

Definição do modelo de aprovisionamento de matérias-primas

Francisco Jorge Freitas Salazar de Oliveira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Bernardo Almada-Lobo



Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2016-07-04

Aos meus pais e à minha irmã

Resumo

O objetivo do projeto é a definição de um novo modelo de aprovisionamento de matérias-primas para implementar na empresa. Atualmente, a decisão de colocar encomendas a fornecedores é um processo maioritariamente empírico. Deste processo fazem ainda parte um conjunto de etapas manuais e rotineiras que se pretende que sejam reduzidas e automatizadas.

Cada vez mais as empresas fazem esforços no sentido de diminuir os níveis de *stocks* de materiais, desde matérias-primas a produtos acabados. Neste projeto, o foco foi dado às matérias-primas, uma vez que os responsáveis da empresa consideravam que a taxa de ruturas destas não era condizente com os níveis de *stock* demasiado elevados que mantinham. Com o novo modelo espera-se que sejam criadas as condições para que os níveis de *stock* das matérias-primas sejam reduzidos sem comprometer as necessidades de produção da fábrica, através de uma melhor gestão. A metodologia seguida consistiu na segmentação das matérias-primas segundo a sua importância e padrões de consumo, criação de previsões para os consumos de cada uma e definição de novas políticas de aprovisionamento. Por fim, é descrito o modo como a empresa poderá implementar as novas políticas numa ferramenta criada de raiz. Espera-se que esta ferramenta seja capaz de permitir ao planeador uma identificação mais rápida e fiável das necessidades de matérias-primas, em paralelo com um controlo mais apertado sobre os níveis de *stock*.

As conclusões apontam no sentido de que é possível melhorar o modelo utilizado atualmente. A introdução de modelos matemáticos na definição de *stocks* de segurança e de ponto de encomenda indica que, para o nível de serviço pretendido, é possível manter níveis de *stock* inferiores aos atuais, esperando-se uma redução do valor médio de matérias-primas em *stock* de cerca de 28%

Defining a new model for the replenishment of raw materials

Abstract

The purpose of this project is to define a new model for the replenishment of raw materials in the company. At the moment, this is a manual process, during which the decision of placing orders to suppliers is mainly empiric.

Each day company's devote more efforts to control and keep to a minimum the amount of stocks they manage, from raw materials to end products. In this project, the focus was placed on raw materials, since the managers considered the number of stockouts did not match the amount of stocks carried. With the new model, it is expected average stock levels to be lowered, without compromising the production needs of the factory, by managing material needs more efficiently. The methodology carried out included the segmentation of raw materials according to their importance and consumption patterns, the application of forecasting methods to the raw materials consumption and the setting of new replenishment policies. Lastly, it is described the way the company may implement the new policies in a tool designed specifically for this task. It is expected that this tool allows the planner a quicker and more reliable identification of the raw material needs and a tighter control of the stocks' level.

The results seem to point out that it is possible to improve the current replenishment model. The use of mathematical methods such as reorder point and safety stocks seems to show that for the desired service level it is possible to lower the current raw materials stock levels, with an expected reduction of the average value in stock of around 28%.

Agradecimentos

À CIN Industrial Coatings, S. A., pela oportunidade criada e pelas condições de trabalho oferecidas.

À Engenheira Maria João Monteiro, orientadora do projeto na empresa, pela ajuda na integração na empresa e auxílio constante ao longo de todo o projeto.

Aos Engenheiro Vasco Coelho e ao Engenheiro José Carlos Lopes, por todos os contributos que deram para a realização do projeto e pela confiança depositada.

Ao Professor Bernardo Almada-Lobo pela sua disponibilidade e apoio constante, bem como por toda a orientação dada.

Aos trabalhadores do departamento do planeamento industrial, pelo apoio na compreensão das operações do departamento.

A todos os trabalhadores com quem privei pela ajuda na integração na empresa.

À minha família, pelo apoio constante e motivação ao longo de todo o Mestrado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	1
1.2	Apresentação da empresa.....	2
1.3	Objetivos do projeto.....	2
1.4	Método seguido no projeto.....	3
1.5	Estrutura da dissertação	3
2	Revisão da literatura.....	5
2.1	<i>Stocks</i>	5
2.1.1	Tipos de <i>stock</i>	5
2.1.2	Sistemas de controlo de <i>stock</i>	6
2.2	Segmentação dos produtos.....	9
2.3	Métodos de análise de séries temporais	11
2.3.1	Decomposição clássica.....	11
2.3.2	Métodos de previsão.....	11
2.3.3	Medidas dos erros.....	13
2.4	Considerações práticas sobre a revisão da literatura	13
3	Funcionamento da empresa e oportunidades encontradas	15
3.1	Funcionamento da empresa.....	15
3.1.1	Sistemas de informação utilizados	15
3.1.2	Produção.....	16
3.1.3	Planeamento	18
3.1.4	Movimentações de matérias-primas e produtos acabados.....	18
3.2	Desafios encontrados	18
3.2.1	Sistemas informáticos.....	19
3.2.2	Processo de aprovisionamento de matérias-primas	20
4	Metodologia seguida.....	22
4.1	Análise aos consumos de matérias-primas.....	22
4.2	Segmentação das matérias-primas	23
4.3	Níveis de <i>stock</i> iniciais.....	26
4.3.1	Cobertura de <i>stock</i>	27
4.3.2	Número de ruturas	28
4.4	Métodos de previsão de consumos.....	29
4.4.1	Explicação do modo de aplicação dos métodos	29
4.4.2	Resultados da aplicação dos métodos.....	29
4.5	Sistema de gestão de <i>stocks</i>	32
5	Overview da ferramenta	34
5.1	Pressupostos adotados.....	34
5.2	Folha de cálculo em <i>Excel</i>	35
5.3	Ferramenta	37
5.4	Impactos esperados	38
6	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	41
	Referências	43
	ANEXO A: Análise ABC multicritério.....	44
	ANEXO B: Análise XYZ.....	46
	ANEXO C: Teste de autocorrelação	48
	ANEXO D: Instruções para criação e utilização da ferramenta	49

Índice de Figuras

Figura 1 – Nível médio mensal de <i>stocks</i> de matérias-primas	1
Figura 2 – Sistema de revisão contínua (s, Q), em Gonçalves (2010).	7
Figura 3 – Sistema de revisão periódica (R, S), em Gonçalves (2010).	8
Figura 4 – Ecrã inicial do ASW.....	16
Figura 5 – Relação entre matérias-primas, produtos intermédios e produtos acabados.	17
Figura 6 – Ecrã <i>Time Axis</i> de uma matéria-prima.	20
Figura 7 – Ecrã saldos de armazém do ASW.	21
Figura 8 – Nível para o qual devem ser criadas previsões, em Sipper e Bulfin (1997).	22
Figura 9 – Consumos mensais de matérias-primas geridas pela Megadur nos últimos 4 anos.	30
Figura 10 – Consumos mensais de matérias-primas geridas pela Megadur ajustados dos últimos 4 anos.	31
Figura 11 – Tabela a ser atualizada com os consumos de cada mês.	35
Figura 12 – Tabela a ser atualizada com o número de dias trabalhados em cada mês (aaaamm).	36
Figura 13 – Nível de serviço por categoria ABC-XYZ.....	37
Figura 14 – Lista de valores a ser carregada na ferramenta.	37

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Limites das categorias da análise ABC.	10
Tabela 2 – Fatores utilizados na comparação dos critérios na análise ABC multicritério, em Flores, Olson, e Dorai (1992).	24
Tabela 3 – Importância relativa dos critérios a utilizar na análise ABC multicritério.	24
Tabela 4 – Peso de cada critério na medida de utilidade da análise ABC multicritério.	24
Tabela 5 – Valores de utilidade das seis matérias-primas mais úteis.	25
Tabela 6 – Número de matérias-primas por categoria.	26
Tabela 7 – Quantidades e valores médios em <i>stock</i> , por categoria.	27
Tabela 8 – Média de cobertura de <i>stock</i> por categoria ABC.	27
Tabela 9 – Média de cobertura de <i>stock</i> por categoria XYZ.	27
Tabela 10 – Número de ruturas de matérias-primas por categoria.	28
Tabela 11 – Precisão dos métodos de previsão por categoria ABC-XYZ, recorrendo-se ao MAPE.	31
Tabela 12 – Precisão global dos métodos previsão, recorrendo-se ao MAPE.	32
Tabela 13 – Impactos esperados das novas políticas de aprovisionamento.	39
Tabela 14 – Análise ABC multicritério completa.	44
Tabela 15 – Análise XYZ completa.	46
Tabela 16 – Exemplo de um possível ecrã da ferramenta.	51

1 Introdução

Neste capítulo, será feita uma introdução ao projeto desenvolvido. Serão abordadas as motivações da empresa na criação do projeto e apresentada uma breve introdução sobre a sua história. Os principais objetivos que se pretendem alcançar serão apresentados e será feita uma breve explicação das abordagens seguidas na execução do projeto.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Este projeto surgiu no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, que se encerra com a escrita da dissertação em ambiente empresarial, com o intuito de permitir a aplicação prática dos conceitos adquiridos ao longo do curso.

O trabalho foi desenvolvido no departamento de planeamento industrial da CIN Industrial Coatings, S. A., empresa pertencente ao Grupo CIN, e surge com o intuito de a empresa melhorar os processos atuais relacionados com a gestão de matérias-primas. Os responsáveis da empresa consideram que os níveis atuais de *stocks* médios de matérias-primas são excessivamente elevados. Apesar disso, algumas ruturas ocorreram, levando a empresa a procurar implementar medidas que possibilitem um controlo mais apertado sobre os materiais e uma diminuição dos níveis médios de *stocks* sem aumentar o risco de ruturas. A evolução dos níveis médios mensais de *stocks* de matérias-primas ao longo dos últimos três anos pode ser consultada na Figura 1.

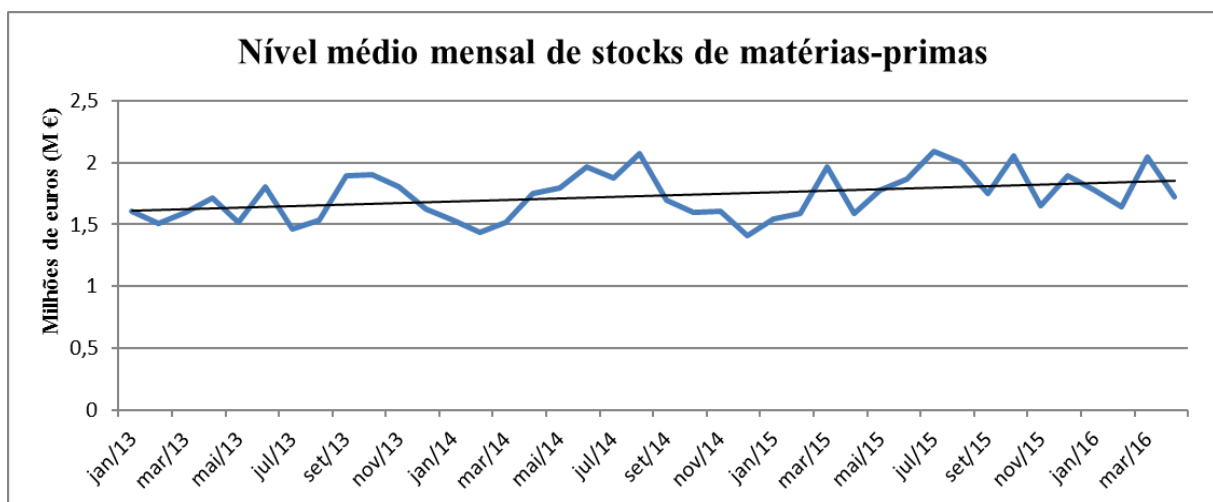


Figura 1 – Nível médio mensal de *stocks* de matérias-primas

A empresa procura, ainda, uma melhor comunicação entre os sistemas de informação utilizados no registo de informações relacionadas com o planeamento de produção, que permita uma

automatização maior das tarefas. Esta melhor comunicação deverá permitir aos responsáveis terem acesso facilitado a um conjunto de informações mais alargado e fiável sobre as matérias-primas, permitindo uma tomada de decisão mais acertada no que diz respeito à sua aquisição e menos tempo despendido em tarefas rotineiras.

1.2 Apresentação da empresa

Foi em 1917 que se deu a fundação da Corporação Industrial do Norte, SARL, a primeira empresa que aparece associada à marca CIN, dedicada nessa altura à produção de tintas, vernizes, óleos e sabões. Fruto de vincadas políticas de aquisições postas em prática ao longo dos anos, inseridas na sua estratégia de expansão, o Grupo CIN tem vindo a crescer nacional e internacionalmente, sendo líder no mercado nacional desde 1992 e do mercado ibérico desde 1995.

A nível nacional destacam-se as aquisições da Lacose, Lda. (1989), Sotinco (1990), Ibercoat – Tinta em Pó, S. A., e de 99,7% da NITIN – Nova Indústria de Tintas, S. A. (2007).

A nível internacional destacam-se a entrada no continente africano com a criação das Tintas CIN Angola (1970) e das Tintas CIN Moçambique SARL (1973), o reforço gradual de posição na Barnices Valentine (em Espanha) até deterem 98% da empresa (1999), a aquisição da Celliose (com fábricas em França e na China, em 2009), a criação da CIN Coatings México (2013), da CIN Coatings África do Sul (2014), da CIN Coatings Turquia (2015) e a aquisição do grupo francês Monopol (2016).

Em Portugal, a empresa opera através de duas empresas: a empresa-mãe do grupo, CIN, Corporação Industrial do Norte, S. A., localizada na Maia, e a CIN Industrial Coatings, S. A., localizada em Castêlo da Maia.

Atualmente, o grupo disponibiliza produtos em quatro segmentos: Decorativos, Proteção Anticorrosiva, Indústria e Acessórios. O segmento Indústria está dividido em duas áreas de negócio: “as tintas líquidas de base solvente e de base aquosa para as indústrias do metal, madeira, plástico, vidro e repintura de veículos industriais e de transporte; e as tintas em pó para os mercados da arquitetura, aplicações industriais, mobiliário metálico, utilidades domésticas e componentes automóveis.”

A julho de 2012, o segmento de tintas em pó representava cerca de 11% da faturação do grupo. Foi também em 2012 que o Grupo CIN decidiu investir na expansão da capacidade de produção da sua fábrica de tintas em pó (doravante chamada de Megadur), em Castêlo da Maia, de modo a fazer face a uma crescente procura destes produtos. Uma grande parte da produção destas tintas é destinada à exportação, nomeadamente para os mercados alemão, francês e espanhol.

Apesar de haver troca de conhecimentos tecnológicos entre as várias empresas do grupo, cada uma delas é responsável pelas suas próprias marcas. A MEGADUR e a IBERCOAT são as marcas associadas à CIN Industrial Coatings, S. A..

1.3 Objetivos do projeto

O trabalho desenvolvido teve como objetivo efetuar uma análise ao modo atual de gestão das matérias-primas e a sugestão de melhorias e de novas políticas a seguir no que diz respeito ao seu aprovisionamento.

O objetivo é chegar a uma solução capaz de permitir uma melhor gestão e um conhecimento mais aprofundado da situação da empresa no que diz respeito à situação de matérias-primas, de modo a facilitar a elaboração de um planeamento de produção mais informado e eficiente para

a fábrica. Pretende-se oferecer ao responsável pelo planeamento um suporte que lhe permita ter um acesso rápido e fiável a informações sobre o estado da empresa no que diz respeito às matérias-primas disponíveis, às matérias-primas em trânsito e às necessidades de produção, a cada momento.

A empresa pretende, então, a criação de novas políticas de gestão de matérias-primas e a definição das necessidades que permitam a implementação destas políticas numa ferramenta criada de raiz. Nesta ferramenta estarão disponíveis todos os indicadores necessários para a tomada de decisão relativamente ao aprovisionamento de matérias-primas. A criação de uma ponte entre os vários sistemas informáticos utilizados pela empresa, de maneira a permitir uma melhor transferência de informação entre eles, é ainda um dos objetivos da empresa no âmbito deste projeto. Esta ligação será fundamental para garantir que a ferramenta é alimentada com dados atualizados e fiáveis.

1.4 Método seguido no projeto

A metodologia seguida neste projeto partiu da identificação das principais necessidades da empresa, que consistiam na criação de bases que permitissem uma melhor gestão das matérias-primas. Por este motivo, foi nas matérias-primas que se focou o trabalho.

Numa primeira fase, foram estudadas as particularidades desta empresa que pudessem influenciar numa determinada direção a abordagem a seguir no projeto. Foram identificadas as estratégias de planeamento de produção de produtos acabados, bem como as ramificações que estas poderiam ter ao nível da gestão das matérias-primas.

De seguida, deu-se um maior foco aos dados de consumos de matérias-primas em anos anteriores. Com base nestes dados, puseram-se em prática análises tendo em vista a segmentação das matérias-primas em categorias e estudou-se o nível de precisão de vários métodos de previsão quando aplicados a estes dados.

Por fim, foram definidas as políticas que a empresa deveria adotar no que diz respeito ao aprovisionamento das matérias-primas, de modo a introduzir métodos matemáticos relacionados com sistemas de gestão de *stocks* que não eram, até ao momento, utilizados.

A metodologia seguida pode, então, ser dividida nas etapas seguintes:

- Conhecimento geral da empresa;
- Conhecimento aprofundado do modo de funcionamento do departamento do planeamento industrial;
- Análise ao estado atual: clara identificação dos problemas existentes no aprovisionamento das matérias-primas e da falta de comunicação entre os sistemas informáticos da empresa;
- Definição dos caminhos a seguir na resolução desses problemas: segmentação das matérias-primas e análise aos seus padrões de consumo; criação de previsões de consumo; definição matemática de variáveis que auxiliem na gestão de *stocks*;
- Definição de políticas de gestão de matérias-primas;
- Definição do modo de funcionamento da ferramenta.

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em cinco capítulos principais.

No primeiro capítulo, é apresentada a empresa e o projeto, bem como, em traços gerais, explicada a metodologia seguida.

No segundo capítulo, é feita uma revisão bibliográfica dos temas relevantes para a execução do projeto. Esta revisão pretende esclarecer os conceitos que serviram de base para a tomada de decisão na resolução dos problemas encontrados.

