que a realização de uma matriz de risco dos equipamentos (considerando a consequência da falha e a probabilidade de ocorrência da mesma) seria útil na atribuição das classes de criticidade.
- ii) A avaliação da tendência do desempenho dos métodos de previsão da procura com a variação da constante de alisamento α na tentativa de otimizar este valor empiricamente é um desafio atingível. Para além disso, ao invés da definição do valor de α fixo para cada tipo de procura, baseado nas indicações de Teunter *et al.* (2011) e nos testes (limitativos) feitos a 4 peças de reserva, poder-se-ia ter definido o valor de α (otimizado) individualmente para cada referência, minimizando a REQM através da programação, o que fugiria, no entanto, à simplificação do processo.
- iii) No caso da aplicação do modelo heurístico de Naddor, o cálculo da probabilidade da não ocorrência de procura ($P(0)$) para uma dada referência deveria ter sido obtido a partir da distribuição que melhor se ajusta à procura da mesma e não a partir da equação 24 (tendo sido usada como uma aproximação).
- iv) O cálculo dos custos reais de *stock* para cada referência de peça de reserva, ou de forma mais genérica, por conjuntos de referências, aproximaria os resultados previstos deste estudo aos resultados ótimos. Nomeadamente, o custo fixo de aprovisionamento (C_a) e a taxa de custo posse mensal (i_{mensal}) foram definidos segundo pressupostos: no primeiro caso pela proporção da contratualização de referências; e no segundo caso pela

representatividade do custo de oportunidade de investimento do capital imobilizado no custo de posse. No entanto, dada a elevada sensibilidade que os modelos heurísticos têm a estas variáveis na geração dos seus parâmetros, seria importante um estudo mais aprimorado na definição do valor real das mesmas através dos seus fatores apresentados na secção 2.2.

- v) Os testes de aderência estatística a uma distribuição de probabilidade poderiam ter sido realizados não só ao comportamento da procura como também ao prazo de entrega e intervalo entre procuras de cada referência, permitindo que a estratégia apresentada na figura 5.9 seja aplicada juntamente com a metodologia de gestão de *stocks* proposta no anexo A, visto que a seleção do modelo que melhor se ajusta a cada referência de peça de reserva depende dos requisitos em função do tipo de distribuição de probabilidade a que os dados se ajustam relativamente ao comportamento da procura, prazo de entrega, à procura durante o prazo de entrega e ao intervalo de tempo entre procuras. No entanto, para um elevado conjunto de referências este processo seria bastante moroso, a não ser que se recorra a uma simulação computacional por via da programação para selecionar o melhor modelo para cada referência.

- vi) O *dashboard* implementado permite o controlo do desempenho auxiliando as tomadas de decisão ao nível da logística. Neste sentido, recomenda-se que seja utilizado para validar a capacidade de ajustamento dos modelos heurísticos aplicados na secção 5.6 no armazém da central termoelétrica de Sines, pois são notórios o impacto e as eventuais melhorias de vários indicadores como o índice de cobertura, o custo de posse do *stock*, o valor dos obsoletos, as ruturas, entre outros.

- vii) Em último lugar, e paralelamente à proposta de melhoria da gestão de *stocks*, poder-se-ia remodelar o *layout* do armazém, de modo a permitir um melhor manuseamento dos materiais e o descongestionamento de algumas áreas. Neste sentido, seria útil retirar-se as peças de reserva consideradas obsoletas, que foram identificadas na dissertação e que ocupam parte da área útil do armazém.

É fulcral fazer com que todos os intervenientes nesta cadeia de abastecimento percebam as necessidades da central termoelétrica de Sines e atuem em conformidade. É importante exigir prazos de entrega menos variáveis aos fornecedores de modo a facilitar a gestão de *stocks* do armazém e incutir aos técnicos de manutenção a sensibilidade de perceber quando uma peça de reserva é ou não crítica, quando é ou não importante a nível económico e quando a sua procura é ou não intermitente ou imprevisível, contribuindo para a tomada de decisões mais eficazes. Assim, só com a colaboração de todos, se poderá prosseguir na direção da melhoria contínua e da gestão de *stocks* mais eficiente.

Bibliografia

- Alho, O. (2009). *Spare Parts's Logistics Flow Optimization at Qimonda Portugal SA*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em 3 de março de 2016, de: <http://hdl.handle.net/10216/66715>
- Ângelo, L. B. (2005). *Indicadores de desempenho logístico*. Santa Catarina: UFSC. Obtido em 4 de março de 2016, de: <http://www.cgimoveis.com.br/Members/aladevig/indicadores.pdf>
- Babai, M., Syntetos, A. A., & Teunter, R. (2010). On the empirical performance of (T, s, S) heuristics. *European Journal of Operational Research*, 202(2), 466–472.
- Babai, M. Z., Syntetos, A., & Teunter, R. (2014). Intermittent demand forecasting: An empirical study on accuracy and the risk of obsolescence. *International Journal of Production Economics*, 157(1), 212–219.
- Bacchetti, A., & Saccani, N. (2012). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40(6), 722–737.
- Bailey, G. J., & Helms, M. M. (2007). MRO inventory reduction—challenges and management: a case study of the Tennessee Valley Authority. *Production Planning & Control*, 18(3), 261–270.
- Ballou, R. H. (2006). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial (5ª edição)*. Porto Alegre: Bookman, 5ª edição.
- Benetti, K. C., Girardi, D. Rodrigues, C. M. T., & Cortes A. F. (2008). *Modelo de avaliação de desempenho logístico de um centro de distribuição do setor supermercadista*. Obtido em 7 de março de 2016, de: <http://sistema.semead.com.br/11semead/resultado/trabalhosPDF/551.pdf>
- Bošnjaković, M. (2010). Multicriteria Inventory Model for Spare Parts. *Issn*, 17(4), 499–504.
- Botter, R., & Fortuin, L. (2000). Stocking strategy for service parts—a case study. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(6), 656–674.
- Bourne, M., Mills, J., Wilcox, M., Neely, A., & Platts, K. (2000). Designing , implementing and updating performance measurement systems. *The Internation Journal of Operations & Production Management*, 20(7), 754–771
- Braglia, M., A. Grassi, & R. Montanari. (2004). Multiattribute classification method for spare parts inventory management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(1), 55-65.
- Braglia, M., & Frosolini, M. (2013). Virtual pooled inventories for equipment-intensive industries. An implementation in paper district. *Reliability Engineering and System Safety*, 112, 26–37.

