



INSTITUTO  
UNIVERSITÁRIO  
DE LISBOA

---

## **Planeamento de Produção – um estudo de caso**

Bernardo Novais Machado Pessoa Jorge

Mestrado em Gestão de Serviços e da Tecnologia

Orientadores:

Prof. Doutora Ana Lúcia Henriques Martins, Professora Auxiliar

ISCTE Business School

Prof. Doutora Maria João Sacadura Fonseca Calado de Carvalho e Cortinhal, Professora Associada

ISCTE Business School

Novembro, 2020



Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

## **Planeamento de Produção – um estudo de caso**

Bernardo Novais Machado Pessoa Jorge

Mestrado em Gestão de Serviços e da Tecnologia

Orientadores:

Prof. Doutora Ana Lúcia Henriques Martins, Professora Auxiliar  
ISCTE Business School

Prof. Doutora Maria João Sacadura Fonseca Calado de Carvalho e Cortinhal, Professora  
Associada  
ISCTE Business School

Novembro, 2020



# PLANEAMENTO DE PRODUÇÃO – um estudo de caso

Bernardo Novais Machado Pessoa Jorge



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, às minhas tutoras Professora Doutora Ana Lúcia Martins e à Professora Doutora Maria João Cortinhal, que se demonstram incansáveis no apoio que me deram não só com todo o seu conhecimento, ideias e apoio incentivador ao longo de todo este processo.

Em segundo lugar, agradecer ao Diretor Geral da empresa na qual fiz o Projeto Tese, que demonstrou uma abertura indescritível para este projeto e que, apesar de cheio de compromissos, sempre me apoiou em todos os aspetos deste processo.

Também no prisma da unidade industrial agradecer a todos os intervenientes que me apoiaram e tiveram interesse em me apoiar neste processo. Responsáveis de: Produção, Manutenção, Matéria-prima, Logística e Supply Chain e Qualidade.

Por último, mas não menos importante, gostaria, também, de agradecer à minha família e amigos, não por *inputs* diretos, mas sim por me terem ajudado de uma perspetiva mais pessoal e motivadora que foi, sem qualquer tipo de dúvida, uma parte muito importante para a realização da minha Tese de Mestrado.

## Resumo

A presente tese de Mestrado consiste num projeto numa empresa, detida por um Grupo económico, que decidiu investir na indústria dos laticínios. Esta empresa acabou por projetar e construir uma unidade industrial de raiz que permitisse satisfazer a procura total dos seus clientes com os mais altos níveis de serviço e posicionar-se na vanguarda da inovação.

A necessidade que esta tese adereça passa por desenvolver um modelo para otimização do planeamento e sequenciamento de produção da nova unidade industrial, pois na unidade antiga estes eram realizados por empirismo e experiência da operação. Este modelo terá impacto em quatro linhas de produção e repercute-se em cerca de oitenta produtos diferentes por ano que a unidade industrial produz.

A metodologia utilizada na presente tese de Mestrado é a de estudo de caso, proposta por Yin (2014), fazendo uso de diversas fontes de informação como documentos, ficheiros arquivados, entrevistas e observação.

Foi desenvolvido um modelo matemático em programação linear com o objetivo de encontrar a solução ótima para o planeamento e sequenciamento de produção num intervalo de tempo de quatro semanas. O valor acrescentado que este modelo fornece ao Grupo passa pela sua implementação em paralelo com os sistemas de informação já existentes no Grupo, o que possibilitará a criação de um otimizador do planeamento e sequenciamento da produção.

O presente estudo tem como limitações a ausência de implementação e testes quantitativos para provar os benefícios que este otimizador irá trazer para o Grupo, no entanto já obteve acolhimento pelo Grupo.

**Palavras-chave:** Caso de Estudo; Laticínios; Otimização; Planeamento e Sequenciamento; Programação Linear.

**Classificação JEL:** M110 – Gestão da Produção

Y40 – Dissertações.