No terceiro capítulo, são apresentados o modo de funcionamento e as operações da empresa com maior detalhe. São ainda identificados e explicados em pormenor os problemas existentes inseridos no âmbito do projeto.

No quarto capítulo, é apresentado o estado inicial referente aos *stocks* de matérias-primas, explicada a abordagem seguida na tentativa de resolução dos problemas encontrados, bem como o raciocínio envolvido na tomada de decisões.

Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros são apresentados no quinto capítulo.

2 Revisão da literatura

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos relevantes para o desenvolvimento do projeto.

2.1 Stocks

Stocks são o conjunto de materiais que as organizações têm em sua posse. Sempre que uma organização adquire ou produz produtos que não consumidos imediatamente, vai contribuir para o aumento dos níveis de *stock* (Waters 2003).

Existem várias vantagens em manter-se *stocks*, mas também razões para se tentar que os seus níveis sejam mantidos no mínimo necessário. Em muitas situações, a existência de *stocks* é fundamental para que não existam paragens de produção ou ruturas de produtos (resultando em perdas de vendas); no entanto, é importante ressaltar que a manutenção de *stocks* também tem custos associados. Capital empatado, custos de armazenagem, custos de manutenção e riscos de danificação e de obsolescência devem motivar as organizações a manterem um controlo apertado sobre os níveis de *stocks* (Waters 2003).

2.1.1 Tipos de stock

Segundo Sipper e Bulfin (1997), uma classificação física dos *stocks* pode ser feita utilizando as categorias seguintes:

- Matérias-primas: são encomendadas aos fornecedores e são os materiais que são processados de modo a dar origem aos produtos acabados;
- *Work-in-progress*: unidades de produto que estão a ser processadas num determinado momento;
- Produto acabado: unidades que já completaram a totalidade do processo produtivo e que estão prontas a serem expedidas para o cliente final.

Há ainda outras categorias em que os *stocks* podem ser classificados, de acordo com os motivos pelos quais foram criados. Estas categorias são (Sipper e Bulfin 1997):

- *Stock* de ciclo: mantido para satisfazer a procura esperada durante o *lead time*;
- *Stock* de segurança: reserva de materiais para se utilizar em casos de emergência. Tem o propósito de criar uma segurança contra os erros de previsão e as variabilidades dos prazos de entrega dos fornecedores;
- *Stock* sazonal: útil em indústrias em que possa haver flutuações sazonais na procura de produtos acabados;
- *Pipeline stock*: materiais em trânsito, ainda no processo de distribuição;

- Outro *stock*: todos os *stocks* que sejam mantidos por motivos que não os acima mencionados; por exemplo, a criação de *stocks* pode ser benéfica do ponto de vista estratégico, caso existam descontos de quantidade ou suspeitas de que o fornecedor não será capaz de satisfazer toda a quantidade necessária no futuro.

2.1.2 Sistemas de controlo de *stock*

Os sistemas de controlo de *stocks* podem ser divididos em dois grandes grupos: os de revisão contínua e os de revisão periódica. Os sistemas de revisão contínua verificam os níveis de *stock* a cada momento (ou pelo menos, a cada movimentação de produto), permitindo um controlo em tempo real mais apertado. Por sua vez, os sistemas de revisão periódica partem do pressuposto que os níveis de *stocks* apenas necessitam de ser verificados em períodos temporais fixos (semanal ou mensalmente, por exemplo) (Jacobs, Chase, e Lummus 2011). Na prática, cada um dos grupos tem as suas vantagens e desvantagens, que devem ser ponderadas aquando do desenvolvimento de um sistema de controlo em particular.

Fruto da disponibilidade da informação em tempo real, os sistemas de revisão contínua permitem uma tomada de decisão mais rápida; é possível saber-se a qualquer momento qual o nível de *stocks*, e decidir se é altura de colocar uma nova encomenda (Gonçalves 2010).

Os sistemas de revisão periódica, por sua vez, geralmente implicam que seja necessário manterem-se níveis de *stocks* mais elevados. Para além de terem de garantir que não existirão ruturas durante o *lead time* (fator comum a ambos os sistemas), têm ainda de ter em conta o período de revisão. Na prática, o ponto de encomenda pode ser atingido no dia seguinte ao da revisão, algo que só será detetado no período de revisão seguinte. Ainda assim, existem situações práticas que podem beneficiar da utilização de um sistema de revisão periódica. Apesar de levarem a níveis de *stocks* mais elevados, pode ser benéfico recorrer-se a este sistema quando existe um grande número de produtos encomendados a um mesmo fornecedor, podendo haver vantagens a nível de redução de custos caso as encomendas sejam colocadas simultaneamente (Gonçalves 2010).

Um fator comum a todos os sistemas é o modo como se deve calcular a quantidade de produto disponível. É esta variável que a cada momento (no caso dos modelos de revisão contínua) ou nos períodos de revisão (no caso nos modelos de revisão periódica) deve ser comparada com o ponto de encomenda; caso o seu valor seja igual ou inferior ao ponto de encomenda, uma nova encomenda deve ser lançada. O seu cálculo é feito recorrendo à equação (2.1).

$$\text{Saldo disponível} = \text{Existências} + \text{Encomendas a fornecedores} - \text{Reservas} \quad (2.1)$$

Vários são os sistemas de revisão contínua ou periódica a que se pode recorrer, sendo que cada um deles é definido por alguns dos parâmetros seguintes:

- *s* – ponto de encomenda;
- *Q* – quantidade a encomendar;
- *S* – nível de enchimento;
- *R* – período de revisão.

Dentro dos sistemas de revisão contínua, os modelos principais são o Ponto de Encomenda - Quantidade a Encomendar (*s, Q*) e o Ponto de Encomenda - Nível de Enchimento (*s, S*):

- (*s, Q*): sempre que o saldo disponível atinge o ponto de encomenda, uma nova ordem é lançada, na quantidade determinada. Neste sistema, a quantidade a encomendar toma

um valor fixo, previamente determinado. A evolução esperada nestes sistemas pode ser consultada na Figura 2;

- (s, S) : o modo de funcionamento deste sistema é bastante semelhante ao anterior. No entanto, a quantidade a encomendar é variável, sendo determinada como a quantidade que elevará o nível de *stocks* até ao nível de enchimento. Este sistema é também chamado de Min-Max, uma vez que o nível de *stocks* vai oscilar quase sempre entre o valor mínimo (s) e o valor máximo (S).

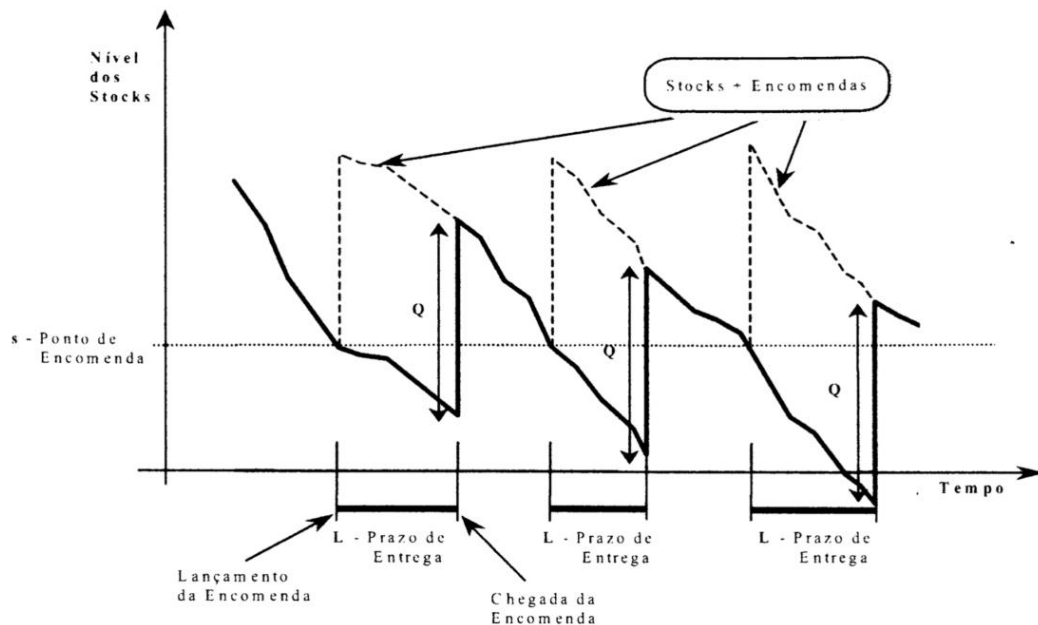


Figura 2 – Sistema de revisão contínua (s, Q) , em Gonçalves (2010).

Quanto aos modelos de revisão periódica, importa destacar os modelos Período de Revisão - Nível de Enchimento (R, S) e o Período de Revisão - Ponto de Encomenda, Nível de Enchimento Min-Max (R, s, S) :

- (R, S) : a cada período de revisão é colocada uma nova encomenda que eleve o nível de *stocks* até ao nível de enchimento. Note-se que a quantidade a encomendar pode variar, uma vez que irá depender do nível de inventário presente no dia de revisão. A evolução esperada destes sistemas pode ser consultada na Figura 3;
- (R, s, S) : modelo semelhante ao anterior; distingue-se apenas pelo facto de uma nova encomenda apenas ser colocada caso o nível de *stock* no dia da revisão ser inferior ao ponto de encomenda. Neste modelo a quantidade a encomendar não toma um valor fixo, mas um valor que irá depender do saldo disponível no momento da revisão: a cada período de revisão é encomendada uma quantidade suficiente para elevar o saldo disponível até ao nível de enchimento.

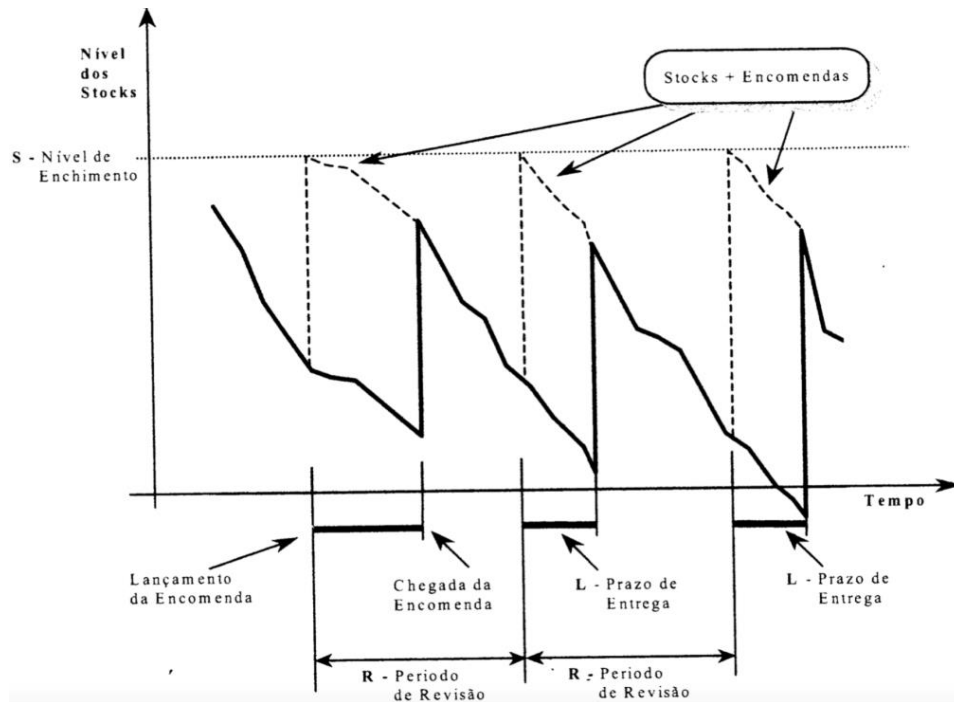


Figura 3 – Sistema de revisão periódica (R, S), em Gonçalves (2010).

O método mais difundido de se calcular a quantidade a encomendar foi desenvolvido por Ford W. Harris e popularizado por R. H. Wilson, e é chamado de *Economic Order Quantity* (EOQ). Este cálculo permite estabelecer uma relação entre os custos de posse e os custos de encomenda. A quantidade que minimiza os efeitos desses dois custos é obtida através da equação (2.2).

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{H}}, \quad (2.2)$$

onde:

EOQ, quantidade económica de encomenda;
A, custo de encomenda;
D, taxa de procura; e
H, custo de posse.

Este método de determinação da quantidade ótima de encomenda baseia-se em alguns pressupostos que, apesar de não se verificarem na realidade, não impedem que a EOQ seja muito utilizada em situações práticas. Estes pressupostos são (Jacobs, Chase, e Lummus 2011):

- A procura do produto é constante e uniforme;
- O *lead time* do produto é constante;
- O preço unitário do produto é constante;
- Os custos de posse são baseados nos níveis médios de inventário;
- Os custos de encomenda ou de *setup* são constantes;
- Não são permitidas *backorders*.

O Ponto de Encomenda é o valor com o qual o nível de *stocks* deve ser comparado; sempre que o nível de *stocks* for igual ou inferior ao ponto de encomenda, uma nova ordem de encomenda deve ser criada. O seu valor é definido com o objetivo de garantir que não se entrará em rutura

durante o *lead time* e é, portanto, definido como a procura prevista durante o *lead time*, mais o *stock* de segurança, sendo calculado pela expressão (2.3).

$$\text{Ponto de encomenda} = D_L + SS, \quad (2.3)$$

onde:

D_L , procura prevista durante o *lead time*; e
 SS , *stock* de segurança.

O *stock* de segurança é definido como uma almofada criada para lidar com a variabilidade da procura e do *lead time* dos fornecedores.

Por último, é necessário definir-se o nível de serviço. Regra geral, os custos de rutura são difíceis de ser determinados, pelo que é mais comum recorrer-se à noção de nível de serviço, que expressa os custos de rutura implicitamente (Gonçalves 2010). Segundo Zinn e Marmorstein (1990), existem dois modos principais de definição do nível de serviço:

- nível de serviço alfa: calculado a partir da definição da probabilidade de ocorrer uma rutura de *stock* durante um período de reabastecimento; em termos práticos, um nível de serviço de 99% significa que existe uma probabilidade de 1% de ocorrer uma rutura durante cada período de reabastecimento;
- nível de serviço beta: também chamado de *fill rate*, é determinado definindo a proporção da procura que deve ser satisfeita diretamente de *stock*. Ao contrário do nível de serviço alfa, que tem em conta o número de ruturas, o nível de serviço beta tem em conta a magnitude destas.

2.2 Segmentação dos produtos

A análise ABC foi desenvolvida com base nos estudos de Wilfred Pareto, economista italiano que teorizou que uma pequena percentagem da população italiana era responsável pela produção de uma grande parte da riqueza do país. Este princípio foi, desde então, aplicado às mais variadas áreas, sendo uma das áreas mais comuns a da gestão de *stocks* (Flores e Whybark 1986).

Regra geral, as organizações têm de efetuar a gestão de um grande número de materiais e produtos. Nestes casos, é útil a criação de um critério que permita aferir a importância que cada um deles tem para a empresa. A análise ABC tradicional é baseada num critério, o custo anual de consumo. Frequentemente, uma pequena percentagem de produtos é responsável por uma grande percentagem dos custos anuais de consumo, enquanto a grande maioria tem associado um custo anual de consumo relativamente reduzido. Este critério é calculado para cada produto e permite identificar o impacto financeiro de cada um deles na empresa.

Criarem-se políticas de gestão para cada produto individualmente seria uma tarefa morosa, daí ser comum recorrer-se à análise ABC; o objetivo é segmentarem-se os produtos com base na sua importância para a empresa, alocando-se cada um deles às categorias A, B ou C: produtos na categoria A são os mais importantes e os da categoria C os menos importantes. Esta segmentação poderá ser útil a vários níveis dentro da empresa, sendo que os produtos da categoria A são aqueles que deverão merecer um controlo mais rigoroso.

Segundo Gonçalves (2010), os limites utilizados devem seguir as indicações da Tabela 1. Os valores dos limites a escolher na prática irão depender da distribuição dos custos anuais de consumo de cada empresa e deverão estar dentro dessas indicações propostas.

Tabela 1 – Limites das categorias da análise ABC.

Categoria	% de produtos	% de custo anual de consumo
A	15-25	70-80
C	> 50	5-10

Apesar de o critério de custo anual de consumo ser bastante relevante para a segmentação dos produtos, vários autores defendem que a utilização de apenas um critério na definição da importância de um produto numa organização é uma perspetiva bastante simplista, sugerindo melhorias a este modelo:

- Em Flores e Whybark (1986) desenvolveu-se uma das primeiras tentativas de melhoria à análise ABC inicial, ao propor-se um método que tem em conta dois critérios para efetuar a segmentação;
- Em Flores, Olson, e Dorai (1992) propôs-se a utilização do *Analytic Hierarchy Process* como o método de definição do peso que diferentes critérios deverão ter para a segmentação final;
- Em Ramanathan (2006) e Zhou e Fan (2007) propuseram-se alternativas de otimização linear para a determinação da importância de cada critério.

O princípio fundamental justificador de uma análise multicritério é que se os produtos A são os que merecem um controlo mais rigoroso, outros fatores para além dos custos anuais de consumo devem ser considerados. O número e os critérios a utilizar dependerão das necessidades e características de cada empresa. Estes fatores podem ser, entre outros, o custo anual de consumo, o custo médio unitário, a criticidade, o consumo anual ou *lead time* (Flores, Olson, e Dorai 1992).

A análise ABC pode ainda ser complementada com análises adicionais. Uma dessas análises é a XYZ, utilizada para efetuar a segmentação dos produtos segundo os seus padrões de consumo. Os produtos que revelem um consumo mais estável serão inseridos na categoria X, sendo que na categoria Z serão inseridos os produtos que revelem um consumo mais irregular; os produtos que revelem padrões de consumo com uma variabilidade intermédia farão parte da categoria Y.

O critério utilizado para se efetuar esta segmentação é o coeficiente de variação, calculado recorrendo à equação (2.4):

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}}, \quad (2.4)$$

onde:

CV, é o coeficiente de variância;
 σ , é o desvio padrão dos dados; e
 $\bar{X}$, é a média dos dados.

A análise conjunta da magnitude e variabilidade do consumo permite a criação da matriz ABC-XYZ. Esta matriz é composta por nove categorias, sendo que cada produto estará inserido numa delas.