Bibliografia

- Brenhas, M. J., & Dinis, M. A. (2009). *Vantagens do Ciclo Combinado a Gás Natural face a outras Tecnologias de Produção de Energia . Estudo de Caso : A Central da Tapada do Outeiro, Portugal*. UFP. Obtido em 19 de março de 2016, de: [//bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/952/2/22-39.pdf](http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/952/2/22-39.pdf)
- Cachola, C. F. G. (2014). *Um sistema de avaliação de desempenho logístico na Delta Cafés: caso de estudo*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Obtido em 11 de março de 2016, de: <http://hdl.handle.net/10362/14054>
- Callegaro, A. (2010). *Forecasting Methods for Spare Parts Demand*. Ph.D Thesis, Itália: Università De'Gli Studi Di Padova - Facoltà Di Ingegneria. Obtido em 4 de fevereiro de 2016, de: tesi.cab.unipd.it/25014/1/TesiCallegaro580457.pdf
- Carstens, D. S., Richardson, G. L., & Smith, R. B. (2013). *Project Management Tools and Techniques: A Practical Guide (1st edition)*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Carvalho, J. C., Guedes, A. P., Arantes, A. J. M., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., Ramos, T., *et.al* (2012). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Lisboa, Edições Sílabo, Lda.
- Cavaliere, S., & Garetti, M. (2008). A decision-making framework for managing maintenance spare parts. *Production Planning & Control*, 19(4), 379–396.
- Celebi, D., Bayraktar, D., & Ayka, D. S. O. (2008). Multi Criteria Classification for Spare Parts Inventory. *Proceedings of the 38Th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 1-3, 1780–1787.
- Chase, C. (2009). *Demand-driven forecasting: A structured approach to forecasting*. New Jersey: John Wiley & Sons: Hoboko.
- Chu, C.-W., Liang, G.-S., & Liao, C.-T. (2008). Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 841–851.
- Conceição, S. V., da Silva, G. L. C., Lu, D., Nunes, N. T. R., & Pedrosa, G. C. (2015). A demand classification scheme for spare part inventory model subject to stochastic demand and lead time. *Production Planning & Control*, 7287, 1–14.
- Croston, J. D. (1972). Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. *Journal of the Operational Research Society*, 23(3), 289–303.
- CSCMP. (2014). *Council of supply chain management professionals*. CSCMP. Obtido em janeiro de 2016, de: <http://cscmp.org/about-us/supply-chain-management-definitions>.
- Davidson, A. L. (2006). *Key Performance Indicators in Humanitarian Logistics*. Obtido em 10 de março de 2016, de: http://www.fritzinstitute.org/pdfs/findings/xs_davidson_anne.pdf
- Dekker, R., Kleijn, M. J., & De Rooij, P. J. (1998). A spare parts stocking policy based on

Bibliografia

- equipment criticality. *International Journal of Production Economics*, 56-57(97), 69–77.
- Dunsmuir, W. T. M., & Snyder, R. N. (1989). Control of inventories with intermittent demand. *European Journal of Operational Research*, 40(1), 16–21.
- Eaves, A. (2002). *The Forecasting for the ordering and stock holding of consumable spare parts*. Unpublished PhD thesis, Lancaster University, UK.
- EDP (2004). *Manual de utilizador MRP/Gestão de Stocks*. EDP.
- EDP (2014a). Declaração Ambiental 2014 - Central Termoelétrica de Sines. Obtido em 18 de março de 2016, de: http://www.a-nossa-energia.edp.pt/pdf/desempenho_ambiental/da_76_2014_cen_term.pdf
- EDP (2014b). *Relatório Técnico 2014 EDP - Geração Convencional*. EDP.
- EDP (2016a). *Manual da organização*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://mo.edp.pt/PT/content/>
- EDP (2016b). *História EDP*. Obtido em 18 de março de 2016, de <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/OurCompany/AboutUs/OurHistory/Paginas/HistoriaEDP.aspx>.
- EDP (2016c). *Sobre a EDP*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://www.edp.pt/pt/aedp/sobreaedp/Pages/aEDP.aspx>.
- EDP (2016d). *Our company*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/OurCompany/AboutUs/Paginas/default.aspx>
- EDP (2016e). *Dow Jones Sustainability Indices*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/abordagemasustentabilidade/reconhecimento/dowjonesustainabilityindex/Pages/DowJones.aspx>.
- EDP (2016f). *EDP ranking Forbes*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/NewsAndEvents/News/EDP%20Group/2014/05/Paginas/edprankingforbes.aspx>
- EDP (2016g). *Resultados Investidores*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://www.edp.pt/pt/investidores/resultados/2012/Handout>
- EDP (2016h). *Cadeia de Valor EDP*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/BusinessAreas/cadeiadevalor/Paginas/cadeiadevalorEDP.aspx>
- EDP (2016j). *Dados Relatório e Contas*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/OurCompany/AboutUs/EDPindicators/Paginas/default.aspx>