2.3 Métodos de análise de séries temporais

Tendo definido os vários tipos de *stocks* e modelos de gestão de *stocks*, é importante aferir quais os métodos de previsão que se enquadram com os padrões dos consumos de cada produto. Esta seleção foi feita recorrendo a vários métodos de análise de séries temporais.

2.3.1 Decomposição clássica

A decomposição clássica tem como objetivo a identificação das componentes de uma série temporal. Um dos pressupostos base desta abordagem é a assunção que todos os dados da série temporal são compostos por duas componentes base: o padrão e o erro (Wheelwright e Makridakis 1989), (Makridakis, Wheelwright, e Hyndman 1998).

O objetivo dos métodos de decomposição é uma precisa separação do padrão nas suas componentes: tendência-ciclo e sazonalidade. O erro, por sua vez, diz respeito à componente aleatória dos dados, e é definido como a diferença entre os valores dos dados da série temporal e os efeitos da componente tendência-ciclo e sazonalidade. Apesar de ser possível identificar a componente aleatória, não é possível prevê-la (Makridakis, Wheelwright, e Hyndman 1998).

A tendência-ciclo diz respeito a alterações de longo prazo no nível dos dados observados. Por sua vez, a sazonalidade diz respeito a flutuações periódicas com origem em fatores como temperatura, mês do ano, períodos de férias ou políticas internas das empresas (Makridakis, Wheelwright, e Hyndman 1998).

A decomposição clássica é um método utilizado quando se pretende ter uma ideia dos fatores que contribuíram para uma determinada observação, ao isolarem-se as suas componentes. Tentativas de criação de métodos de previsão feitas diretamente a partir da decomposição foram já levadas a cabo, acabando por fracassar a nível prático; há, portanto, a necessidade de se recorrer a métodos de previsão mais robustos para se efetuarem previsões (Makridakis, Wheelwright, e Hyndman 1998).

2.3.2 Métodos de previsão

A necessidade de se recorrer a previsões sobre o que acontecerá no futuro está presente em virtualmente todas as decisões de gestão tomadas numa empresa; a diferença reside em quão formal é o método usado. Independentemente da formalidade dos métodos utilizados, há, no entanto, uma certeza a reter: “as previsões são incertas, imprecisas e inevitáveis” (Sipper e Bulfin 1997).

Os métodos de previsão podem ser divididos em dois grupos principais: métodos qualitativos e métodos quantitativos. A seleção do tipo de método em causa deverá partir da ponderação de uma série de fatores. É necessário haver uma definição precisa do que se pretende prever, da relevância da informação existente sobre o passado para a previsão do futuro, bem como o horizonte temporal para o qual se pretendem efetuar previsões (Chambers, Mullick, e Smith 1971).

Os métodos qualitativos são baseados em análises subjetivas e podem apoiar-se ou não em informação sobre o passado. São particularmente úteis quando a informação e os dados quantitativos são escassos; por exemplo, quando um novo produto é lançado no mercado. Um exemplo comum é a recolha de opinião de um conjunto de especialistas de uma determinada área (Chambers, Mullick, e Smith 1971).

No âmbito deste projeto, os métodos quantitativos aplicados a séries temporais são os mais relevantes e aqueles que serão estudados e apresentados com um detalhe maior. Métodos

quantitativos partem da criação de modelos baseados em dados históricos, com um objetivo de se identificarem os padrões nos dados e extrapolá-los para o futuro. Como métodos quantitativos, foram estudados as médias móveis, o amortecimento exponencial simples, o amortecimento exponencial de Holt e o amortecimento exponencial de Holt-Winters. Todos estes métodos têm em comum serem métodos de amortecimento, isto é, o seu objetivo é atenuarem as oscilações presentes nos dados que resultam da componente de aleatoriedade (Makridakis, Wheelwright, e Hyndman 1998).

As médias móveis são o mais simples e antigo método de amortecimento. O seu cálculo é bastante simples, consistindo em calcular-se a média de um determinado número de períodos imediatamente anteriores. Neste método, apenas um determinado número de observações é considerado, sendo que todas elas têm a mesma contribuição para os valores das previsões.

Os restantes métodos de amortecimento exponencial aqui abordados partem do pressuposto que mesmo dados mais antigos podem ser relevantes na construção do modelo. No entanto, dados mais recentes são os que contêm informação mais relevante para explicar o futuro, pelo que são os que deverão ter um maior peso na construção das previsões. Estes métodos podem ser aplicados nas seguintes circunstâncias:

- amortecimento exponencial simples: é o método mais simples do grupo dos amortecimentos exponenciais. Aplicável a séries temporais que não apresentem sazonalidade nem tendência;
- amortecimento exponencial linear (de Holt): método aplicável a séries temporais que revelem tendência;
- amortecimento exponencial de Holt-Winters: método capaz de interpretar tanto tendências (crescentes ou decrescentes) como sazonalidade nas series temporais.

De modo a serem aplicados os métodos de amortecimento exponencial é necessário definir-se o modo como os valores iniciais irão ser determinados. Makridakis e Hibon (1991) testaram diferentes modos de inicialização para os métodos de amortecimento exponencial simples, de Holt e de tendência amortecida, de maneira a aferir se tinham influência na precisão das previsões. Alguns dos modos testados foram *Least Squares Estimates*, *Backcastings*, *Convenient values* e *Zero Values*. As conclusões apresentadas são no sentido de que, na grande maioria dos casos, os valores de inicialização não irão afetar a precisão do método de previsão.

Alguns autores testaram os métodos de previsão aqui apresentados em várias séries de dados, com o objetivo de aferirem se seria possível retirar conclusões relativas à aplicação dos métodos em casos reais.

Apesar de métodos mais complexos, como o de Holt-Winters, poderem parecer a melhor alternativa, uma vez que têm em conta tanto tendência como sazonalidade, a verdade é que não existe um método que possa ser aplicado indiscriminadamente a qualquer série temporal com a garantia de se obterem os melhores resultados de previsão (Makridakis et al. 1982).

Pode parecer plausível que a escolha de um modelo que tenha em consideração fatores como tendência e sazonalidade seja capaz de produzir previsões mais precisas e que seja imediatamente preferido a modelos mais simples. No entanto, o número de parâmetros a estimar também aumenta, podendo levar a piores estimativas destes e previsões menos fiáveis. Na prática, um modelo mais complexo deve ser evitado a não ser que haja motivos para crer que a complexidade extra é necessária e justificável (Axsäter 2007).

Em Makridakis et al. (1982) procedeu-se a um estudo no qual vários métodos de amortecimento foram aplicados a um grande número de séries temporais, com o objetivo de identificarem possíveis diferenças entre diferentes métodos de previsão. Algumas das conclusões apresentadas são as seguintes:

- Quanto maior a aleatoriedade presente nos dados, menor é a justificação para se utilizarem métodos de previsão complexos. Métodos de previsão mais complexos não revelaram ser mais precisos do que métodos de previsão simples, como o amortecimento exponencial simples com ajuste sazonal prévio, quando existe uma elevada aleatoriedade nos dados. Por exemplo, quando aplicados a dados agregados diariamente ou mensalmente, comparativamente com séries em que os dados estejam agregados anualmente, a aleatoriedade presente nos dados é bastante maior, favorecendo a utilização de métodos simples;
- Para previsões num horizonte temporal de 1 ou 2 períodos, amortecimento exponencial simples com ajuste sazonal, amortecimento exponencial de Holt e amortecimento exponencial de Holt-Winters levam a previsões igualmente satisfatórias;
- Foram testados vários métodos de decomposição dos dados tendo em vista o ajuste sazonal. O método base utilizado para comparação foi o do rácio das observações pelas médias móveis centradas (*ratio-to-centered moving averages*), sendo que nenhum dos outros métodos testados se revelou estatisticamente melhor na determinação de índices de sazonalidade;
- O ajuste sazonal prévio dos dados utilizando um método de decomposição faz com que métodos simples e sofisticados produzam previsões com uma precisão semelhante. Os autores defendem que o ajuste sazonal dos dados é suficiente para eliminar a sazonalidade dos dados, podendo-se então aplicar métodos mais simples, que não precisem de ter em conta a sazonalidade, como o amortecimento exponencial de Holt ou o amortecimento exponencial simples, caso exista ou não tendência na série temporal, respetivamente. Os autores defendem mesmo que efetuando o ajuste sazonal aos dados, efetuando as previsões e ajustando os valores das previsões para ter em conta a sazonalidade parece levar a melhores resultados do que aplicando o método de Holt-Winters diretamente.

2.3.3 Medidas dos erros

Existem várias medidas que podem ser utilizadas de modo a aferir-se a precisão de um método de previsão. Duas das principais, e as duas que foram utilizadas neste projeto, são o Erro Quadrático Médio (*Mean Squared Error*, doravante designado de MSE) e o Erro Percentual Absoluto Médio (*Mean Average Percentual Error*, doravante tratado por MAPE), calculados pelas equações (2.5) e (2.6), respetivamente.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (A_t - P_t)^2 \quad (2.5)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - P_t}{A_t} \right|, \quad (2.6)$$

onde:

A_t , valor real no período t ;
 P_t , previsão para o período t ; e
 n , número de períodos a utilizar na análise.

2.4 Considerações práticas sobre a revisão da literatura

Os métodos de previsão que serão apresentados no decorrer do documento são as médias móveis de 3 e 5 meses e os amortecimentos exponenciais simples e de Holt. Foi feita ainda uma tentativa de aplicação do método multiplicativo de Holt-Winters, no entanto, o facto de algumas

matérias-primas não serem consumidas há um número de períodos suficientes para se estimar a sazonalidade da série temporal, bem como a existência de meses em que algumas matérias-primas não eram consumidas (consumo igual a zero) impossibilitaram a sua aplicação prática. Para além disso, seguiram-se as indicações de Makridakis et al. (1982) que defendem que, na presença de sazonalidade, a decomposição dos dados para remover a componente sazonal, aplicação dos métodos e ajuste das previsões para ter novamente em conta a sazonalidade costuma levar a melhores resultados do que a aplicação do método de Holt-Winters diretamente. Por este motivo, quando detetada sazonalidade, o método de decomposição dos dados de modo a remover a componente sazonal foi o preferido, aplicando de seguida os métodos enumerados inicialmente. O método a que se recorreu na determinação dos índices de sazonalidade foi o do rácio das médias móveis centradas, como descrito em Wheelwright e Makridakis (1989).

No caso da aplicação de amortecimentos exponenciais, considerou-se que os parâmetros se mantêm constantes ao longo dos períodos, uma vez que não existem provas que favoreçam a utilização de parâmetros adaptativos (Gardner 1985). As constantes a utilizar nestes métodos foram determinadas tendo em conta os seus valores ótimos, isto é, os valores que minimizavam o MSE dos dados sob análise. Uma vez que foram efetuadas previsões *ex-post*, os valores ótimos foram determinados minimizando o MSE dos dados utilizados na criação dos modelos. Estes valores foram obtidos recorrendo ao suplemento *Solver* do *Excel*. Quanto aos valores iniciais dos métodos de amortecimento exponenciais, aplicaram-se os indicados em Almada-Lobo (2014).

Quanto à gestão de stocks, é igualmente importante tecer algumas considerações.

Na definição dos *stocks* de segurança, escolheu-se recorrer o nível de serviço alfa, uma vez que é o mais difundido na prática. Quando na presença de variabilidade de procura e variabilidade de *lead times*, o seu cálculo é efetuado recorrendo à expressão (2.7) (King 2011).

$$SS = z * \sqrt{LT * \sigma_D^2 + (\sigma_{LT} * \bar{D})^2}, \quad (2.7)$$

onde:

SS, *stock* de segurança;
z, z-score associado ao nível de serviço;
LT, *lead time* da matéria-prima;
 σ_D^2 , variância da procura;
 σ_{LT} , desvio padrão dos *lead times*; e
D, procura média.

Neste projeto, no entanto, componente da variabilidade dos *lead times* não será estudada em detalhe. Uma das razões é que a distribuição dos *lead times* foi difícil de se determinar na prática; as encomendas nem sempre são colocadas para períodos iguais aos do *lead time* (algumas encomendas são colocadas para o médio/longo prazo), o que dificulta a determinação das distribuições dos *lead times* dos fornecedores. No entanto, é comum a variabilidade da procura ser bastante superior à variabilidade dos *lead times*, sendo o principal fator na definição das necessidades de *stock* de segurança (King 2011).

Apesar de o *stock* de segurança ser muitas vezes definido com base na variabilidade da procura, Zinn e Marmorstein (1990) defende que a utilização da variabilidade de erros de previsão deve levar à determinação de *stocks* de segurança mais reduzidos. Esta observação parte do princípio que nem todas as variações são inexplicáveis, pelo que, caso parte destas oscilações seja identificada pelo método de previsão, os níveis de *stocks* de segurança necessários irão ser mais reduzidos. Neste projeto, utilizou-se a abordagem sugerida por estes autores.

3 Funcionamento da empresa e oportunidades encontradas

Neste capítulo, será apresentado o funcionamento da empresa, bem como apresentados em detalhe as oportunidades encontradas no âmbito do tema do projeto.

3.1 Funcionamento da empresa

Na secção seguinte, será explicado o funcionamento da empresa nas áreas relacionadas com o âmbito do projeto aquando do começo do mesmo. Esta explicação ganha relevância uma vez que ajuda a explicar os desafios encontrados e a abordagem seguida na tentativa de os resolver.

3.1.1 Sistemas de informação utilizados

Ao nível do departamento do planeamento da produção, existem dois sistemas principais implementados na empresa que são utilizados constantemente: um sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP, doravante chamado de ASW), e um sistema de *Shop Floor Control* (doravante chamado de SFC).

O ASW é onde está disponível grande parte da informação relativa às atividades da empresa. Este sistema foi desenvolvido pela IBS e engloba a gestão das operações de diversas áreas da empresa. Ao nível do planeamento da produção, destacam-se a consulta de informações como estados de ordens de fabrico, encomendas a fornecedores ou saldos de armazém. É este o sistema utilizado quando se pretende criar uma nova ordem de fabrico ou encerrar uma ordem de fabrico existente. É ainda neste sistema que estão carregadas as *bill of materials* dos produtos acabados. Esta ferramenta foi construída com base no sistema AS400, mais direcionado para o *backoffice*. Na Figura 4, é apresentado o ecrã inicial do ASW.

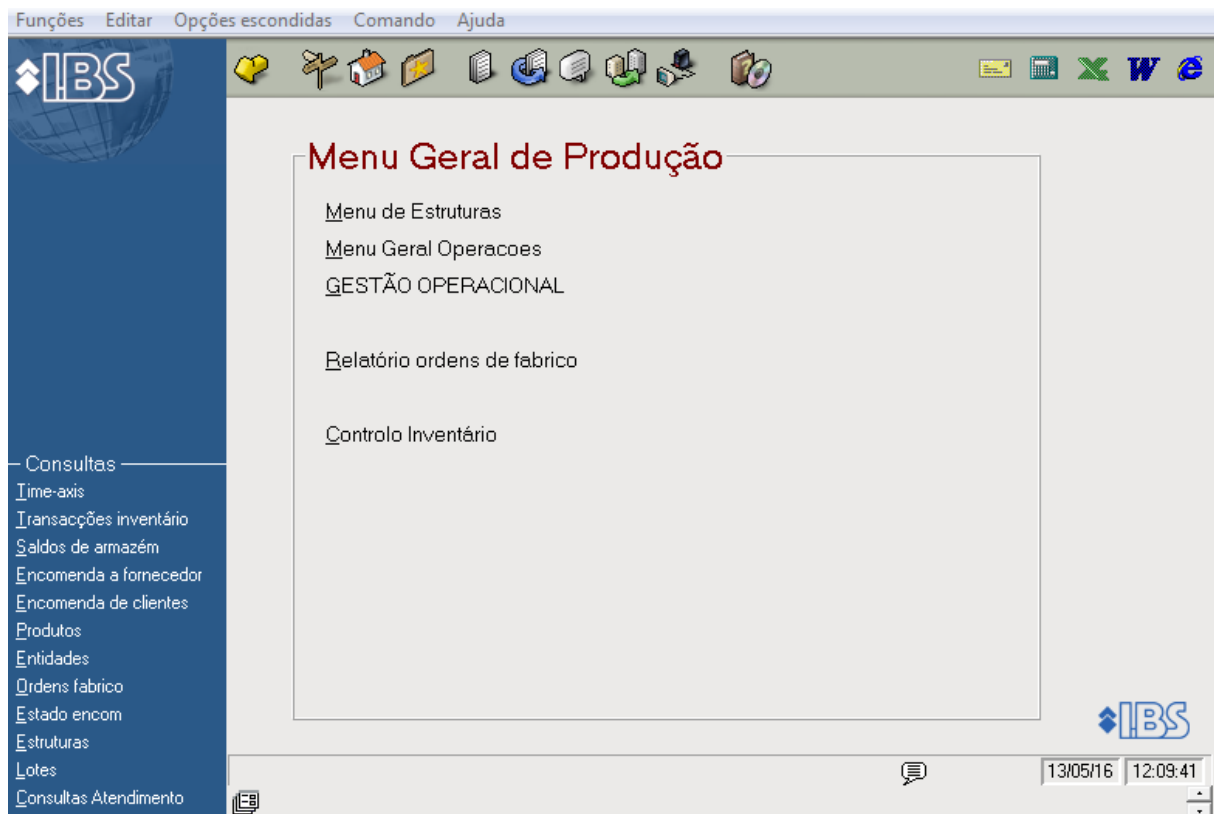


Figura 4 – Ecrã inicial do ASW.

O controlo da produção é feito no SFC. É nesta ferramenta que se procede ao sequenciamento das ordens de fabrico, que se traduz num plano mestre de produção dos produtos acabados. Este plano é elaborado pelos responsáveis do departamento do planeamento da produção, podendo ser consultado pelos encarregados da fábrica.

3.1.2 Produção

O processo produtivo na empresa é linear: o processo inicia-se com a pesagem e mistura das matérias-primas, seguidas da extrusão, moagem e embalagem.

A nível de produção de produtos acabados, a empresa tanto aplica estratégias *make-to-stock* (MTS) como *make-to-order* (MTO). O modo como as matérias-primas se relacionam com os produtos intermédios e produtos acabados está esquematizado na Figura 5.