Bibliografia

- EDP (2016f). *EDP ranking Forbes*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/NewsAndEvents/News/EDP%20Group/2014/05/Paginas/edprankingforbes.aspx>
- EDP (2016g). *Resultados Investidores*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://www.edp.pt/pt/investidores/resultados/2012/Handout>
- EDP (2016h). *Cadeia de Valor EDP*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/BusinessAreas/cadeiadevalor/Paginas/cadeiadevalorEDP.aspx>
- EDP (2016j). *Dados Relatório e Contas*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/OurCompany/AboutUs/EDPIndicators/Paginas/default.aspx>
- EDP (2016l). *Geração de eletricidade*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://intranet.edpon.edp.pt/pt/BusinessAreas/ElectricityGeneration/Paginas/geracaodeeletricidade.aspx>
- Ehrhardt, R. (1979). The power approximation for computing (s,S) inventory policies. *Management Science*, 25, 777–786.
- Feeney, G., & Sherbrooke, C. (1966). The (s - 1, s) inventory policy under compound Poisson demand. *Management Science*, 12, 391–411.
- Forbes. (2016). *Forbes*. Obtido em 18 de março de 2016, de: <http://www.forbes.com/>
- Gajpal, P. P., Ganesh, L. S., & Rajendran, C. (1994). Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 35(1-3), 293–297.
- Gardner, E. S. (1985). Exponential smoothing: the state of the art. *Journal of Forecasting*, 4, 1–28.
- Ghobbar, A. A., & Friend, C. H. (2002). Sources of intermittent demand for aircraft spare parts within airline operations. *Journal of Air Transport Management*, 8(4), 221–231.
- Gomes, A. V. P., & Wanke, P. (2008). Modelagem da gestão de estoques de peças de reposição através de cadeias de Markov. *Gestão & Produção*, 15-1, 57-72.
- Gonçalves, M. (2014). *Modelo de Gestão de Stocks de Peças de Reposição da Brisa Inovação e Tecnologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Obtido em 2 de fevereiro de 2016, de: <http://hdl.handle.net/10362/14298>
- Graham, I., Goodall, P., Peng, Y., Palmer, C., West, A., Conway, P., & Dettmer, F. U. (2015). Performance measurement and KPIs for remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 5(1), 10-27.
- Guajardo, M., Rönnqvist, M., Halvorsen, A. M., & Kallevik, S. I. (2014). Inventory management of

Bibliografia

- spare parts in an energy company. *Journal of the Operational Research Society*, 66(2), 331–341.
- Gunasekaran, A., & Kobu, B. (2007). Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications. *International Journal of Production Research*, 45(12), 2819–2840.
- Gutierrez, R.S., Solis, A.O., & Mukhopadhyay, S. (2008). Lumpy demand forecasting using neural networks. *International Journal of Production Economics*, 111, 409–420.
- Hatefi, S. M., Torabi, S. a., & Bagheri, P. (2014). Multi-criteria ABC inventory classification with mixed quantitative and qualitative criteria. *International Journal of Production Research*, 52, 776–786.
- Hax, A., & Candeia, D. (1984). *Production and Inventory Management*. NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Heizer, J., & Bender, B. (2001). *Operations Management (6th edition)*. NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Hoshmand A. R. (2010) *Business Forecasting. A practical approach*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Hua, Z. S., Zhang, B., Yang, J., & Tan, D. S. (2007). A new approach of forecasting intermittent demand for spare parts inventories in the process industries. *Journal of the Operational Research Society*, 58(1), 52–61.
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71(1-3), 125–133.
- Hyndman, R.J., & Koehler, A.B., (2006). Another look at measures of forecast accuracy, *International Journal of Forecasting*, 22, 679-688.
- Johnston, F. R., Boylan, J. E., & Shale, E. A. (2003). An examination of the size of orders from customers, their characterisation and the implications for inventory control of slow moving items. *Journal of the Operational Research Society*, 54(8), 833–837.
- Kennedy, W. J., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, 76, 201–215.
- Kholidasari, I. (2013). *The implications of judgemental interventions into an inventory system*. Salford, UK: PhD Thesis, Salford Business School, College of Business & Law, University of Salford.
- Krauth, E., Moonen, H., Popova, V., & Schut, M. (2005). Performance Indicators in Logistics Service Provision and Warehouse Management - A literature review, 1–10. Obtido em 5 de março de 2015, de: http://www.researchgate.net/profile/Hans_Moonen/publications
- Levén, E., & Segerstedt, A. (2004). Inventory control with a modified Croston procedure and Erlang distribution. *International Journal of Production Economics*, 90(3), 361–367.

Bibliografia

- Louit, D., Pascual, R., Banjevic, D., & Jardine, A. K. S. (2011). Condition-based spares ordering for critical components. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(5), 1837–1848.
- Makridakis, S., & Hibon, M., (1991) Exponential smoothing: The effect of initial values and loss functions on post-sample forecasting accuracy. *International Journal of Forecasting*, 7, 317-330.
- Naddor, E. (1975). Optimal and heuristic decisions on single and multi-item inventory systems. *Management Science*, 21, 1234–1249.
- Naddor, E., Cohen, M. a., Zheng, Y.-S., & Agrawal, V. (1997). Optimal and Heuristic Decisions in Single-and Multi-Item Inventory Systems. *Management Science*, 29(11), 1234–1249.
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design - A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 80–116.
- Nenes, G., Panagiotidou, S., & Tagaras, G. (2010). Inventory management of multiple items with irregular demand: A case study. *European Journal of Operational Research*, 205, 313-324.
- Parmenter, D. (2007). *Key performance indicators : developing, implementing, and using winning KPIs (2nd edition)*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pereira, Z. L., & Requeijo, J. G. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos (2ª edição)*. Caparica, FFCT - Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Porras, E., & Dekker, R. (2008). An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison of different re-order point methods. *European Journal of Operational Research*, 184(1), 101–132.
- Portal Action (2015). *Teste de Kolmogorov-Smirnov-Inferência*. Obtido em 2 de junho de 2016, de: <http://www.portalaction.com.br/inferencia/62-teste-de-kolmogorov-smirnov>
- Rego, J.R. & Mesquita, M.A. (2011). Spare parts inventory control: a literature review. *Produção*, 21-4, 656-666.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). *The Handbook of Logistics & Distribution Management (4th Edition)*. UK: Kogan Page Limited.
- Reis, L. (2006). *Manual da Gestão de Stocks: Teoria e Prática (2ª ed.)*. Lisboa: Editorial Presença.
- Rodrigues, I. A., & Santos, A. M. (2006). Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química. *Gestão & Produção*, 13(2), 223–231.
- Sani, B., & Kingsman, B. G. (1997). Selecting the Best Periodic Inventory Control and Demand Forecasting Methods for Low Demand Items. *Journal of the Operational Research Society*,