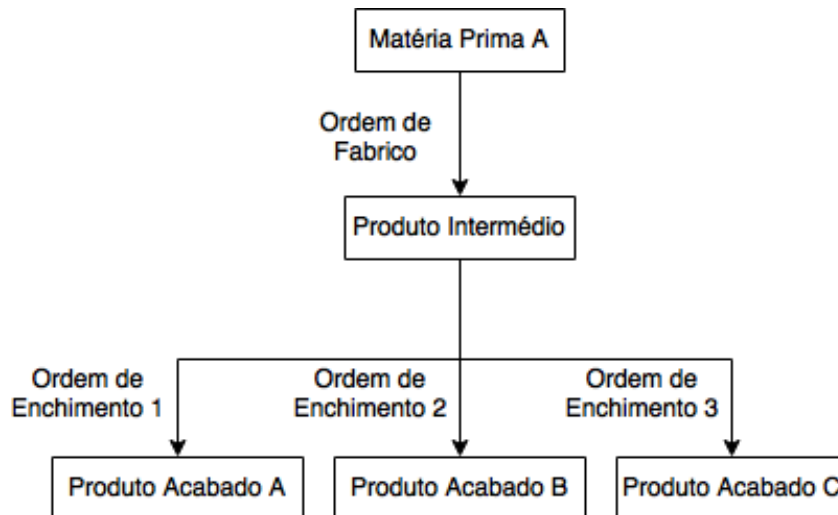


Figura 5 – Relação entre matérias-primas, produtos intermédios e produtos acabados.

Uma ordem de fabrico corresponde a uma ordem de produção. Nesta ordem de fabrico, é possível ver quais as matérias-primas que serão consumidas, em que quantidades e qual o produto intermédio que originarão. Este produto intermédio poderá dar origem a um ou a vários produtos acabados, sendo que a única diferença entre os produtos acabados A, B ou C será o rótulo ou o tipo de embalagem usada. São estes produtos acabados que tanto poderão ser produzidos seguindo estratégias MTS como estratégias MTO.

A gestão de produtos MTS é feita recorrendo ao Índice de Cobertura de cada produto, calculado pelo ASW através da expressão (3.1). Tendo em conta a quantidade de produto existente num dado momento, a quantidade de produto já reservada para satisfazer encomendas de clientes e as quantidades médias de procura diária previstas, obter-se-á o número de dias previsto que demorará até o *stock* desse produto se esgotar.

$$\text{Índice de cobertura} = \frac{\text{Existências} - \text{Quantidades reservadas}}{\frac{\text{Previsões de consumo mensais}}{\text{Número de dias úteis do mês}}} \quad (3.1)$$

Este indicador pressupõe a existência de previsões de procura de produtos acabados MTS. Estas previsões existem atualmente, sendo efetuadas e revistas anualmente pelo departamento do planeamento industrial, podendo também ser atualizadas a qualquer momento pelo departamento comercial.

A decisão de quanto produzir é feita recorrendo à EOQ. Esta fórmula tem em conta a procura anual, o custo de *setup* e os custos de manter o produto em inventário, e permite identificar a quantidade de produção que minimiza os custos totais de produção e armazenamento. Este indicador é calculado para cada produto acabado MTS, sendo que cada um destes produtos apenas é produzido na respetiva quantidade indicada pelo EOQ.

Se para os produtos MTS faz sentido efetuar previsões de consumo de produtos acabados e utilizá-las para lançar ordens de produção, o mesmo não acontece para os produtos fabricados segundo estratégias MTO. A própria definição de produto MTO indica-nos que estes produtos apenas são fabricados quando são recebidas ordens de clientes. No caso destes produtos, as quantidades a fabricar vão variar consoante as quantidades encomendadas pelos clientes.

3.1.3 Planeamento

As responsabilidades de efetuar o sequenciamento de fabrico e a gestão das encomendas de matérias-primas recaem no departamento do planeamento industrial.

A abertura de ordens de fabrico de produtos MTS e a sua inserção no sequenciamento é feita pelo departamento do planeamento com base nas previsões de produtos acabados existentes. Para estes produtos, o departamento consegue antecipar, com maior ou menor precisão, quando será necessário produzi-los de modo a repor o *stock*. Regra geral, as ordens de fabrico destes produtos são criadas quando o índice de cobertura do produto é igual ou inferior ao seu *lead time* mais três dias úteis.

Os produtos MTO, por outro lado, apenas são produzidos quando existem encomendas de clientes. Apesar de alguns clientes colocarem encomendas com prazos mais distantes, para estes produtos a empresa tem a política de estar preparada para aceitar todas as encomendas colocadas num horizonte temporal de 12 dias úteis.

Quanto ao sequenciamento de fabrico, regra geral, é feito para um horizonte temporal de 10 dias úteis. Uma vez que os *lead times* das matérias-primas são, em quase todos os casos, superiores aos prazos com que são aceites encomendas de clientes e ao período para o qual é feito o sequenciamento de fabrico, não é possível estas serem encomendadas apenas quando são recebidas encomendas de clientes; é necessário tê-las em *stock*.

3.1.4 Movimentações de matérias-primas e produtos acabados

As matérias-primas estão armazenadas num armazém fisicamente próximo da fábrica (doravante chamado de armazém de matérias-primas), sendo transportadas para a fábrica no mínimo uma vez por dia, com as quantidades necessárias para satisfazer as ordens de fabrico desse mesmo dia.

Para além dos fornecedores externos e do armazém de matérias-primas, existem duas entidades com as quais a Megadur estabelece transferências de materiais: a sede do grupo e o centro de distribuição.

À medida que os produtos são produzidos, vão sendo transportados para o centro de distribuição. Este transporte é efetuado geralmente três vezes por dia, pelo que na fábrica apenas se mantêm *stocks* de produtos acabados por curtos períodos de tempo. Assim que o produto acabado é transferido para o centro de distribuição, deixa de estar sob a alçada da Megadur.

Tanto a sede do grupo como a Megadur têm o seu próprio armazém de matérias-primas. No entanto, a proximidade geográfica entre estes armazéns torna possível a transferência de matérias-primas entre ambos, nos casos das matérias-primas que são consumidas nas duas fábricas. Estas transferências podem ocorrer nos dois sentidos e são utilizadas para solucionar situações em que ocorre uma rutura de matéria-prima inesperada.

3.2 Desafios encontrados

De seguida, serão detalhados os desafios encontrados, que impedem uma gestão de matérias-primas eficiente. Os problemas que se pretendem solucionar estão relacionados com a falta de comunicação entre os sistemas informáticos usados e o modelo atual de aprovisionamento de matérias-primas.

3.2.1 Sistemas informáticos

Apesar de haver comunicação entre o ASW e o SFC, é uma comunicação algo limitada e com algumas lacunas. Saldos de matérias-primas estão presentes no ASW e não são acedidos pelo SFC; datas de produção reais são determinadas no SFC e não são atualizadas no ASW. Estes fatores têm implicações a vários níveis, tanto na gestão de matérias-primas como na exequibilidade do sequenciamento de fabrico planeado.

O facto de o SFC não ter acesso a informações sobre as existências de matérias-primas significa que o sequenciamento de fabrico é feito sem uma noção real dos níveis de *stocks* de matérias-primas aquando da produção de um determinado produto. Na prática, isto significa que se pode efetuar um sequenciamento de produção completo sem o sistema oferecer qualquer tipo de indicação caso as matérias-primas estejam ou venham a entrar em rutura.

Assim que uma nova ordem de fabrico é criada, o ASW acede à *bill of materials* do produto em causa e reserva as quantidades de matérias-primas necessárias para a produção da quantidade definida do produto em causa. Estas quantidades de matérias-primas ficam com o estado de “Reservadas” no ASW desde o momento em que a ordem de fabrico é criada até que o processo produtivo é concluído e a ordem de fabrico é encerrada, altura em que as quantidades reservadas até então são consumidas e deduzidas às existências. No momento da criação da ordem de fabrico, é necessária a introdução da data de produção. Atualmente, é inserida uma data de produção fictícia (por exemplo, 15 dias a partir do dia em que a ordem de fabrico é criada). Esta data permanece no ASW desde o momento de criação da ordem de fabrico até ao momento em que a ordem de fabrico é encerrada e em nenhum momento tem em conta a posição do produto no sequenciamento de fabrico, que apenas está disponível no SFC.

O ASW disponibiliza uma ferramenta chamada *Time Axis* onde são apresentadas, para cada dia num futuro próximo, as quantidades que serão consumidas, as entregas de fornecedores esperadas, as quantidades em risco de expirarem o prazo de validade e as quantidades que irão maturar e passar a estar disponíveis; todas estas variáveis vão servir como parâmetros para o cálculo do saldo que estará disponível em cada um dos dias seguintes. Este ecrã está apresentado na Figura 6, tendo-se optado por selecionar uma das matérias-primas mais consumidas na fábrica. Apesar de esta matéria-prima ser praticamente consumida diariamente, o ASW assume que as quantidades irão ser consumidas nas datas que foram inseridas aquando da criação da ordem de fabrico, indicando neste caso que a matéria-prima apenas iria ser consumida em dois dos dias apresentados (de acordo com as datas inseridas), o que não correspondeu à realidade. Apesar de ter a potencialidade de ser uma ferramenta útil, dando um controlo visual do que esperar nos dias seguintes, o facto de os valores apresentados não terem em conta as reais datas em que as matérias-primas serão consumidas levam a que atualmente seja pouco utilizada na prática.

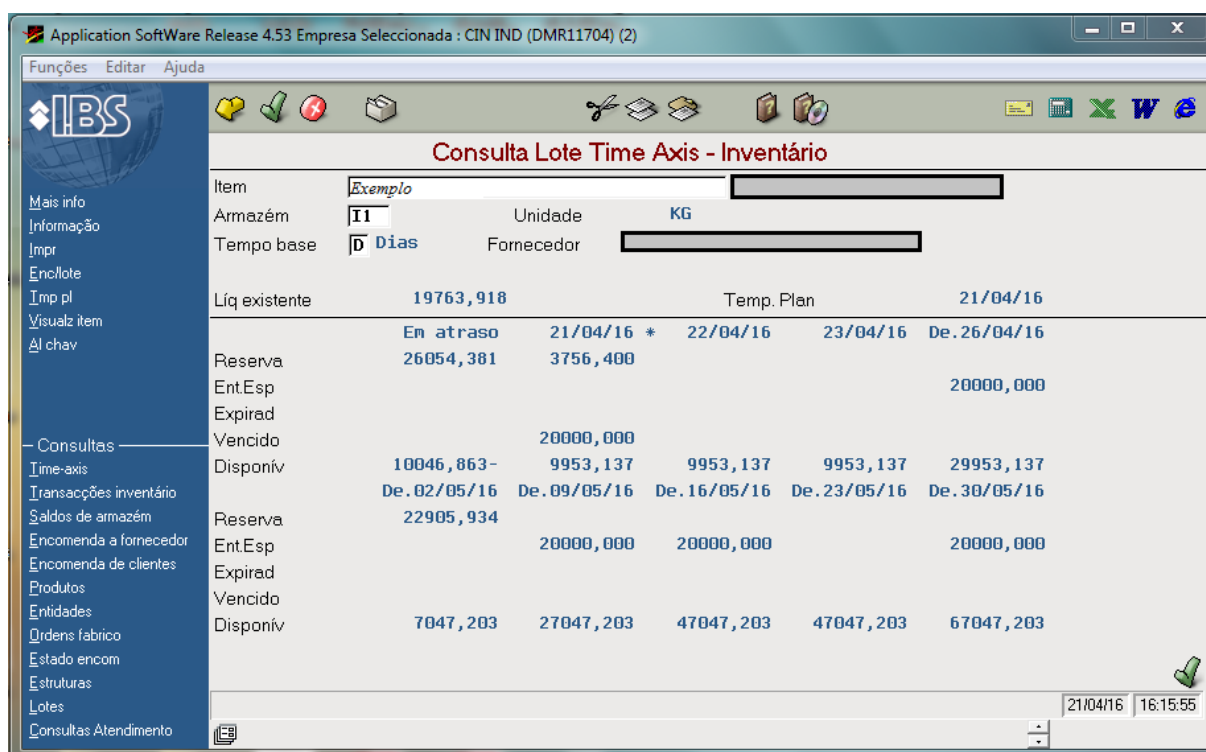


Figura 6 – Ecrã Time Axis de uma matéria-prima.

Importa realçar que uma matéria-prima pode estar inserida no ASW sob diferentes nomenclaturas. Apesar de fisicamente ser o mesmo produto, fatores como diferentes fornecedores ou diferentes países de origem levaram à inserção das matérias-primas sob designações diferentes (diferentes designações de uma mesma matéria-prima são chamadas de contratipos). Todos os contratipos são tratados pelo ASW como sendo matérias-primas completamente distintas.

O ASW oferece ainda poucas ferramentas que permitam analisar os registos que nele estão armazenados. Apesar de todos os dados relativos a movimentações de matérias-primas estarem disponíveis no ASW, este não oferece ferramentas que permitam agrupar essa informação de modo a facilitar a sua interpretação. Isto é, não é possível agrupar os dados a nível diário/mensal ou por matéria-prima, de modo a saber, por exemplo, as quantidades consumidas num determinado mês. Quando este tipo de análise é necessária, os dados são extraídos do sistema para uma folha de cálculo em Excel.

3.2.2 Processo de aprovisionamento de matérias-primas

A decisão de encomendar é feita consultando manualmente o estado de cada matéria-prima, tendo em conta as existências, as quantidades já destinadas a ordens de fabrico abertas e possíveis encomendas a fornecedores pendentes. Estas informações podem ser consultadas no menu “Saldo de armazém”, apresentado na Figura 7.

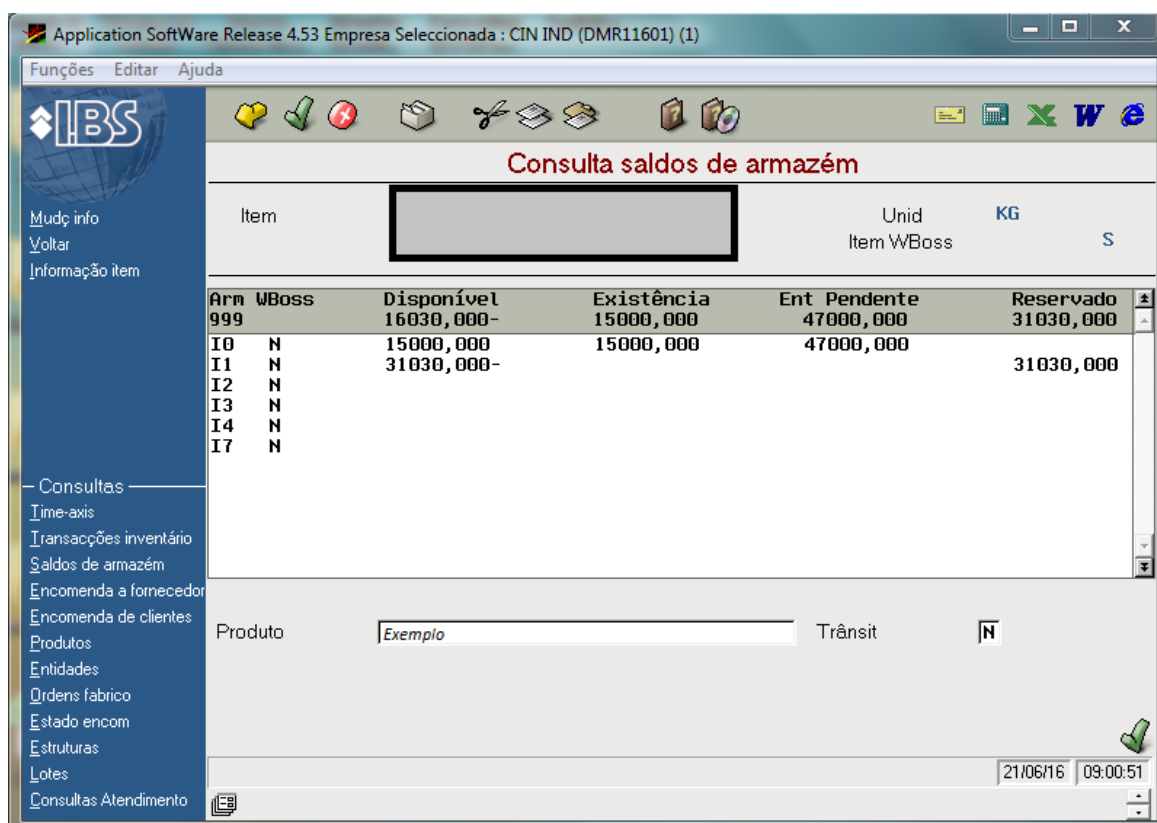


Figura 7 – Ecrã saldos de armazém do ASW.

O ASW não está desenhado para incluir restrições ligadas aos fornecedores, como quantidades mínimas de encomenda. O próprio departamento de compras não dispõe de uma ferramenta capaz de lidar com essas restrições, fazendo a definição de necessidades de encomenda com base em tabelas de dados estáticas em Access.

O processo de decisão da quantidade a encomendar baseia-se na interpretação de um ficheiro em Excel, atualizado pela responsável do planeamento industrial ao longo do tempo, onde estão inseridos os consumos mensais de matérias-primas nos meses anteriores. As quantidades a encomendar são, então, determinadas com base nos consumos em meses anteriores ou em consumos de períodos homólogos. É ainda tida em conta a possibilidade de ser necessário agrupar encomendas de matérias-primas com um fornecedor comum.

Assim, a responsável pelo planeamento industrial decide as quantidades a encomendar com base nas necessidades que antevê e com a sua experiência relativa a ordens mínimas de encomenda do fornecedor em causa, num processo maioritariamente empírico, pouco adequado à dimensão das operações da empresa e às quantidades de matérias-primas geridas.

Estas encomendas não são colocadas aos fornecedores diretamente, mas sim enviadas para o departamento de compras. São os responsáveis deste departamento que têm contacto direto com o fornecedor e que definirão a quantidade que será realmente encomendada. Por exemplo, a existência de descontos de quantidade por parte do fornecedor pode justificar a colocação de encomendas maiores. Para além disso, o facto de o departamento de compras gerir ainda as encomendas da sede pode levar a que as quantidades a encomendar sejam ajustadas de modo a satisfazer as necessidades das duas fábricas em simultâneo.