Bibliografia

- 48(7), 700–713.
- Segerstedt, A. (1994). Inventory control with variation in lead times, especially when demand is intermittent. *International Journal of Production Economics*, 35(1-3), 365–372.
- Silva, G. (2009). *Modelo de estoque para peças de reposição sujeitas à demanda intermitente e lead time estocástico*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Obtido em 15 de fevereiro de 2016, de: <http://hdl.handle.net/1843/AMCN-8AGFA3>
- Smith, S. B. (1994). *Computer based production and inventory control*. NJ: Prentice Hall PTR Upper Saddle River.
- Silver, E.A., Pyke, D.F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3rd Edition. Wiley, New York.
- Strijbosch, L. W. G., Heuts, R. M. J., & van der Schoot, E. H. M. (2000). A combined forecast—inventory control procedure for spare parts. *Journal of the Operational Research Society*, 51(10), 1184–1192.
- Syntetos, A. A., Babai, M. Z., & Altay, N. (2010). Modelling spare parts' demand: An empirical investigation. *8th International Conference of Modeling and Simulation - MOSIM'10*. Obtido em 12 de fevereiro de 2016, de: <http://www.enim.fr/mosim2010/articles/68.pdf>
- Syntetos, A. A. B. J. (2001). On the bias of information estimates. *International Journal of Production Economics*, 71(2), 457–466.
- Syntetos, A. A., Babai, M. Z., & Altay, N. (2012). On the demand distributions of spare parts. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2101–2117.
- Syntetos, A. A., Boylan, J. E., & Croston, J. D. (2005). On the categorization of demand patterns. *Journal of Operational Research Society*, 56(5), 495-503.
- Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2006). On the stock control performance of intermittent demand estimators. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 36–47.
- Teunter, R. H., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2011). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 606–615.
- Teunter, R., & Sani, B. (2009). Calculating order-up-to levels for products with intermittent demand. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 82–86.
- USAID. (2006). *Monitoring and Evaluation Indicators for Assessing Logistics Systems Performance*. Obtido em 17 de março de 2016, de: http://deliver.jsi.com/dlvr_content/resources/allpubs/guidelines/ME_Indi.pdf
- Van Horenbeek, A., Buré, J., Cattrysse, D., Pintelon, L., & Vansteenwegen, P. (2013). Joint maintenance and inventory optimization systems: A review. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 499–508.

Bibliografia

- Velagić, A. (2012). *Spare parts management improvement at KLM Equipment Services. Series Master Theses Operations Management and Logistics*. Eindhoven: TUE. School of Industrial Engineering. Obtido em 2 de maio de 2016, de: http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/tm/Velagic_2012.pdf
- Wagner, H. M. (1975). *Principles of Management Science (With Applications to Executive Decisions)*. NJ: Prentice-Hall, Inc ,Englewood Cliffs.
- Waters, D. (2003). *Logistics: An introduction to supply chain management*. New York: Basingstoke.
- Willemain, T. R., Smart, C. N., & Schwarz, H. F. (2004). A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting*, 20(3), 375–387.
- Williams, T M. (1984). Stock control with sporadic and slow-moving demand. *Journal of the Operational Research Society*, 35 (10), 940-948.
- Yuen, S. M. (2006). *Performance Measurement and Management of Third Party Logistics : An Organizational Theory Approach*. Obtido em 14 de março de 2016, de <http://hdl.handle.net/123456789/2498>
- Zago, C. A., Abreu, L. F., Grzebieluckas, C., & Bornia, A. C. (2008) Modelo de avaliação de desempenho logístico com base no balanced scorecard (BSC): proposta para uma pequena empresa. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 2, 19-37.
- Zermati, P. (2000). *Gestão de Stocks (2ª ed.)*. Lisboa: Editorial Presença.
- Zimmerman, S. M., Kazandjian, V. A., & Icenogle, M. L. (2003). *Statistical quality control using Excel*. ASQ Quality Press.
- Zipkin, P. (2000). *Foundations of inventory management*. Burr Ridge, McGraw-Hill.

Anexos

Anexo A – Proposta de Metodologia de Gestão de Stocks de Peças de Reserva

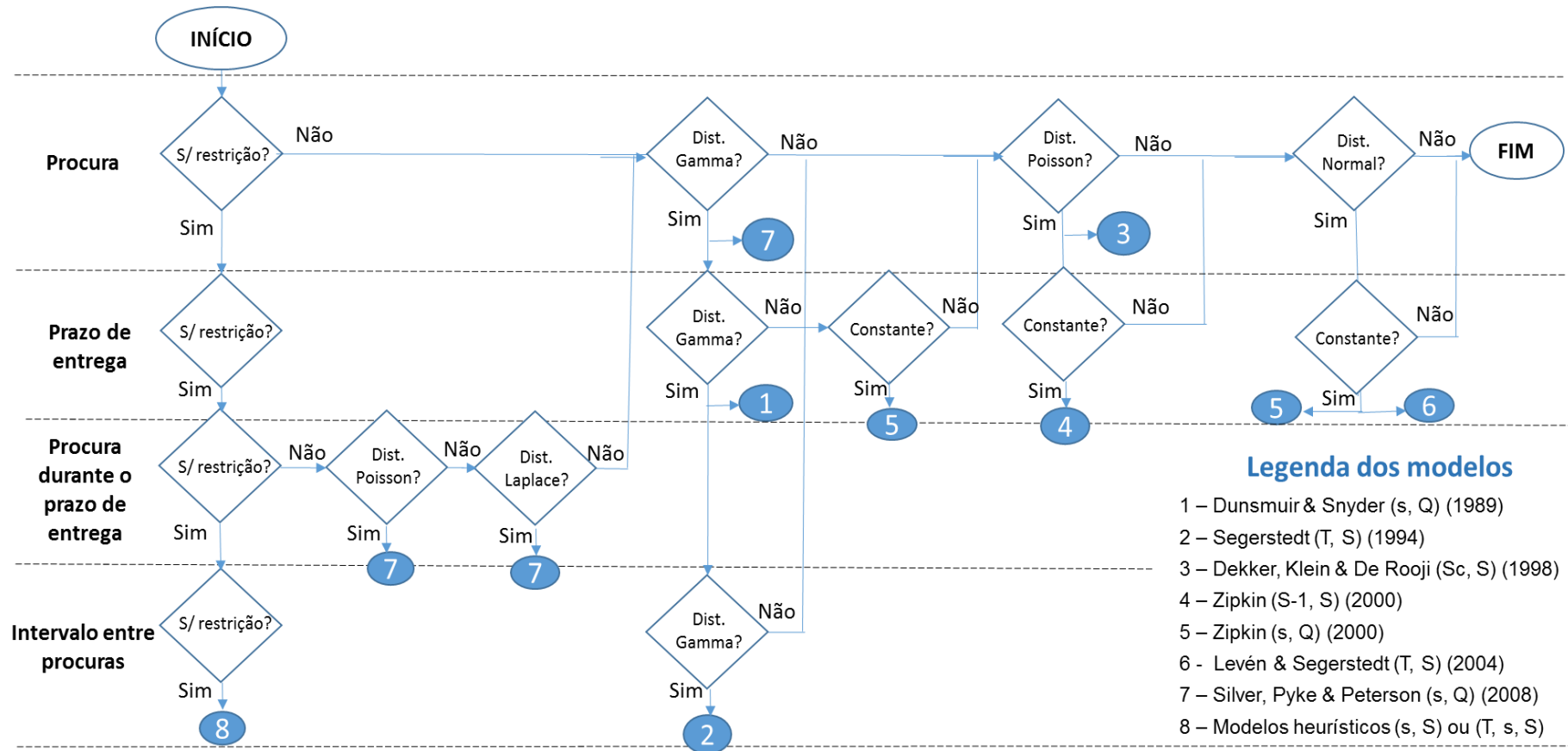


Figura A1- Proposta de metodologia de gestão de stocks de peças de reserva

Anexo B – Listagem das Referências de Peças de Reserva

Na tabela B1 encontra-se representada uma lista de referências de peças de reserva que são utilizadas no estudo. Nesta lista encontra-se identificado o código atribuído ao longo da dissertação, o número da referência na plataforma SAP e uma breve descrição da mesma.

Tabela B1 – Referências de peças de reserva utilizadas no estudo

Código	Referência SAP	Descrição
P1.1	20040394	Módulo ABB CBC 11-P
P1.2	20058235	Grelha Magaldi STA615F
P1.3	20052872	Injetor Munters 1/2VX28 100BPP
P1.4	20051209	Tube Flex AIN c/ Malha Aço 2"X1200
P1.5	20064990	Escova Schunk E43 97.962/028 16X32X68MM
P1.6	20066020	Jogo Reparação Swagelock KPR1ERA422A2000
P1.7	20064573	Ânodo Zinco CZ5 TOM
P1.8	20075520	Produto Proteção p/ Correias TRMS
P1.9	10046341	Chapa DES:H-00535
P1.10	10045086	Parka Prot Ignífuga EDPP
P1.11	20060169	Chapa DES:H-00335 IT133
P1.12	20058275	Placa Fixa LAT 7 Dentes Magaldi MEC769A
P2.1	20070236	Fusível FAC 10A 660V GG 00
P2.2	20070848	TOM 2PT 10A SIPE 857TET CZ
P2.3	20070026	Lâmpada TP35 B15D 48V5W
P2.4	20066253	Bujão MO Moínho DES.0255EDP
P2.5	20041114	Elo Engate REXNORD P=19.05
P2.6	20069805	Balastro 230V LN18/20/36/40W 0.40A 0.50
P2.7	20070238	Fusível FAC 25A 660V GG 00
P2.8	20073803	Abraçadeira EXTS ANI CREM 62/82 SEF3
P2.9	20075085	Anilha CIRC EST AIN M10 (3/8")
P2.10	20070856	Ficha KALTHOFF 341GI 10A 250V 2P+T
P3.1	20058451	Pá para Misturador ESCORIA SIST MAC
P3.2	20048480	Junta Membrana GERDORA DES GBT-PL-02 SCR

Anexo C – Simulação de Custos Realizada no Ano de 2015

De modo a avaliar os resultados dos modelos heurísticos aplicados, a figura C1 apresenta a simulação de custos efetuada para o ano de 2015, cujo indicador de desempenho é o PRC.