4 Metodologia seguida

De seguida, será apresentado o trabalho desenvolvido, bem como a solução proposta para a resolução dos problemas identificados. Todos os dados utilizados nesta fase foram exportados do ASW para uma folha de cálculo Excel, onde foram depois analisados.

4.1 Análise aos consumos de matérias-primas

A primeira etapa da abordagem seguida consistiu na identificação de quais os *stocks* que deveriam estar sob o foco das análises a realizar: se as matérias-primas ou os produtos acabados. Em Sipper e Bulfin (1997) defende-se que, quando é necessário recorrer a previsões, o nível para o qual estas devem ser feitas depende das estratégias de produção seguidas e do número de artigos em cada nível. As considerações defendidas por estes autores estão ilustradas na Figura 8.

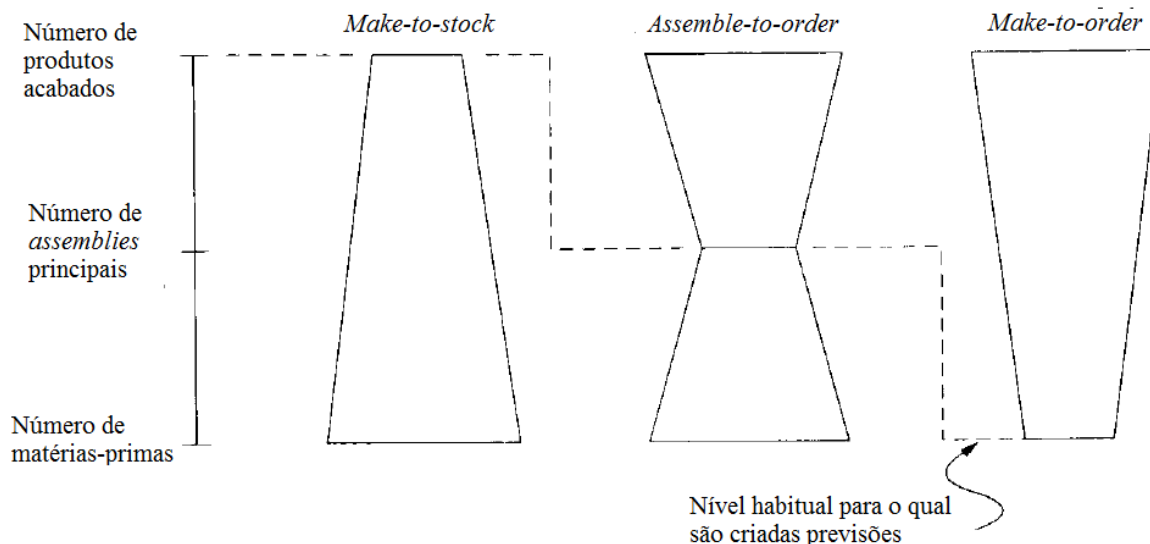


Figura 8 – Nível para o qual devem ser criadas previsões, em Sipper e Bulfin (1997).

Na Megadur, são utilizadas cerca de 240 matérias-primas na produção de cerca de 300 produtos acabados MTS e cerca de 1200 produtos acabados MTO. Tendo em conta o ramo da empresa, compreende-se que uma pequena variação na quantidade de uma determinada matéria-prima irá dar origem a um produto de uma cor ligeiramente diferente, mas ainda assim um produto acabado distinto.

O facto de o número de matérias-primas utilizadas ser várias vezes inferior ao número de produtos acabados sugere que uma abordagem direccionada para as matérias-primas será mais

adequada, uma vez que permitirá a previsão de um menor número de artigos, o que deverá levar a melhores previsões.

Para além da relação entre o número de produtos, calcularam-se as quantidades de matérias-primas consumidas em produtos MTS e MTO, de modo a determinar se havia uma grande discrepância nestes consumos. Caso os consumos de matérias-primas em produtos MTS fossem predominantes, uma abordagem mais vocacionada para os produtos acabados poderia ser considerada, uma vez que seria possível utilizar e tentar melhorar as previsões existentes destes produtos, utilizando posteriormente a *bill of materials* para se obterem os consumos de matérias-primas.

Os resultados desta primeira etapa indicaram que havia um equilíbrio dos consumos de matérias-primas em produtos MTS e em produtos MTO (cerca de 55%/45%). O foco do projeto esteve, então, nas matérias-primas, já que, para além do objetivo da empresa ser a melhoria da sua gestão, os métodos de previsão seriam aplicados a um número bastante inferior de artigos, melhorando a sua precisão. Das cerca de 240 matérias-primas utilizadas na produção, apenas 62 estão sob a alçada da Megadur no que diz respeito ao aprovisionamento, sendo estas as que estão inseridas no âmbito do trabalho e as que serão analisadas.

4.2 Segmentação das matérias-primas

A segmentação das matérias-primas foi feita recorrendo à análise ABC-XYZ. Esta análise vai mais além do que a matriz ABC tradicional, ao estudar e segmentar as matérias-primas segundo os seus padrões de consumo.

Apesar de a análise ABC ser a mais difundida, uma vez que esta análise não era ainda utilizada pela empresa e teria que ser feita de raiz, decidiu-se que seria útil efetuar uma análise ABC multicritério, mais completa. Tendo em conta o uso que será dado à análise e de maneira a não aumentar em demasia a complexidade optou-se por considerar dois critérios adicionais, a juntar aos custos anuais de consumo (em €): o consumo total (em kg) e o *lead time* (em dias úteis). Considerou-se o consumo total, pois assume-se que as matérias-primas mais consumidas serão igualmente as que ocupam mais espaço em armazém e consideraram-se os *lead times* uma vez que os *lead times* longos são um dos fatores que complica a gestão das matérias-primas e que levam a *stocks* médios elevados, que são dois problemas que a empresa pretende resolver. Os dados utilizados nestas análises dizem respeito aos consumos de matérias-primas em 2015, incluindo na análise apenas as matérias-primas que ainda sejam necessárias e geridas pela Megadur em 2016.

A ponderação dos diferentes critérios foi feita recorrendo ao método apresentado em Flores, Olson, e Dorai (1992). Apesar de estudos mais recentes apresentarem sugestões de melhoria a esse modelo, decidiu-se que a análise efetuada no estudo supracitado é superior à análise ABC tradicional sem acrescentar níveis de complexidade desajustados e desnecessários.

Este método recorre ao *Analytic Hierarchy Process* para determinar a importância de cada um dos critérios utilizados, ao estabelecer-se uma comparação do grau de importância de cada critério relativamente aos restantes. A comparação dos critérios foi feita tendo como base a Tabela 2. Nesta tabela, estão apresentados os graus de preferência que um determinado critério (critério base) terá em relação aos restantes.

Tabela 2 – Fatores utilizados na comparação dos critérios na análise ABC multicritério, em Flores, Olson, e Dorai (1992).

Escala	Importância relativa	Explicação
1	Igual importância	Os fatores são igualmente importantes.
3	Preferência ligeira	Critério base é ligeiramente mais importante que o fator com que está a ser comparado.
5	Preferência média	Critério tem uma importância significativamente maior.
7	Preferência forte	Critério base é bastante mais importante.
9	Preferência absoluta	Critério base tem o maior nível de preferência.

Tendo-se decidido que iriam ser incluídos 3 critérios nesta análise, foi necessário estabelecer a importância relativa entre eles. As conclusões a que se chegaram foram que o custo anual de consumo deveria ser considerado como ligeiramente mais importante do que o consumo anual e igualmente importante relativamente ao *lead time*. Por sua vez, o consumo anual deveria ser considerado ligeiramente menos importante do que o *lead time*. Estas considerações são introduzidas na análise através da Tabela 3.

Tabela 3 – Importância relativa dos critérios a utilizar na análise ABC multicritério.

	Custo anual de consumo	Consumo anual	Lead time
Custo anual de consumo	1	3	1
Consumo anual		1	1/3
Lead time			1

O resultado final é a criação de uma medida de utilidade de cada matéria-prima, calculada através da ponderação de cada critério, segundo a qual estas são ordenadas decrescentemente. O peso que cada critério terá na definição da medida de utilidade foi identificado introduzindo os valores da Tabela 3 numa calculadora *online* e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Peso de cada critério na medida de utilidade da análise ABC multicritério.

Custo anual de consumo	0,42
Consumo anual	0,14
Lead time	0,42

Uma vez que os critérios utilizados têm diferentes unidades de medida, os valores de todos os critérios tiveram que ser convertidos para uma escala comum, dado que, por exemplo, não teria significado estabelecer uma comparação de *lead times*, em dias, com custos anuais de consumo, que podem atingir várias centenas de milhares de euros. Esta normalização foi feita recorrendo à equação (4.1), que traduz a importância relativa do valor de uma matéria-prima num determinado critério tendo em conta a amplitude dos valores presentes nesse critério.

$$W_i = \frac{F_i - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}}, \quad (4.1)$$

onde:

W_i , valor transformado associado à matéria-prima i no critério sob transformação;
 F_i , valor associado à matéria-prima i no critério sob transformação;
 $F_{\min}$, valor mínimo do critério sob transformação; e
 $F_{\max}$, valor máximo do critério sob transformação.

A medida de utilidade de cada matéria-prima é, então, calculada tendo em conta os valores transformados em cada critério e o peso desse mesmo critério, através da expressão (4.2).

$$Utilidade_i = \sum_j W_{i,j} * Peso_j, \quad (4.2)$$

onde:

$Utilidade_i$, utilidade associada à matéria-prima i ;
 $W_{i,j}$, valor transformado associado à matéria-prima i no critério j ; e
 $Peso_j$, peso do critério j .

Definiu-se que a categoria A englobaria os primeiros 20% das matérias-primas mais úteis, a categoria B os 30% seguintes e a categoria C os restantes 50%. Tal traduziu-se numa categoria A com 13 matérias-primas, numa categoria B com 19 matérias-primas e numa categoria C com 30 matérias-primas.

Na Tabela 5, podem consultar-se os valores de utilidade das seis matérias-primas mais úteis, bem como os valores reais e valores transformados em cada um dos critérios usados. A análise completa a todas as matérias-primas pode ser consultada no Anexo A.

Tabela 5 – Valores de utilidade das seis matérias-primas mais úteis.

	Valores reais			Valores transformados			Utilidade
	Custo anual de consumo (€)	Lead Time (dias úteis)	Consumo anual (kg)	Custo anual de consumo (€)	Lead Time (dias úteis)	Consumo anual (kg)	
MP 1	1 397 142	15	664 736	1,00	0,44	0,68	0,78
MP 2	1 208 226	30	519 131	0,86	1,00	0,53	0,74
MP 3	1 057 247	22	491 743	0,76	0,70	0,50	0,64
MP 4	343 104	22	980 297	0,24	0,70	1,00	0,63
MP 5	989 084	15	515 148	0,71	0,44	0,53	0,59
MP 6	919 724	22	427 779	0,66	0,70	0,44	0,57

Concluída a análise ABC multicritério, procedeu-se à análise XYZ, utilizada para categorizar as matérias-primas segundo os seus padrões de consumo. As matérias-primas foram ordenadas segundo o seu coeficiente de variação e os limites utilizados na segmentação foram os mesmos que os utilizados na análise ABC: 20% das matérias-primas na categoria X, 30 % na categoria Y e 50% na categoria Z. A análise XYZ completa pode ser consultada no Anexo B, onde estão apresentados os coeficientes de variação de cada matéria-prima.

O resultado destas análises pode ser resumido pela Tabela 6, onde se apresenta a matriz ABC-XYZ e o número de matérias-primas que recai em cada uma das categorias.

Tabela 6 – Número de matérias-primas por categoria.

Categoria	X	Y	Z
A	5	6	2
B	6	7	6
C	2	6	22

4.3 Níveis de *stock* iniciais

A análise ABC-XYZ permite, ainda, aferir se a gestão dos *stocks* pode ser mais eficiente. Sendo as matérias-primas A as mais importantes, deverão ser controladas mais de perto de modo a manterem-se *stocks* reduzidos, uma vez que serão também aquelas que acarretam um maior custo de posse. A análise XYZ, por sua vez, indica-nos que o facto de as matérias-primas X serem as que apresentam um consumo mais estável e previsível, deverão permitir que sejam mantidos níveis de *stocks* médios mais reduzidos. De modo análogo, é de esperar níveis médios de *stocks* elevados nas matérias-primas com consumos irregulares, como são as matérias-primas Z.

Procedeu-se, então, a uma análise aos níveis de *stocks* de matérias-primas, com base ainda nos dados de 2015. Um dos indicadores mais utilizados na gestão de *stocks* é a taxa de cobertura. Este indicador traduz o tempo médio que o *stock* demora a ser renovado e pode ser definido pela expressão (4.3).

$$\text{Taxa de cobertura (em dias)} = \frac{\text{Quantidade média em stock}}{\text{Quantidade média diária consumida ao longo do ano}} \quad (4.3)$$

Atualmente, a empresa não guarda registos dos níveis de *stocks* médios por matéria-prima ou do número de ruturas destas. Estes dados são relevantes uma vez que se pretende estudar apenas as 62 matérias-primas geridas pela Megadur e não todas as matérias-primas existentes em armazém.

Uma vez que se consideram estes dados importantes para diagnosticar o estado inicial e estudar as potenciais melhorias, estes valores foram determinados no âmbito do projeto. Estes dados foram obtidos partindo dos saldos existentes de matérias-primas no dia em que a análise foi feita e de todos os registos de transações de matérias-primas tanto da fábrica como do armazém de matérias-primas até ao início de 2015, de maneira a determinar as quantidades existentes de cada uma delas em cada dia. Obtidos estes valores, foi possível calcular os *stocks* médios, a cobertura e *stock* e identificar o número de ruturas de cada matéria-prima. As quantidades e valores médios de *stocks* por categoria podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 – Quantidades e valores médios em *stock*, por categoria.

	Quantidade média em <i>stock</i> (kg)	Valor médio em <i>stock</i> (€)
AX	198 000	243 000
AY	131 000	280 000
AZ	47 000	102 000
BX	73 000	299 000
BY	66 000	119 000
BZ	59 000	106 000
CX	2 000	10 000
CY	13 000	52 000
CZ	99 000	261 000
Total	688 000	1 472 000

4.3.1 Cobertura de *stock*

Determinados os *stocks* médios, calculou-se a taxa de cobertura, em dias úteis, de cada matéria-prima. De modo a não enviesar a análise, foram desconsideradas as matérias-primas com coberturas de *stock* superiores a 300 dias úteis, uma vez que se consideraram *outliers*. Apenas duas matérias-primas foram excluídas: uma matéria-prima BX e uma CZ.

Os valores médios da cobertura de *stock* segundo as categorias ABC e XYZ podem ser consultados nas Tabela 8 e Tabela 9, respetivamente.

Tabela 8 – Média de cobertura de *stock* por categoria ABC.

Categoria	Cobertura de <i>stock</i> (dias úteis)
A	21,2
B	32,4
C	108,6

Tabela 9 – Média de cobertura de *stock* por categoria XYZ.

Categoria	Cobertura de <i>stock</i> (dias úteis)
X	32,0
Y	38,5
Z	99,3

Como se pode observar, é visível uma tendência de aumento da cobertura de *stock* nas categorias menos importantes e nas categorias com padrões de consumo irregulares. Estes resultados vêm ao encontro do que seria de esperar e revelam uma identificação por parte da empresa das matérias-primas mais importantes e das que têm um consumo mais regular.

Note-se, no entanto, que as categorias C e Z apresentam níveis de cobertura de *stock* bastante acima das restantes categorias. Para as categorias Z, o facto de os consumos serem irregulares leva a que sejam mantidos níveis de *stocks* maiores e que algumas quantidades permaneçam em *stock* durante longos períodos de tempo. Por outro lado, a elevada cobertura de *stock* das matérias-primas das categorias C pode estar relacionada com a existência de quantidades mínimas de encomendas de fornecedores.

4.3.2 Número de ruturas

O passo seguinte foi identificar o número de ruturas. Sempre que as quantidades de matérias-primas existentes na fábrica não são suficientes para as ordens de fabrico a produzir, estas são transferidas a partir do armazém de matérias-primas. Caso as quantidades no armazém de matérias-primas sejam inferiores às quantidades necessárias, todas as quantidades disponíveis no armazém de matérias-primas, ainda que insuficientes, são transferidas para a fábrica. Assim, por recomendação dos responsáveis da empresa, definiu-se que ocorria uma rutura sempre que as existências de uma matéria-prima no armazém de matérias-primas atingiam o valor zero.

No entanto, o facto de uma matéria-prima ter um saldo igual a zero durante longos períodos de tempo não significa obrigatoriamente que é uma situação indesejada e que os planos de produção estejam comprometidos. Pode significar apenas que a empresa não antevê que a matéria-prima venha a ser necessária no curto prazo e que caso seja necessária consegue ter acesso a ela atempadamente. Por este motivo, decidiu-se não incluir nesta análise os casos em que não seja claro se o saldo se esgotou devido a rutura ou devido a uma decisão de gestão em que os responsáveis da empresa deixaram o saldo esgotar intencionalmente. Assim, foram desconsideradas as matérias-primas que apresentassem um número de dias consecutivo em rutura bastante superior ao seu *lead time*, o que indica que o facto de ter esgotado provavelmente se tratou de uma decisão de gestão.

Os resultados da análise de ruturas podem ser consultados na Tabela 10, onde se apresentam o número de ruturas de cada categoria em 2015.

Tabela 10 – Número de ruturas de matérias-primas por categoria.

Categoria	Número de matérias-primas consideradas	Número de ruturas
AX	6	5
AY	4	13
AZ	2	8
BX	6	16
BY	7	15
BZ	6	16
CX	1	4
CY	2	4
CZ	20	17
Total Geral	54	98

4.4 Métodos de previsão de consumos

Uma vez que a empresa trabalha com *lead times* de fornecedores bastante mais longos do que o período para o qual aceitam encomendas de clientes, decidiu-se recorrer a métodos de previsão dos consumos de matérias-primas que se podem esperar no futuro. As análises seguintes foram efetuadas tendo como base os consumos das 62 matérias-primas geridas pela Megadur.

4.4.1 Explicação do modo de aplicação dos métodos

Todos os métodos foram testados recorrendo-se à criação de previsões *ex-post*. Foram obtidos os consumos de matérias-primas em 2012, 2013, 2014 e 2015, e utilizaram-se os consumos dos três primeiros anos para a criação dos modelos, que foram de seguida aplicados na previsão dos consumos de 2015. Na prática, a precisão com que um modelo de previsão se ajusta a dados históricos não garante bons resultados de previsão de dados futuros. Ao efetuar-se uma análise *ex-post* é possível aferir qual o real nível de precisão que se pode esperar do método quando aplicado num contexto prático.

Foi, ainda, ponderado o nível segundo o qual seria feita a agregação dos consumos. O facto de os responsáveis da empresa alertarem para a não garantia de integridade dos registos a um nível diário, bem como o facto de a ferramenta que se vai apresentar vir a ser atualizada mensalmente, favoreceram a escolha da agregação mensal dos dados.

Todas as previsões apresentadas de seguida foram efetuadas às matérias-primas das categorias AX, BX, BX e BY. O facto de as matérias-primas C não serem fulcrais para a empresa e de ser barato mantê-las em *stock* não justifica a aplicação de métodos estatisticamente mais complexos; quanto às matérias-primas Z, estando os seus consumos extremamente sujeitos a componentes aleatórias, não se espera que métodos estatisticamente complexos confirmem melhorias em relação a métodos mais simples (Makridakis et al. 1982). Assim, definiu-se à partida que os consumos destas seriam previstos recorrendo a médias móveis.

As medidas de precisão utilizadas foram o MAPE e o MSE, e foram agrupadas por categorias, calculando-se as médias das medidas de erros das matérias-primas das categorias respetivas. O objetivo foi saber se seria vantajoso alocar métodos diferentes a categorias diferentes. Pretendia-se aferir, por exemplo, se a irregularidade das matérias-primas Y seria devida à existência de tendências e se métodos capazes de as detetarem, como o alisamento exponencial de Holt, seriam mais adequados.

4.4.2 Resultados da aplicação dos métodos

Numa fase inicial do projeto, os métodos foram aplicados aos consumos reais. No entanto, cedo se percebeu que os dados aparentavam estar sujeitos a fatores sazonais, uma vez que picos e quebras de consumo pareciam surgir sempre nos mesmos meses do ano, como se pode verificar na Figura 9.

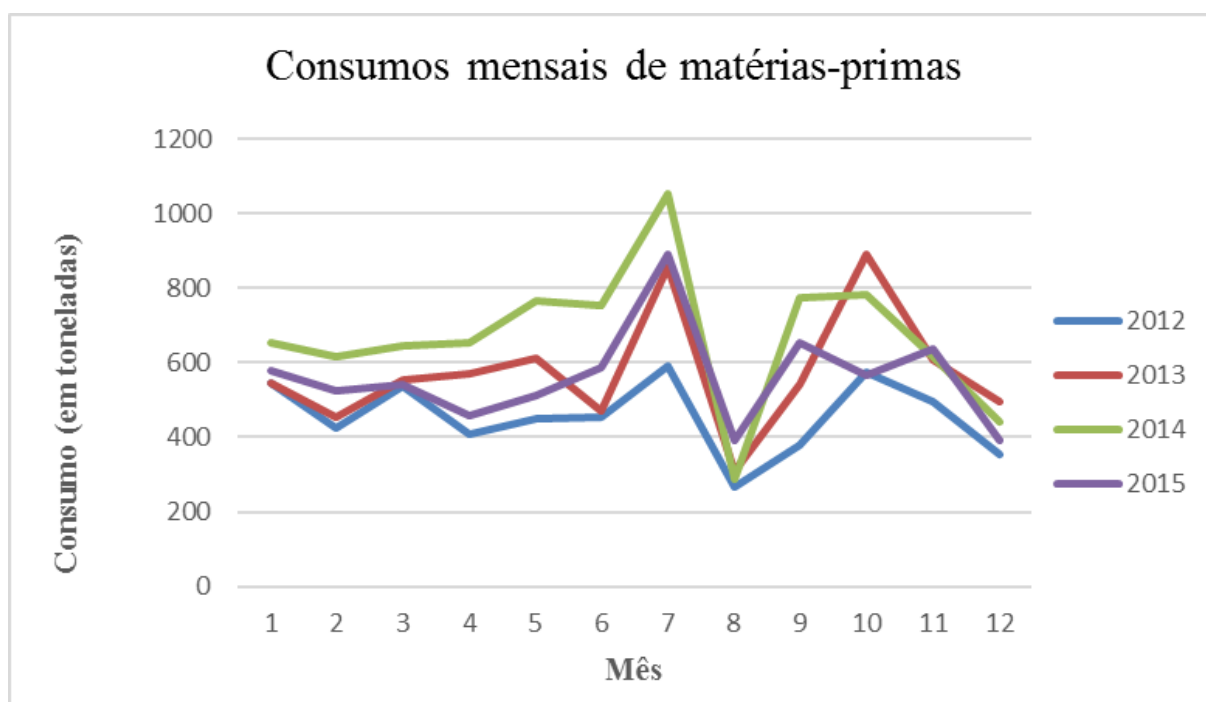


Figura 9 – Consumos mensais de matérias-primas geridas pela Megadur nos últimos 4 anos.

De maneira a confirmar estas suspeições, efetuou-se um teste de autocorrelação, que veio confirmar que, de facto, os dados apresentavam sazonalidade a um nível estatisticamente significativo. Este teste pode ser observado no Anexo C.

Foram, então, testadas duas abordagens para lidar com esta sazonalidade. A primeira consistiu em utilizar métodos de decomposição clássica para calcular índices de sazonalidade para cada período, remover a componente sazonal dos dados, efetuar as previsões e voltar a incluir a sazonalidade nas previsões criadas, como descrito em Makridakis et al. (1982).

Apesar de esta abordagem (decompor os dados para remover a sazonalidade) melhorar a precisão dos métodos quando comparada com a simples aplicação dos métodos aos consumos mensais, foi identificado o motivo que levava à sua ocorrência. Esta sazonalidade detetada devia-se ao facto de o número de dias que a fábrica operava não ser constante a nível mensal. Este fator era particularmente relevante nos meses de agosto e dezembro, em que a fábrica fechava completamente alguns dias devido às férias dos trabalhadores, ou nos meses de julho, em que a empresa contratava horas extra aos sábados para precaver o facto de em agosto a sua produção ser mais reduzida.

Foi, então, testada uma segunda abordagem, que pressupôs que os dados deveriam ser ajustados para ter em consideração o número de dias trabalhados em cada mês. O número de dias trabalhado foi determinado identificando o número de dias úteis e o número de dias extra contratados pela empresa em cada mês. Quanto ao ajuste dos dados, foi feito recorrendo-se ao método de *trading days* apresentado por Makridakis, Wheelwright, e Hyndman (1998) e Caiado (2011), através da expressão (4.1). A evolução dos dados mensais ajustados pode ser conferida na Figura 10.

$$W_t = Y_t * \frac{\overline{ndu}}{ndu_t}, \quad (4.1)$$

onde:

W_t , consumo mensal no mês t , ajustado para o número de dias trabalhados nesse mês;
 Y_t , consumo mensal no mês t ;
 $\overline{ndu}$, média de número de dias trabalhados por mês; e
 ndu_t , número de dias trabalhados no mês t .

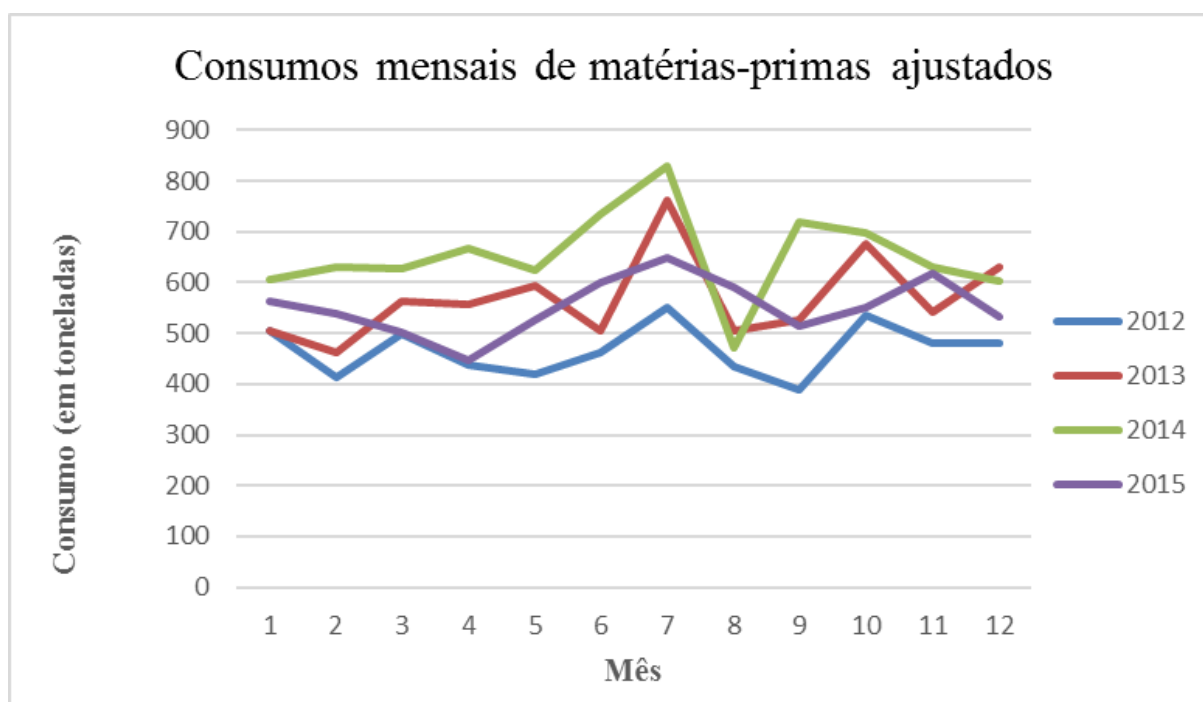


Figura 10 – Consumos mensais de matérias-primas geridas pela Megadur ajustados dos últimos 4 anos.

Um novo teste de autocorrelação foi efetuado aos dados mensais ajustados pelo número de dias, sendo que, desta vez, se concluiu que os dados não apresentavam sazonalidade.

Uma vez que estes dados ajustados não apresentavam sazonalidade, os métodos que lhes foram aplicados foram as médias móveis dos últimos 3 e 5 meses, o amortecimento exponencial simples e o amortecimento exponencial linear de Holt. As precisões dos métodos, quando aplicados por categorias, bem como a precisão global podem ser observados na Tabela 11 e na Tabela 12, respetivamente.

Tabela 11 – Precisão dos métodos de previsão por categoria ABC-XYZ, recorrendo-se ao MAPE.

	AX	AY	BX	BY
Média móvel 3 meses	27,0%	57,8%	24,2%	70,0%
Média móvel 5 meses	26,0%	54,6%	23,2%	68,8%
Amortecimento exponencial simples	27,8%	59,1%	25,2%	66,6%
Amortecimento exponencial de Holt	25,6%	59,4%	24,9%	70,0%

Tabela 12 – Precisão global dos métodos previsão, recorrendo-se ao MAPE.

Média móvel 3 meses	46,5%
Média móvel 5 meses	44,9%
Amortecimento exponencial simples	46,3%
Amortecimento exponencial de Holt	46,8%

Algumas conclusões podem ser retiradas da leitura destas tabelas. Em primeiro lugar, e como seria de esperar, os métodos são bastante mais precisos quando aplicados às categorias AX e BX, que incluem as matérias-primas com consumos mais regulares.

É, ainda, possível concluir que não há um método que se revele mais preciso do que os restantes em todas as categorias. Mesmo analisando cada categoria separadamente, os métodos revelam níveis de precisão bastante semelhantes.

Uma vez que se pressupõe a aplicação prática dos métodos de previsão numa ferramenta, decidiu-se que se iria implementar a média móvel de cinco meses. Para além de, em aplicações práticas, métodos de previsão mais simples deverem ser preferidos a métodos mais complexos quando os ganhos a nível de precisão não são evidentes (Axsäter 2007), a média móvel de cinco meses revela-se ligeiramente mais precisa do que os restantes métodos quando aplicada a todas as matérias-primas.

4.5 Sistema de gestão de *stocks*

Tendo em vista a definição de novas políticas de gestão das matérias-primas, foram apresentados à empresa os diferentes modelos de revisão contínua e periódica que poderiam vir a ser implementados. Uma vez que se pretende que os *stocks* sejam controlados pelo menos uma vez por dia, definiu-se que se utilizaria um sistema de revisão periódico, com revisão diária. O facto de se escolher este modelo permite que os *stocks* sejam controlados mais rigorosamente do que com um período de revisão alargado, e o que os níveis de *stock* sejam inferiores.

Uma vez que se considerou nula a variabilidade dos *lead times* dos fornecedores, a definição dos *stocks* de segurança vai depender de 3 variáveis: o *lead time* da matéria-prima, o nível de serviço pretendido e o desvio padrão dos erros de previsão. Uma vez que o desvio padrão dos erros de previsão está calculado com base em previsões mensais, enquanto os *lead times* são em dias, os *stocks* de segurança foram calculados recorrendo à expressão (4.2), apresentada em King (2011).

$$\text{Stock de segurança} = z * \sqrt{\frac{LT}{n^{\circ} \text{ de dias médio trabalhado num mês}}} * \sigma, \quad (4.2)$$

onde:

z, z-score associado ao nível de serviço;
 LT, *lead time* da matéria-prima; e
 σ , desvio padrão dos erros de previsão.

No que diz respeito à quantidade a encomendar, considerou-se recorrer à EOQ. No entanto, a EOQ pressupõe a existência de um custo fixo de colocação de encomenda, algo que não

acontece. Na maior parte das situações é até o próprio fornecedor que acarreta com os custos associados ao transporte. O que impede a empresa de colocar encomendas de pequenas quantidades com elevada frequência (medida que minimizaria os *stocks* médios) é o facto de os fornecedores imporem quantidades mínimas de encomenda.

Por este motivo, decidiu-se que as quantidades a encomendar iriam ser definidas individualmente para cada matéria-prima em conjunto com os responsáveis da empresa. Isto permite que sejam carregadas na ferramenta quantidades de encomenda que possam realmente vir a ser aplicadas na prática. Estas quantidades definidas irão ainda ser utilizadas para aferir os impactos que se podem esperar com as novas medidas no que diz respeito ao nível de *stocks* médios.

5 Overview da ferramenta

As análises efetuadas em capítulos anteriores foram conduzidas tendo em vista a sua aplicação prática. O objetivo do projeto passa não só pela identificação dos problemas existentes atualmente, mas também pela proposta de soluções que tragam vantagens significativas e que possam vir a ser implementadas na prática.

O resultado final esperado para a empresa é disponibilizar ao responsável pela gestão de matérias-primas um apoio que lhe permita ter uma noção real das disponibilidades e das necessidades no que diz respeito às matérias-primas. Este apoio, que será apresentado na forma de uma ferramenta, pretende diminuir o número de tarefas manuais e rotineiras no processo de monitorização de *stocks* de matérias-primas.

Para além disso, pretende-se a introdução de métodos matemáticos relacionados com a gestão de *stocks* que não são, atualmente, utilizados pela empresa ao nível das matérias-primas, como o ponto de encomenda, *stocks* de segurança e níveis de serviço, que deverão permitir ao responsável uma tomada de decisão mais fundamentada no que diz respeito à gestão destas.

5.1 Pressupostos adotados

Atualmente, o cálculo do ponto de encomenda com base em previsões de consumo é um indicador ainda bastante utilizado na prática. Este indicador é particularmente útil na gestão de produtos acabados, uma vez que, para estes, as previsões são o único indicador disponível sobre o que será necessário produzir (Jonsson e Mattsson 2008).

No entanto, uma vez que neste projeto se está a tentar melhorar os processos referentes à gestão de matérias-primas, os métodos de previsão não são a única fonte de informação que se pode utilizar. A existência de um plano de produção dos produtos acabados permite obter informações concretas sobre quando estes serão produzidos, o que, por sua vez, permitirá retirar informações relativas aos consumos de matérias-primas.

Uma das alterações que se espera que venha a ser implementada e que é fundamental para o funcionamento da ferramenta como aqui descrita é a melhoria de comunicação entre o SFC e o ASW, de modo a haver uma atualização das datas reais de produção no ASW. Assim que esta comunicação esteja criada, a gestão dos *stocks* será melhorada substancialmente, uma vez que será possível ter acesso a informações reais sobre as quantidades de matérias-primas que irão ser consumidas durante o período para o qual está feito o sequenciamento de fabrico.

Este facto possibilita que se recorra ao sequenciamento de fabrico para se saber exatamente quando e em que quantidades serão consumidas as matérias-primas num período de dez dias úteis (horizonte temporal para o qual a empresa faz o sequenciamento de fabrico dos produtos acabados). A necessidade de se recorrer a métodos de previsão nasce da falta de informação do que acontecerá relativamente a consumos de matérias-primas fora do período de

sequenciamento da produção, pois a grande maioria dos *lead times* de matérias-primas é superior a este período de dez dias úteis.

Aquando da criação da ferramenta, foram consideradas duas possibilidades. A primeira seria a criação de uma ferramenta completamente integrada com o ASW. Esta seria capaz de efetuar todos os cálculos necessários ao seu funcionamento, como previsões e *stocks* de segurança, sendo ainda capaz de aceder a toda a informação referente a saldos e consumos pendentes de matérias-primas diretamente do ASW. A segunda opção consistiria na separação das tarefas: o cálculo dos parâmetros seria feito numa folha de cálculo em Excel, cabendo à ferramenta a leitura dos dados produzidos pela folha e dos dados do ASW.

Apesar de a primeira alternativa permitir uma maior automatização, decidiu-se que a segunda alternativa seria mais exequível.

5.2 Folha de cálculo em Excel

Definiu-se que a folha de cálculo deve ser atualizada mensalmente, no início de cada mês, de modo a atualizar os cálculos já com os dados dos consumos de matérias-primas do mês anterior.