P1.1		Procura Irregular				&		Classificação AE				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	95%	c(€)	3850	cd(€)	770	L (meses)	3,24							CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	5	0	0	4504,5	4504,5	-
Naddor	0,5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	2	0	3118,5	3120,5	30,73%	
PA	-	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	6	2	0	3580,5	3582,5	20,47%	
NA	-	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	6	2	0	0	3580,5	3582,5	20,47%	
P1.2		Procura Irregular				&		Classificação AV				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	99%	c(€)	162	cd(€)	162	L (meses)	1,09						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	33	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	0	0	1244,16	1244,16	-	
Naddor	1,4	21	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	0	0	466,56	466,56	62,50%		
PA	-	52	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	0	0	1069,2	1069,2	14,06%		
NA	-	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	0	0	544,32	544,32	56,25%		
P1.3		Procura Irregular				&		Classificação AV				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	99%	c(€)	22,34	cd(€)	22,34	L (meses)	1,8						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	200	300	300	300	300	300	300	293	293	293	293	293	0	0	794,8572	794,8572	-		
Naddor	2	198	220	220	220	220	220	213	213	213	213	213	213	0	0	580,3932	580,3932	26,98%		
PA	-	490	510	510	510	510	510	503	503	503	503	503	503	0	0	1357,8252	1357,8252	70,82%		
NA	-	296	305	305	305	305	305	298	298	298	298	298	298	0	0	808,2612	808,2612	-1,69%		
P1.4		Procura Irregular				&		Classificação BE				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	95%	c(€)	164,678	cd(€)	32,9	L (meses)	0,775						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	7	12	12	12	12	12	12	12	12	9	9	9	9	0	0	217,37496	217,37496	-	
Naddor	1,6	4	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3	6	6	2	0	108,68748	110,68748	49,08%	
PA	-	6	8	8	8	8	8	8	8	8	5	8	8	8	2	0	153,15054	155,15054	28,63%	
NA	-	6	8	8	8	8	8	8	8	8	5	8	8	8	2	0	153,15054	155,15054	28,63%	
P1.5		Procura Intermitente				&		Classificação BE				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	95%	c(€)	52,28	cd(€)	10,456	L (meses)	0,78						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	6	12	12	12	12	12	12	12	4	12	12	12	12	0	0	71,1008	71,1008	-	
Naddor	4	5	8	8	8	8	8	8	8	0	8	8	8	8	0	0	46,0064	46,0064	35,29%	
PA	-	6	8	8	8	8	8	8	8	0	8	8	8	8	0	0	46,0064	46,0064	35,29%	
NA	-	6	8	8	8	8	8	8	8	0	8	8	8	8	0	0	46,0064	46,0064	35,29%	
P1.6		Procura Intermitente				&		Classificação BE				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	95%	c(€)	115,89	cd(€)	23,178	L (meses)	1,96						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	8	12	12	12	11	11	11	11	9	9	9	9	9	0	0	143,7036	143,7036	-	
Naddor	2	4	5	5	5	4	4	5	5	3	3	5	5	4	0	0	67,2162	71,2162	50,44%	
PA	-	4	6	6	6	5	5	5	5	3	3	6	6	6	2	0	73,0107	75,0107	47,80%	
NA	-	4	6	6	6	5	5	5	5	3	3	6	6	6	2	0	73,0107	75,0107	47,80%	
P1.7		Procura Intermitente				&		Classificação BE				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	95%	c(€)	18,8	cd(€)	3,76	L (meses)	1						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	19	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	0	0	90,24	90,24	-	
Naddor	4	11	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	0	0	36,096	36,096	60%		
PA	-	12	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	0	0	42,864	42,864	52,50%		
NA	-	13	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	0	0	40,608	40,608	55%		
P1.8		Procura Intermitente				&		Classificação CV				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	95%	c(€)	13,5	cd(€)	2,7	L (meses)	0,738						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	2	6	6	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	0	0	6,48	6,48	-	
Naddor	10	3	4	4	4	3	2	2	2	1	1	1	4	4	2	0	4,05	6,05	6,64%	
PA	-	1	4	4	4	3	2	2	2	1	4	4	4	4	2	0	4,86	6,86	5,86%	
NA	-	1	4	4	4	3	2	2	2	1	4	4	4	4	2	0	4,86	6,86	5,86%	
P1.9		Procura Errática				&		Classificação BV				Ca	2 €	i	1%	Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)				
mês/15		λ	99%	c(€)	4,2	cd(€)	4,2	L (meses)	0,55						CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15							
T	s	S	Nível de stock																	
Sistema atual	-	50	100	100	80	80	80	80	80	80	55	55	50	95	2	0	39,27	41,27	-	
Naddor	3,6	72	83	83	63	63	63	63	63	58	58	53	48	2	0	35,322	37,322	9,57%		
PA	-	68	110	110	90	90	90	90	90	65	110	105	100	2	0	47,88	49,88	-20,86%		
NA	-	58	86	86	66	66	66	66	66	41	86	81	76	2	0	35,784	37,784	8,45%		

Figura C1- Avaliação do Potencial de Redução de Custos de cada modelo heurístico

Anexos

P1.10		Procura Errática			&			Classificação AV				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	99%	c(€)	86,8	cd(€)	86,8	L (meses)	7,1											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					6	2														
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	5	10	10	10	4	4	2	2	2	2	1	7	7	1	2	0	45,136	47,136	-
Naddor	2,5	20	23	23	23	17	17	15	15	15	15	14	23	23	17	2	0	188,356	190,356	-303,80%
PA	-	32	35	35	35	29	29	27	27	27	27	26	32	32	26	2	0	305,536	307,536	-552,40%
NA	-	23	25	25	25	19	19	17	17	17	16	22	22	16	2	0	201,376	203,376	-331,50%	
P1.11		Procura Errática			&			Classificação BV				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	99%	c(€)	6,73	cd(€)	6,73	L (meses)	1											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					10	10														
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	20	100	99	89	89	89	89	89	89	79	79	69	69	69	2	0	67,1654	67,1654	-
Naddor	4	59	72	71	61	61	61	61	61	51	72	62	62	62	2	0	50,2058	52,2058	22,27%	
PA	-	70	97	96	86	86	86	86	86	76	76	66	97	97	2	0	68,9152	70,9152	-5,38%	
NA	-	62	79	78	68	68	68	68	68	58	79	69	69	69	2	0	55,859	57,859	13,86%	
P1.12		Procura Errática			&			Classificação AV				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	99%	c(€)	1164	cd(€)	1164	L (meses)	2,2											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					3	3			6											
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	8	16	16	13	13	13	10	7	1	10	10	10	10	10	2	0	1431,72	1433,72	-
Naddor	0,6	10	11	11	8	8	11	8	5	2	2	11	11	11	6	0	1152,36	1158,36	19,21%	
PA	-	12	13	13	10	10	13	10	7	4	4	13	13	13	6	0	1431,72	1437,72	-0,28%	
NA	-	12	13	13	10	10	13	10	7	4	4	13	13	13	6	0	1431,72	1437,72	-0,28%	
P2.1		Procura Errática			&			Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	10,76	cd(€)	1,076	L (meses)	2,5											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos						3			6											
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	12	24	24	24	24	24	24	24	24	0	0	0	24	2	0	23,2416	25,2416	-	
Naddor	5,5	15	21	21	21	21	21	21	21	21	0	0	0	0	2	3,228	18,0768	23,3048	7,67%	
PA	-	12	24	24	24	24	24	24	24	24	0	0	0	24	2	0	23,2416	25,2416	-	
NA	-	14	22	22	22	22	22	22	22	22	0	0	0	22	2	2,152	21,3048	25,4568	-0,85%	
P2.2		Procura Errática			&			Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	5,2	cd(€)	0,52	L (meses)	0,5											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					3	4	3			2	1									
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	4	12	12	9	5	5	2	10	10	10	10	10	0	10	4	1,04	4,94	9,98	-
Naddor	9	9	16	16	13	9	9	6	4	3	3	3	16	4	2	2	0	4,576	6,576	34,11%
PA	-	3	16	16	13	9	9	6	4	3	16	16	16	4	2	2	0	5,928	7,928	20,56%
NA	-	4	14	14	11	7	7	4	12	11	11	11	11	0	12	4	0,52	5,772	10,292	-3,12%
P2.3		Procura Irregular			&			Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	0,856	cd(€)	0,0856	L (meses)	1											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					14	2			15											
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	10	20	20	20	6	20	20	18	18	18	18	0	20	5	4	1,0272	1,5672669	6,5944669	-
Naddor	14	30	50	50	50	36	36	36	34	34	34	34	0	0	0	0	0,9416	2,9461192	3,8877192	41,05%
PA	-	3	55	55	55	41	41	41	39	39	39	39	9	9	0	0	0,5136	3,4856701	3,9992701	39,35%
NA	-	6	40	40	40	26	26	26	24	24	24	24	0	40	25	2	0,5136	2,7320117	5,2456117	20,45%
P2.4		Procura Irregular			&			Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	22,31	cd(€)	2,231	L (meses)	1,7											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					1	1			2	2										
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	3	6	6	5	5	4	4	4	2	0	6	5	5	5	2	0	11,3781	13,3781	-
Naddor	8	2	4	4	3	3	2	2	2	0	0	3	3	3	3	2	4,462	5,5775	12,0395	10,01%
PA	-	2	4	4	3	3	2	2	2	0	4	3	3	3	3	2	0	7,3623	9,3623	30,10%
NA	-	1	4	4	3	3	2	2	2	0	4	3	3	3	3	2	4,462	6,4699	12,9319	3,30%
P2.5		Procura Irregular			&			Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	2,9	cd(€)	0,29	L (meses)	0,3											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					2	1														
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	8	14	14	12	12	11	11	11	11	11	10	8	14	14	2	0	4,031	6,031	-
Naddor	16	7	9	9	7	7	6	6	6	6	6	5	3	3	3	0	0	1,943	1,943	67,78%
PA	-	1	9	9	7	7	6	6	6	6	6	5	3	3	3	0	0	1,943	1,943	67,78%
NA	-	1	9	9	7	7	6	6	6	6	6	5	3	3	3	0	0	1,943	1,943	67,78%
P2.6		Procura Intermitente			&			Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	2,17	cd(€)	0,217	L (meses)	2											
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)		CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC	
Consumos					4	5														
T		s	S			Nível de stock														
Sistema atual	-	5	25	25	21	16	16	16	16	16	16	16	16	11	0	0	4,3617	4,3617	-	
Naddor	12	16	23	23	19	14	14	14	14	14	14	12	12	7	0	0	3,7107	3,7107	14,93%	
PA	-	5	25	25	21	16	16	16	16	16	16	16	16	11	0	0	4,3617	4,3617	-	
NA	-	5	20	20	16	11	11	11	11	11	11	11	11	6	0	0	3,0597	3,0597	29,85%	

Figura C1- Avaliação do Potencial de Redução de Custos de cada modelo heurístico

Anexos

P2.7		Procura Intermitente				&		Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	6,5	cd(€)	0,65	L (meses)	1,2	mês/15										
mês/15		jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	CA(€)	CD(€)	CP(€)	CV(€)	PRC		
Consumos								6		3										
T		s	S	Nível de stock																
Sistema atual	-	6	12	12	12	12	12	12	6	9	9	9	9	2	0	7,8	9,8	-		
Naddor	11	6	8	8	8	8	8	8	2	2	0	0	0	2	0,65	3,38	6,03	38,47%		
PA	-	2	8	8	8	8	8	8	2	2	5	5	8	2	0	5,07	7,07	27,86%		
NA	-	2	8	8	8	8	8	8	2	2	5	5	8	2	0	5,07	7,07	27,86%		
P2.8		Procura Irregular				&		Classificação CE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	90%	c(€)	0,5	cd(€)	0,05	L (meses)	0,05	mês/15										
Consumos								20		4										
T		s	S	Nível de stock																
Sistema atual	-	50	100	100	100	100	100	100	80	76	76	76	76	76	0	0	5,3	5,3	-	
Naddor	30	20	31	31	31	31	31	31	11	7	7	7	7	7	0	0	1,16	1,16	78,11%	
PA	-	2	30	30	30	30	30	30	10	6	6	6	6	6	0	0	1,1	1,1	79,24%	
NA	-	4	27	27	27	27	27	27	7	3	27	27	27	27	0	0	1,4	1,4	73,38%	
P3.1		Procura Contínua				&		Classificação AV				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	99%	c(€)	93,5	cd(€)	93,5	L (meses)	1,2	mês/15										
Consumos								70		60				50						
T		s	S	Nível de stock																
Sistema atual	-	50	150	150	150	150	100	100	30	0	120	120	120	70	70	2	2805	1103,3	3910,3	-
Naddor	0,6	123	127	127	127	127	77	77	57	0	70	70	127	77	127	6	280,5	993,905	1280,405	67,25%
PA	-	158	159	159	159	159	109	109	89	29	70	70	159	109	109	6	0	1243,55	1249,55	68,05%
NA	-	158	159	159	159	159	109	109	89	29	70	70	159	109	109	6	0	1243,55	1249,55	68,05%
P3.2		Procura Contínua				&		Classificação AE				Avaliação do Potencial de Redução de Custos (PRC)								
		λ	95%	c(€)	35,26	cd(€)	7	L (meses)	0,78	mês/15										
Consumos								36		18				12						
T		s	S	Nível de stock																
Sistema atual	-	9	18	18	18	18	0	0	18	18	18	18	18	6	18	6	126	59,2368	191,2368	-
Naddor	2	20	26	26	26	26	0	12	26	26	26	26	26	14	14	6	70	87,4448	163,4448	14,53%
PA	-	30	38	38	38	38	2	20	38	38	38	38	38	26	26	6	0	133,2828	139,2828	27,17%
NA	-	30	36	36	36	36	0	18	36	36	36	36	36	24	36	6	0	129,0516	135,0516	29,38%