Esta folha de cálculo foi estruturada de uma forma que tivesse em conta como os dados estavam estruturados no ASW e que permitisse reduzir ao máximo o número de tarefas manuais por parte do utilizador. Os dados que necessitam de ser introduzidos pelo utilizador são os consumos de matérias-primas no mês anterior e o número de dias trabalhados nesse mês (assumindo que meses anteriores já estão carregados na folha). O modo como estas tabelas estão estruturadas pode ser observado na Figura 11 e na Figura 12, respetivamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	MP	201512	201511	201510	201509	201508	201507	201506	201505	201504
2	MP 2	20304,74	49669,03	55362,32	63590,99	20572,16	57773,17	35550,04	34442,88	42986,35
3	MP 43	0	4053	7253	198	3560	3431	300	2621,5	1995,5
4	MP 18	0	2312,473	150	137,476	2382,605	3045,045	300	900	850
5	MP 18	12525	15690	2100	3306	15230	18555	9777,999	120	8900
6	MP 58	0	168	0	115,5	0	63	0	0	19,2
7	MP 14	7791,366	10657,66	11519,95	12852,26	8831,944	15842,72	9770,39	8130,758	6920,552
8	MP 32	1020,602	1973,53	1514,355	2395,867	571,35	1434,134	1130,224	962,757	375,401
9	MP 17	1053,3	701,893	1218,981	1118,1	349,3	2377,907	3672,017	4285,693	3612,663

Figura 11 – Tabela a ser atualizada com os consumos de cada mês.

	A	B
1	Período ▾	Dias trabalhados ▾
2	201501	21
3	201502	20
4	201503	22
5	201504	21
6	201505	20
7	201506	20
8	201507	28
9	201508	14
10	201509	26
11	201510	21
12	201511	21
13	201512	15

Figura 12 – Tabela a ser atualizada com o número de dias trabalhados em cada mês (aaaamm).

Os consumos de matérias-primas num dado mês deverão ser extraídos do ASW para *Excel* através de um *query*, sendo então ser introduzidos na folha de cálculo.

Para cada uma das matérias-primas, a folha de cálculo determina as previsões para o mês em causa e os respetivos *stocks* de segurança. Os dados mensais são ajustados tendo em conta o número de dias em cada mês e as previsões são criadas efetuando a média móvel de cinco meses aos dados ajustados. De modo a facilitar a leitura dos dados por parte da ferramenta, as previsões serão enviadas para a ferramenta como sendo a previsão média diária do mês em questão.

Uma vez que as previsões têm sempre um erro associado, é necessária a definição de *stocks* de segurança. Considerou-se, ainda, a criação de um *stock* de segurança relacionado com o sequenciamento de fabrico, pretendendo precaver impactos nocivos que alterações a esta possam ter ao nível da gestão de matérias-primas. A inclusão no sequenciamento de fabrico de produtos urgentes, para um prazo de 2/3 dias úteis, poderia levar a aumentos de consumo durante o *lead time* das matérias-primas superiores ao expectável e provocar ruturas. No entanto, o facto de estas alterações não serem frequentes levaria a que se mantivessem *stocks* mais elevados de todas as matérias-primas, que poderiam vir a ser mantidos por longos períodos de tempo, pelo que esta ideia foi descartada. Para além disso, a aceitação de encomendas urgentes deve ser feita apenas após o responsável pelo planeamento garantir que as quantidades de matérias-primas existentes são suficientes e não irão comprometer a produção planeada.

Assim, decidiu-se que apenas seriam definidos *stocks* de segurança para as matérias-primas cujos consumos viessem a estar sujeitos a previsões, ou seja, aquelas cujo *lead time* excedesse os dez dias. O *stock* de segurança de cada uma delas será, então, calculado tendo em conta o seu nível de serviço, o desvio padrão dos erros de previsão e o número de dias que o seu *lead time* excede o período de dez dias. Os níveis de serviço foram definidos em conjunto com os responsáveis da empresa para cada uma das categorias ABC-XYZ, ao identificar as matérias-primas inseridas em cada uma das categorias e definindo-se a importância real de cada grupo. Os valores definidos podem ser consultados na Figura 13.

Categoria ▾	Nível de Serviço ▾
AX	95%
AY	90%
AZ	90%
BX	90%
BY	80%
BZ	80%
CX	75%
CY	50%
CZ	50%

Figura 13 – Nível de serviço por categoria ABC-XYZ.

A folha de cálculo determinará, então, para cada matéria-prima, a previsão média diária para o mês atual e o *stock* de segurança a manter. Definiu-se, ainda, que os parâmetros *lead time* e quantidade a encomendar serão enviados juntamente com estes cálculos. Regra geral, apenas um contratipo de cada matéria-prima está ativo; isto é, as encomendas apenas são colocadas para um contratipo enquanto os restantes ficam inativos. No entanto, por indicação do departamento de compras, o contratipo ativo pode ser alterado e pode ser necessário considerar um fornecedor diferente, com *lead time* diferente, pelo que se pretende que haja uma maior flexibilidade na alteração do *lead time* do que a que seria possível caso fossem lidos diretamente a partir do ASW. Quanto às quantidades a encomendar, servirão apenas como guia dos valores normalmente encomendados para cada matéria-prima.

O resultado final desta fase pode ser observado na Figura 14. É esta a lista que deve ser, no início de cada mês, enviada para o departamento informático, que se encarregará de a carregar no sistema de modo a ser interpretada pela ferramenta.

	A	B	C	D	E
1	MP ▾	LT ▾	Previsão média diária ▾	Stock de Segurança ▾	Quantidade de Encomenda ▾
2	MP 2	30	2 064,96	23 931,17	15 000,00
3	MP 26	27	161,94	1 206,30	10 000,00
4	MP 43	16	59,81	-	3 000,00
5	MP 18	15	587,49	3 633,42	15 000,00
6	MP 58	15	2,49	-	700,00
7	MP 14	15	544,81	947,86	7 500,00
8	MP 32	15	73,72	245,16	2 000,00
9	MP 17	15	46,11	452,29	2 000,00
10	MP 35	22	4,40	-	1 000,00

Figura 14 – Lista de valores a ser carregada na ferramenta.

5.3 Ferramenta

Contrariamente à folha de cálculo, que apenas necessita de ser utilizada uma vez por mês, a ferramenta será utilizada todos os dias, devendo atualizar os seus valores sempre que é acedida. Esta atualização em tempo real é necessária, visto que para uma boa gestão das matérias-primas será necessário aceder-se a dados como existências num dado momento ou os consumos planeados para os dias seguintes.

A ferramenta terá que ser capaz de interpretar os parâmetros determinados na folha de cálculo e de aceder a dados disponíveis no ASW, como existências, consumos em ordens de fabrico já inseridas no sequenciamento de fabrico e encomendas a fornecedores pendentes.

A decisão de aprovisionamento deve assentar em três indicadores chave: o ponto de encomenda, o índice de cobertura 1 e o índice de cobertura 2. O ponto de encomenda é determinado tendo em conta o *stock* de segurança necessário e a procura prevista durante o *lead time* da matéria-prima. O *stock* de segurança é determinado em *Excel*, enquanto a procura durante o *lead time* pressupõe que a ferramenta tenha acesso ao sequenciamento de fabrico, o que permite que apenas seja necessário recorrer a previsões de consumo para o número de dias do *lead time* não abrangidos pelo sequenciamento de fabrico.

Com a criação dos índices de cobertura 1 e 2 pretende-se oferecer ao utilizador informações complementares à do ponto de encomenda. O índice de cobertura 1 traduz o número de dias que se espera que as quantidades existentes de uma determinada matéria-prima num dado momento demorarão a ser esgotadas, sendo útil para se identificarem possíveis ruturas e aferir a exequibilidade do planeamento de fabrico. Por sua vez, o índice de cobertura 2 traduz o número de dias que se prevê que passarão até ser necessário colocar-se uma nova encomenda ao fornecedor.

Um modo mais detalhado do funcionamento da ferramenta, de como os parâmetros deverão ser calculados e de como esta deve ser utilizada pelo planeador pode ser consultado no Anexo D.

5.4 Impactos esperados

Tendo definido o modo de funcionamento da ferramenta e as novas políticas de aprovisionamento, é possível fazer um estudo do impacto que as novas medidas teriam na empresa.

A definição de quantidades a encomendar e de *stocks* de segurança permitem-nos ter uma estimativa dos níveis de *stocks* que podemos esperar no futuro. Esta estimativa é feita recorrendo à expressão (5.1) (Orlicky e Plossl 1994).

$$\bar{I} = \frac{Q}{2} + SS, \quad (5.1)$$

onde:

$\bar{I}$, nível médio de *stocks*;
 Q , quantidade de encomenda; e
 SS , *stock* de segurança.

Os resultados obtidos no que concerne às quantidades e valores médios de *stocks* esperados podem ser consultados na Tabela 13. É ainda feita uma comparação com os valores de 2015, de modo a traduzir o impacto das novas medidas. Não foram incluídas nesta análise as duas matérias-primas com cobertura de *stocks* superior a 300 dias, por se considerarem *outliers*, o que iria indicar diminuições de *stocks* anormalmente elevadas nas categorias onde estão inseridas.

Tabela 13 – Impactos esperados das novas políticas de aprovisionamento.

	Estado inicial		Novas medidas		Impacto	
	Quantidade média em stock (kg)	Valor médio em stock (€)	Quantidade média em stock (kg)	Valor médio em stock (€)	Variação em quantidade (%)	Variação em valor (%)
AX	197 666,52	243 142,98	123 675,35	175 917,81	-37%	-28%
AY	131 358,96	279 508,00	115 411,37	244 554,89	-12%	-13%
AZ	47 439,48	102 132,05	60 293,66	129 792,81	27%	27%
BX	31 136,77	141 984,37	20 013,96	100 135,62	-36%	-29%
BY	65 723,26	118 749,44	40 569,24	72 027,33	-38%	-39%
BZ	58 930,58	105 574,95	48 108,18	82 462,48	-18%	-22%
CX	2 295,09	9 982,45	1 032,42	4 612,65	-55%	-54%
CY	12 716,86	51 976,86	6 600,00	32 653,30	-48%	-37%
CZ	94 669,81	251 301,74	46 025,00	100 470,02	-51%	-60%
Total	641 937,34	1 304 352,85	461 729,18	942 626,91	-28%	-28%

Os resultados indicam que o novo modelo levará a uma diminuição dos *stocks* de matérias-primas tanto em quantidade como em valor para todas as categorias, com exceção da categoria AZ. Tendo em conta os impactos globais, espera-se uma redução de 28% tanto ao nível médio das quantidades armazenadas, como ao nível do montante investido em *stocks*, com uma redução na ordem dos €360 000.

Ainda assim, os resultados reais que se irão obter dependerão de fatores cujo impacto real é difícil de prever, e que tanto poderão implicar uma menor ou maior redução dos níveis médios de *stocks* do que a apresentada.

Um desses aspetos é o facto de a abordagem ignorar a possibilidade de a sede e a Megadur efetuarem transferências de emergência. O impacto que este tipo de transferências teve nos níveis de *stocks* e no número de ruturas iniciais é difícil de determinar, no entanto, é de esperar que, na prática, a existência deste tipo de transferências possibilite alcançar um nível de serviço real superior ao definido. Caso se esteja na iminência de uma rutura, a possibilidade de se encomendar à sede fará com que esta seja colmatada mais rapidamente, sendo as quantidades devolvidas quando a encomenda ao fornecedor for recebida.

Outro aspeto importante de realçar é o facto de serem igualmente difíceis de quantificar as vantagens que o acesso ao sequenciamento de fabrico terá no nível de *stocks* médios. A verdade é que, quando comparado com o ponto de encomenda baseado em previsões, o acesso ao sequenciamento de fabrico vai evitar as situações em que são colocadas encomendas a fornecedores prematuramente, levando a que excesso de *stocks* sejam mantidos por longos períodos de tempo (Orlicky e Plossl 1994).

Por outro lado, ainda segundo Orlicky e Plossl (1994), os valores obtidos pela equação (5.1) têm tendência a subestimar os níveis médios de *stock* que realmente se obterão na prática. Esta fórmula pressupõe que os consumos serão contínuos, o que, caso não se verifique, poderá levar a que o nível médio de *stock* real seja superior ao implícito por essa fórmula.

Ainda assim, os valores apresentados indicam uma redução significativa nos níveis de *stocks*, e todos estes fatores considerados, é de esperar que o novo modelo de aprovisionamento traga melhorias significativas.

6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Ao longo da dissertação, foram explicados todos os passos seguidos e as suas justificações, culminando com a definição de uma ferramenta capaz de interpretar os dados relativos à situação de cada matéria-prima e apresentar indicadores úteis e atualizados que sirvam de suporte no processo de decisão.

Os resultados obtidos no decorrer do projeto apontam no sentido de que é de facto possível melhorar a situação da empresa no que diz respeito à gestão de matérias-primas, tendo sido apresentado um novo modelo de aprovisionamento capaz de diminuir o nível de *stocks* sem comprometer as necessidades de produção.

No entanto, o facto de a criação da ferramenta englobar o esforço de várias partes em simultâneo impossibilitou que tivesse sido criada à data de conclusão deste projeto. Para além da criação da ferramenta em si, que seria da responsabilidade do departamento informático da empresa, seria necessária a colaboração entre este departamento e a empresa criadora do SFC. Apesar de estes contactos terem sido estabelecidos no decorrer do projeto e de se ter iniciado o processo de melhoria de comunicação entre os sistemas ASW e SFC, a complexidade envolvida nestas tarefas fez com que a implementação da ferramenta tivesse que ser adiada. Ainda assim, todos os procedimentos descritos no que diz respeito à ferramenta foram debatidos com os responsáveis da empresa e com o departamento informático, de modo a garantir que as instruções como são descritas nesta dissertação levam em consideração as restrições e características técnicas de todos os sistemas informáticos envolvidos e que possibilite a sua futura implementação.

No entanto, mesmo que a ferramenta tivesse sido implementada dentro do prazo do projeto, qualquer impacto seria difícil de avaliar num tão curto período de tempo. Um prazo mais alargado será necessário de modo a que a empresa consiga testar a ferramenta em profundidade e garantir que os parâmetros estão enquadrados com a sua realidade. Nomeadamente, será necessário aferir se os *stocks* de segurança definidos produzem resultados satisfatórios na prática, cabendo à empresa ajustar os valores caso ache necessário.

Como continuação do trabalho aqui apresentado, surge a implementação da ferramenta. Será esta que permitirá a alteração dos processos de aprovisionamento atuais seguidos pela empresa, e servirá como suporte para o responsável pelo aprovisionamento. Esta trará vantagens a diversos níveis. Do ponto de vista da gestão, espera-se uma redução das quantidades e dos valores médios em *stock*. Do ponto de vista do responsável pelo aprovisionamento, serão eliminadas uma série de etapas até agora manuais, permitindo-lhe dedicar mais tempo a tarefas mais produtivas.

Para além da ferramenta, há ainda outros aspetos que se espera que venham a trazer frutos à empresa, quanto mais não seja através de uma melhor identificação da sua situação. Neste projeto foram introduzidos conceitos e métodos matemáticos que não eram utilizados ao nível das matérias-primas, como a segmentação de acordo com a sua importância e padrões de

consumo, métodos de previsão de consumos e o nível de serviço adequado para as matérias-primas de cada categoria. O nível médio de *stocks* e o número de ruturas por matéria-prima são ainda dois outros indicadores cuja adoção poderá levar a empresa a uma melhor identificação do seu estado e criação de possíveis medidas de melhoria no futuro.

Uma vez que os desafios apresentados são comuns a todas as empresas do grupo e que as soluções propostas são aplicáveis a todas elas, é ainda de esperar que uma implementação bem-sucedida na Megadur leve a uma implementação das novas medidas e da ferramenta nas restantes fábricas do grupo.

Referências

- Almada-Lobo, B. 2014. *Exponential Smoothing*.
- Axsäter, S. 2007. *Inventory Control*. Springer US.
- Caiado, J. 2011. *Métodos de previsão em gestão com aplicações em Excel*. SILABO.
- Chambers, J. C., S. Mullick e D. D. Smith. 1971. "How to choose the right forecasting technique". *Harvard Business Review*.
- Flores, Benito E., David L. Olson e V. K. Dorai. 1992. "Management of multicriteria inventory classification". *Mathematical and Computer Modelling* no. 16 (12):71-82.
- Flores, Benito E. e D. Clay Whybark. 1986. "Multiple Criteria ABC Analysis". *International Journal of Operations & Production Management* no. 6 (3):38-46.
- Gardner, Everette S. 1985. "Exponential smoothing: The state of the art". *Journal of Forecasting* no. 4 (1):1-28.
- Gonçalves, José Fernando. 2010. *Gestão de aprovisionamentos*. 2ª ed. Porto.
- Jacobs, F.R., R.B. Chase e R.R. Lummus. 2011. *Operations and Supply Chain Management*. McGraw-Hill Irwin.
- Jonsson, P. e S. A. Mattsson. 2008. "Inventory management practices and their implications on perceived planning performance". *International Journal of Production Research* no. 46 (7):1787-1812.
- King, P. L. 2011. "Crack the Code - Determine optimal safety stock levels using fundamental equations". *APICS - the performance advantage* ((8)):32-38.
- Makridakis, S.G., S.C. Wheelwright e Rob J. Hyndman. 1998. *Forecasting: methods and applications*. Wiley.
- Makridakis, Spyros, A. Andersen, Robert Carbone, Robert Fildes, Michele Hibon, Rudolf Lewandowski, Joseph Newton, Emanuel Parzen e Robert Winkler. 1982. "The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition". *Journal of forecasting* no. 1 (2):111-153.
- Makridakis, Spyros e Michèle Hibon. 1991. "Exponential smoothing: The effect of initial values and loss functions on post-sample forecasting accuracy". *International Journal of Forecasting* no. 7 (3):317-330.
- Orlicky, J. e George W. Plossl. 1994. *Orlicky's material requirements planning*. McGraw-Hill.
- Ramanathan, Ramakrishnan. 2006. "ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization". *Computers & Operations Research* no. 33 (3):695-700.
- Sipper, D. e R.L. Bulfin. 1997. *Production: Planning, Control, and Integration*. McGraw-Hill.
- Waters, C.D.J. 2003. *Inventory Control and Management*. Wiley.
- Wheelwright, S.C. e S.G. Makridakis. 1989. *Forecasting methods for management*. Wiley.
- Zhou, Peng e Liwei Fan. 2007. "A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization". *European Journal of Operational Research* no. 182 (3):1488-1491.
- Zinn, Walter e Howard Marmorstein. 1990. "Comparing two alternative methods of determining safety stock levels: The demand and the forecast systems". *Journal of Business Logistics* no. 11 (1):95-110.

ANEXO A: Análise ABC multicritério

Tabela 14 – Análise ABC multicritério completa.

Matéria-prima	Valores reais			Valores transformados			Utilidade	Categoria
	Custo Anual de Consumo (€)	Lead Time (dias úteis)	Consumo (kg)	Custo Anual de Consumo (€)	Lead Time (dias úteis)	Consumo (kg)		
MP 1	1 397 141,55	15	664 735,73	1,00	0,44	0,68	0,78	A
MP 2	1 208 225,61	30	519 131,05	0,86	1,00	0,53	0,74	A
MP 3	1 057 247,45	22	491 743,00	0,76	0,70	0,50	0,64	A
MP 4	343 104,08	22	980 297,37	0,24	0,70	1,00	0,63	A
MP 5	989 083,86	15	515 147,84	0,71	0,44	0,53	0,59	A
MP 6	919 724,04	22	427 778,63	0,66	0,70	0,44	0,57	A
MP 7	830 461,99	15	384 473,14	0,59	0,44	0,39	0,49	A
MP 8	520 826,98	22	277 035,63	0,37	0,70	0,28	0,38	A
MP 9	159 789,08	22	319 580,05	0,11	0,70	0,33	0,29	A
MP 10	400 135,51	15	173 685,00	0,28	0,44	0,18	0,26	A
MP 11	378 371,44	15	171 208,80	0,27	0,44	0,17	0,25	A
MP 12	340 590,50	15	149 381,80	0,24	0,44	0,15	0,23	A
MP 13	298 496,11	22	138 189,44	0,21	0,70	0,14	0,25	A
MP 14	350 165,97	15	115 663,67	0,25	0,44	0,12	0,22	B
MP 15	128 256,30	22	217 383,56	0,09	0,70	0,22	0,23	B
MP 16	209 631,13	22	117 112,36	0,15	0,70	0,12	0,21	B
MP 17	324 814,07	15	32 644,63	0,23	0,44	0,03	0,18	B
MP 18	204 548,54	15	104 894,00	0,14	0,44	0,11	0,17	B
MP 19	237 537,90	15	60 907,15	0,17	0,44	0,06	0,16	B
MP 20	184 932,82	30	14 844,15	0,13	1,00	0,01	0,20	B
MP 21	134 368,45	22	33 177,40	0,09	0,70	0,03	0,15	B
MP 22	98 188,26	22	44 986,83	0,07	0,70	0,05	0,15	B
MP 23	97 224,64	22	45 186,09	0,07	0,70	0,05	0,15	B
MP 24	120 369,34	15	50 153,89	0,08	0,44	0,05	0,12	B
MP 25	138 169,32	10	61 408,59	0,10	0,26	0,06	0,10	B
MP 26	61 695,79	27	27 534,00	0,04	0,89	0,03	0,16	B
MP 27	98 922,90	22	26 065,77	0,07	0,70	0,03	0,14	B
MP 28	112 159,54	15	47 761,00	0,08	0,44	0,05	0,12	B
MP 29	20 862,17	5	160 478,23	0,01	0,07	0,16	0,09	B
MP 30	118 690,35	15	36 746,24	0,08	0,44	0,04	0,11	B
MP 31	138 347,43	15	19 349,29	0,10	0,44	0,02	0,11	B
MP 32	122 818,86	15	14 449,28	0,08	0,44	0,01	0,11	B
MP 33	101 280,00	10	42 200,00	0,07	0,26	0,04	0,08	C
MP 34	73 780,58	15	34 460,00	0,05	0,44	0,03	0,10	C
MP 35	63 944,24	22	6 626,35	0,04	0,70	0,01	0,12	C
MP 36	96 509,84	15	10 967,03	0,07	0,44	0,01	0,10	C
MP 37	68 653,75	15	29 610,00	0,05	0,44	0,03	0,10	C
MP 38	18 029,50	22	25 756,43	0,01	0,70	0,03	0,12	C
MP 39	25 702,30	22	4 431,43	0,01	0,70	0,00	0,11	C

Definição do modelo de aprovisionamento de matérias-primas

MP 40	18 270,43	22	7 130,76	0,01	0,70	0,01	0,11	C
MP 41	14 243,56	22	5 984,69	0,01	0,70	0,01	0,11	C
MP 42	17 032,90	22	2 333,27	0,01	0,70	0,00	0,10	C
MP 43	42 195,42	16	13 880,07	0,03	0,48	0,01	0,09	C
MP 44	10 108,08	22	3 425,37	0,00	0,70	0,00	0,10	C
MP 45	37 771,35	15	10 590,00	0,02	0,44	0,01	0,08	C
MP 46	31 797,84	15	13 765,00	0,02	0,44	0,01	0,08	C
MP 47	32 993,15	15	11 825,50	0,02	0,44	0,01	0,08	C
MP 48	29 824,83	15	11 315,50	0,02	0,44	0,01	0,08	C
MP 49	20 082,48	15	10 290,00	0,01	0,44	0,01	0,07	C
MP 50	23 771,76	15	5 942,94	0,01	0,44	0,01	0,07	C
MP 51	16 618,39	15	7 904,86	0,01	0,44	0,01	0,07	C
MP 52	14 011,65	15	6 575,00	0,01	0,44	0,01	0,07	C
MP 53	10 374,00	15	4 940,00	0,00	0,44	0,00	0,07	C
MP 54	8 764,35	15	2 625,00	0,00	0,44	0,00	0,07	C
MP 55	7 904,00	15	3 087,50	0,00	0,44	0,00	0,07	C
MP 56	9 054,07	15	953,06	0,00	0,44	0,00	0,06	C
MP 57	7 276,58	15	2 135,90	0,00	0,44	0,00	0,06	C
MP 58	5 276,36	15	584,70	-	0,44	-	0,06	C
MP 59	31 834,77	10	5 013,63	0,02	0,26	0,00	0,05	C
MP 60	15 654,26	10	3 963,10	0,01	0,26	0,00	0,04	C
MP 61	37 972,51	3	5 296,03	0,02	0,00	0,00	0,01	C
MP 62	27 072,87	3	5 329,31	0,02	0,00	0,00	0,01	C

ANEXO B: Análise XYZ

Tabela 15 – Análise XYZ completa.

Matéria-prima	Coeficiente de Variação	Categoria
MP 5	0,21	X
MP 20	0,24	X
MP 19	0,25	X
MP 14	0,28	X
MP 21	0,28	X
MP 4	0,29	X
MP 27	0,31	X
MP 2	0,32	X
MP 61	0,35	X
MP 11	0,35	X
MP 41	0,37	X
MP 9	0,37	X
MP 31	0,39	X
MP 16	0,40	Y
MP 10	0,41	Y
MP 29	0,41	Y
MP 60	0,42	Y
MP 62	0,42	Y
MP 24	0,46	Y
MP 32	0,48	Y
MP 6	0,48	Y
MP 36	0,49	Y
MP 1	0,51	Y
MP 12	0,51	Y
MP 8	0,52	Y
MP 59	0,52	Y
MP 25	0,60	Y
MP 56	0,62	Y
MP 34	0,63	Y
MP 30	0,63	Y
MP 28	0,64	Y
MP 7	0,66	Y
MP 17	0,66	Z

MP 18	0,68	Z
MP 46	0,72	Z
MP 3	0,77	Z
MP 15	0,79	Z
MP 38	0,79	Z
MP 23	0,80	Z
MP 33	0,87	Z
MP 39	0,87	Z
MP 13	0,89	Z
MP 42	0,90	Z
MP 26	0,91	Z
MP 22	0,92	Z
MP 47	0,95	Z
MP 43	0,96	Z
MP 50	0,97	Z
MP 53	1,00	Z
MP 48	1,01	Z
MP 57	1,07	Z
MP 49	1,16	Z
MP 55	1,24	Z
MP 45	1,26	Z
MP 58	1,30	Z
MP 37	1,45	Z
MP 54	1,48	Z
MP 52	1,50	Z
MP 44	2,01	Z
MP 35	2,16	Z
MP 40	2,42	Z
MP 51	2,86	Z

ANEXO C: Teste de autocorrelação

Uma vez que se suspeitava que os consumos mensais de matérias-primas na fábrica apresentavam sazonalidade, foi efetuado em *Excel* um teste de autocorrelação a esses dados.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{C.1})$$

O teste de autocorrelação foi efetuado com base em dados de 4 anos, divididos em 48 meses. Como se suspeitava a existência de sazonalidade anual, utilizou-se um *lag* de $k=12$ e obteve-se o valor de 0,50. Os valores críticos para este teste, a um nível de significância de 95% são dados pela fórmula:

$$r_{0,95} = \pm \frac{2}{\sqrt{N}} \quad (\text{C.2})$$

Como $N=48$, os valores críticos são:

$$= \pm 0,29$$

Assim, conclui-se que os dados apresentam sazonalidade a um nível de significância de 95%.

ANEXO D: Instruções para criação e utilização da ferramenta

Criação da ferramenta

Atualização de parâmetros

O processo de utilização da ferramenta começa com o cálculo de determinados parâmetros em *Excel*, que devem ser, mensalmente, atualizados na ferramenta. Esses parâmetros são determinados para cada matéria-prima e são os seguintes:

- Previsão diária para o mês atual;
- *Stock* de segurança;
- *Lead time* a considerar;
- Quantidade a encomendar.

Dados a considerar

A ferramenta, que será integrada com o ASW, deverá ter em conta os seguintes dados:

- Parâmetros provenientes da folha de cálculo em *Excel*;
- Dias que serão trabalhados num mês;
- Existências de matérias-primas em i0 (armazém de matérias-primas) e i1 (fábrica), agrupadas por contratipos;
- Quantidades e datas de encomendas pendentes (agregadas diariamente por data prevista de receção);
- Quantidades e datas de consumos de matérias-primas, tendo em conta o sequenciamento de fabrico (agregadas diariamente por data de consumo);

Funcionamento da Ferramenta

Os cálculos efetuados pela ferramenta irão ser feitos seguindo duas abordagens, uma para as matérias-primas cujo LT é igual ou inferior a 9 dias (período para o qual é feito o sequenciamento -1) e outra para as matérias-primas cujo LT é superior a 9 dias. Os parâmetros que a ferramenta terá que calcular serão:

- Saldo;
- Ponto de Encomenda;
- Índice de Cobertura 1;
- Índice de Cobertura 2.

O cálculo do Saldo e do Ponto de Encomenda será feito de modo diferente consoante o *lead time* da matéria-prima em causa seja inferior ou superior a 9 dias.

Se $LT \leq 9$, não é necessário utilizar previsões, uma vez que se sabe o que se irá produzir e quando:

- A cada momento, calcular o Saldo:

$$Saldo = Existências + Encomendas (LT + 1) - Reservas(LT + 1) \quad (D.1)$$

O Saldo deverá ser calculado tendo em conta as existências no momento em que a ferramenta está a ser acedida, as encomendas a fornecedores pendentes que irão chegar no prazo do seu

lead time e as quantidades que serão consumidas no prazo do seu *lead time*, de acordo com o sequenciamento de fabrico.

Ou seja, caso o *lead time* seja de 1 dia, o saldo deve ser calculado tendo em conta as encomendas e reservas do próprio dia e do dia seguinte.

- O Ponto de Encomenda (PE) é definido genericamente como:

$$PE = Procura prevista durante LT + Stock de Segurança \quad (D.2)$$

No entanto, neste caso não é necessário recorrer a previsões, uma vez que se conseguem identificar os consumos presentes no sequenciamento de fabrico. Visto que as quantidades consumidas durante o *lead time* são conhecidas, não é necessário definir-se *stock* de segurança, e a fórmula do ponto de encomenda fica:

$$PE = Reservas (LT + 1) \quad (D.3)$$

Ou seja, supondo o *lead time* de 1 dia, devem ser tidas em conta as reservas do próprio dia e do dia seguinte.

Se $LT > 9$ apenas se pode utilizar o sequenciamento de fabrico para os primeiros 10 dias, utilizando-se as previsões para os restantes dias não abrangidos pelo sequenciamento de fabrico:

- Calcular o Saldo:

$$\begin{aligned} Saldo = & Existências + Encomendas (LT + 1) - Reservas (Sequenciamento) \\ & - Previsão diária * (LT - 9) \end{aligned} \quad (D.4)$$

- Ponto de Encomenda:

$$\begin{aligned} PE = & Reservas (sequenciamento) + Previsão diária * (LT - 9) + \\ & Stock de segurança \end{aligned} \quad (D.5)$$

O cálculo do índice de cobertura 1 e índice de cobertura 2 é efetuado do mesmo modo quer o *lead time* da matéria-prima seja superior ou inferior a 9 dias.

Para o cálculo do **índice de cobertura** 1, tendo em conta o sequenciamento de fabrico, a ferramenta deve identificar o número de dias até a fórmula seguinte ser igual ou inferior a zero:

$$Existências_{t=1} - \sum_{t=1}^k Reservas_t \quad (D.6)$$

Isto é:

Calcular a fórmula para o dia 1 ($k=1$). Caso o valor seja positivo, calcular a fórmula para o dia 2, tendo em conta as existências no dia 1 e todas as reservas dos dias 1 e 2. Continuar até o valor ser igual ou inferior a zero e identificar o número de dias (k) que tal demora a acontecer; o IC será igual a $k - 1$. Caso se atinja o décimo dia ($k=10$) e o valor continue positivo, devem-se ter em conta as previsões médias diárias a partir do 11º dia e continuar o procedimento.

O **índice de cobertura 2** (IC 2) é calculado de modo semelhante ao IC 1, com a particularidade de ter também em conta encomendas pendentes a fornecedores:

$$Existências_{t=1} - Stock\ de\ segurança - \sum_{t=1}^k (Reservas_t - Encomendas\ recebidas_t) \quad (D.7)$$

A única diferença deste para o IC 1 é o facto de ter em conta o *stock* de segurança que se deve manter e as encomendas pendentes a fornecedores. Note-se que o *stock* de segurança apenas é deduzido às existências uma vez, não dependendo do valor de *k*.

Isto é:

Calcular a fórmula para o dia 1 (*k*=1). Caso o valor seja positivo, calcular a fórmula para o dia 2, tendo em conta todas as reservas e encomendas pendentes dos dias 1 e 2. Continuar até o valor ser igual ou inferior a zero e identificar o número de dias (*k*) que tal demora a acontecer; o IC será igual a *k* - 1. Caso se atinja o décimo dia (*k*=10) e o valor continue positivo, devem-se ter em conta as previsões médias diárias a partir do 11º dia, e continuar o procedimento. Um possível ecrã para a ferramenta pode ser consultado na Tabela 16.

Tabela 16 – Exemplo de um possível ecrã da ferramenta.

MP	IC1	IC2	Existências	Enc Pend LT	Reservas Seq.	Reservas fora do seq.	Previsões	Saldo	P Enc	Stock Seg	LT	Qt
MP 1												
MP 2												
MP 3												

Notas

- A ferramenta deve atualizar os cálculos sempre que é aberta, bem como ter disponível um botão que faça a sua atualização;
- A ferramenta deve estar preparada para a lista de matérias-primas a considerar ser alterada. As matérias-primas a considerar deverão ser aquelas que surgem na lista mensal com os parâmetros atualizados;
- O campo “Enc Pend (LT)” deve mostrar todas as encomendas que irão chegar durante um período de *lead time* + 1 dias (se *lead time*=15 dias, deve mostrar as quantidades que chegam nos 16 dias seguintes). Quando se clicar nas quantidades, a ferramenta deve abrir uma janela *popup* onde se possa ver as datas e quantidades das encomendas pendentes da matéria-prima em causa (incluindo as que serão recebidas fora do período do LT);
- No caso de o *lead time* ser igual ou inferior a 9 dias (período para o qual está feito o sequenciamento - 1) o campo “Reservas Seq.” deve aceder ao sequenciamento de fabrico para identificar as quantidades reservadas durante o *lead time* + 1. Neste caso, o campo previsões deve manter-se vazio.
- No caso de o *lead time* ser superior a 9 dias, significa que será necessário efetuar previsões de consumo. Nestes casos, o campo “Reservas Seq.” deve mostrar todas as

quantidades reservadas num horizonte de 10 dias (a partir do sequenciamento de fabrico). Quanto às previsões, são calculadas pela fórmula:

$$Previsões = Previsão\ diária * (LT - 9) \quad (D.8)$$

em que o valor da previsão diária é calculado em *Excel*;

- O campo Qt diz respeito à quantidade a encomendar, e é um parâmetro fixo, importado do *Excel*;
- O campo “Stock Seg” corresponde ao *stock* de segurança associado aos erros de previsão e é calculado em *Excel*.
- O campo “Reservas fora do Seq.” deve apresentar a soma de todas as quantidades já reservadas no ASW que não estão abrangidas pelos 10 dias de sequenciamento de fabrico. Ou seja, os consumos que irão ocorrer em ordens de fabrico já criadas, mas que ainda não estão sequenciadas.
- A ferramenta deverá ordenar as matérias-primas em função do Índice de Cobertura 2, de modo crescente.

Como utilizar a ferramenta

- Saldo deve ser comparado com o Ponto de Encomenda e, caso seja menor ou igual, uma nova encomenda ao fornecedor deve ser criada.
- O índice de cobertura 1 deverá ser utilizado como um indicador do número de dias que se prevê que a matéria-prima demorará a ser esgotada, não devendo, no entanto, ser utilizado por si só para a colocação de encomendas, uma vez que não tem em conta encomendas pendentes ou *stocks* de segurança. É um indicador mais relacionado com as necessidades da fábrica.
- O índice de cobertura 2 pode e deve ser utilizado no processo de decisão de colocação de encomendas, pois já tem em conta as encomendas que vão ser recebidas e o *stock* de segurança. Este índice indica o número de dias dentro do qual se prevê que seja necessário colocar uma nova encomenda ao fornecedor, e pode ser particularmente útil caso se tente coordenar a encomenda de diferentes matérias-primas de um mesmo fornecedor.