Figura C1- Avaliação do Potencial de Redução de Custos de cada modelo heurístico

Tomando como exemplo a referência de peça de reserva P1.1 e a aplicação do modelo heurístico de Naddor, a simulação tem o seguinte procedimento: o nível de *stock* que se considera em janeiro de 2015 é igual ao do nível de *stock* máximo (S) gerado, sendo neste caso de 7 unidades. Tendo em conta que o modelo gera um valor de T igual a meio mês (T=0,5 meses) o *stock* é revisto de 15 em 15 dias. No entanto só ocorre procura (de 1 unidade) em novembro de 2015, que despoletou uma encomenda de 1 unidade nesse mês, já que s=6 unidades. Em dezembro de 2015 ocorreu uma nova procura de 1 unidade, que fez reduzir o nível de *stock* para 5 unidades, pois a encomenda efetuada no mês anterior ainda não foi rececionada no armazém já que o prazo de entrega médio desta peça de reserva é superior a 1 mês. Com esta simulação não se obtiveram custos de rutura (sem unidades em falta) e apenas um aprovisionamento, resultando num custo variável (CV) anual de 3120,5€ e num PRC de 30,73%. Este procedimento foi realizado para as restantes peças de reserva sujeitas à simulação.

De seguida, apresenta-se a notação utilizada na simulação:

- c** representa o custo unitário de cada peça de reserva.
- CA** representa o custo anual de aprovisionamento associado a cada peça de reserva.
- Ca** representa o custo fixo de aprovisionamento.
- CD** representa o custo anual de diferimento ou de rutura associado a cada peça de reserva.
- cd** representa o custo de diferimento ou de rutura unitário durante um mês
- CP** representa o custo anual de posse associado a cada peça de reserva.
- CV** representa o custo variável anual associado a cada peça de reserva ($CV=CA+CP+CD$).
- i** representa o custo de posse mensal unitário.

- L** representa o prazo de entrega médio.
- NA** representa o modelo heurístico *Normal Approximation*.
- PA** representa o modelo heurístico *Power Approximation*.
- PRC** representa o Potencial de Redução de Custos.
- S** representa o nível máximo de *stock*.
- s** representa o ponto de encomenda.
- T** representa a periodicidade de revisão do nível de *stock*.
- λ** representa o nível de serviço associado.

Anexo D – Formulação do Indicador de Desempenho “Ruturas”

O indicador “ruturas” (tabela 5.24) mede a percentagem de procura não satisfeita durante o respetivo mês. Foi necessário definir uma estratégia de obtenção de resultados, uma vez que nos materiais que não pertencem ao tipo de MRP V1, a rutura só não é admissível após um determinado Tempo Admissível em Rutura (TAR). Assim, neste grupo de materiais só existe, de facto, rutura quando a diferença entre a Data de Satisfação (DS) e a Data de Necessidade (DN) excede o TAR. Estes materiais, por opção da gestão, não têm parâmetros (s, S) na plataforma SAP, sendo geridos pelo tipo de MRP Z2 ou ND, e, nestes casos, o Tempo Admissível em Rutura varia consoante o tipo de classificação de criticidade VED atribuída a cada material (5 dias para materiais de classe V, 15 dias para os de classe E e 30 dias para os de classe D).

Desta forma, quando a Quantidade de Procura (QP) é superior à Quantidade em *Stock* (QS) e, considerando as três datas fundamentais na gestão de materiais por via SAP, Data de Liberação (DL), Data de Necessidade (DN) e Data de Satisfação (DS), o fluxograma presente na figura 5.13 descreve esta estratégia de obtenção de ruturas. No mês de janeiro de 2016 verificaram-se 1,2% de procuras não satisfeitas, segundo estas condições (figura D1).

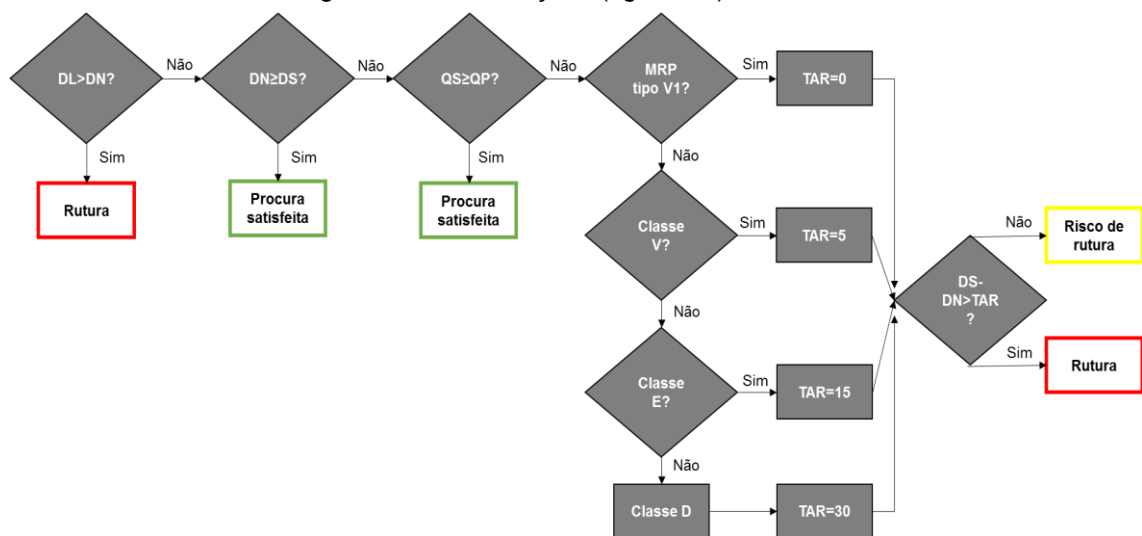


Figura D1 – Estratégia de obtenção de ruturas