## **Abstract**

This Master thesis consists of a project in a company, owned by an economic group, which decided to invest in the dairy industry. This company ended up designing and building an industrial unit from scratch that would satisfy the total demand of its customers with the highest service levels and position itself at the forefront of innovation.

The need for this thesis is to develop a model to optimize the planning and production scheduling of the new industrial unit, as in the old unit these were carried out by empiricism and experience of the operation. This model will have an impact on four production lines and will affect about eighty different products per year that the industrial unit produces.

The methodology used in this Master thesis is a case study, proposed by Yin (2014), making use of several sources of information such as documents, archived files, interviews and observation.

A mathematical model in linear programming was developed with the aim of finding the optimal solution for planning and scheduling production in a four-week period. The added value that this model provides to the Group is due to its implementation in parallel with the information systems already existing in the Group, which will enable the creation of an optimizer for planning and scheduling production.

The present study has as limitations the absence of implementation and quantitative tests to prove the benefits that this optimizer will bring to the Group, however it has already been welcomed by the Group.

**Keywords:** Case study; Dairy products; Optimization; Planning and Sequencing; Linear Programming.

**JEL Classification:** M110 – Production Management

Y40 – Dissertations

## Índice

|  |    |
|--|----|
| <b>Índice Figuras:</b> .....                                 | v  |
| <b>Índice tabelas:</b> .....                                 | v  |
| <b>Introdução</b> .....                                      | 1  |
| Contexto.....  | 1  |
| Objetivo do projeto.....                                     | 2  |
| Objetivos parcelares .....                                   | 2  |
| Metodologia.....   | 3  |
| Âmbito.....  | 3  |
| Ética  | 4  |
| Estrutura.....   | 4  |
| <b>1. Contextualização da empresa e sua envolvente</b> ..... | 5  |
| 1.1. Caracterização da indústria.....                        | 5  |
| 1.2. Caracterização da empresa .....                         | 9  |
| <b>2. Revisão bibliográfica</b> .....                        | 11 |
| 2.1. Planeamento.....  | 11 |
| 2.2. Dimensões de Planeamento .....                          | 11 |
| 2.3. Desafios e respetivas soluções.....                     | 13 |
| 2.4. Programação Linear.....                                 | 18 |
| 2.5. Programação Linear como ferramenta de planeamento ..... | 19 |
| 2.6. Conclusão .....   | 20 |
| <b>3. Metodologia</b> .....                                  | 21 |
| 3.1 Caracterização do caso de estudo .....                   | 21 |
| 3.2 Ferramentas de recolha de dados.....                     | 22 |
| 3.2.1. Documentos.....                                       | 22 |
| 3.2.2. Ficheiros arquivados .....                            | 22 |
| 3.2.3. Entrevistas .....                                     | 23 |
| 3.2.4. Observação:.....                                      | 24 |
| <b>4. O Caso</b> .....                                       | 25 |

|                         |  |           |
|-------------------------|--|-----------|
| 4.1.                    | Introdução .....                             | 25        |
| 4.2.                    | Compreender o Processo .....                 | 25        |
| 4.2.1.                  | Metodologia de Modelização do Processo ..... | 25        |
| 4.2.2.                  | Descrição do Processo.....                   | 28        |
| 4.3.                    | Modelo matemático .....                      | 30        |
| 4.3.1.                  | Pressupostos .....                           | 30        |
| 4.3.2.                  | Variáveis de decisão.....                    | 32        |
| 4.3.3.                  | Função Objetivo .....                        | 33        |
| 4.3.4.                  | Restrições .....                             | 34        |
| <b>Conclusões.....</b>  |  | <b>37</b> |
|                         | Resultados obtidos.....                      | 37        |
|                         | Limitações dos Resultados .....              | 38        |
|                         | Pistas de Investigação Futura .....          | 38        |
| <b>Referências.....</b> |  | <b>39</b> |

### **Índice Figuras:**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Macroprocesso transformação de leite da unidade industrial..... | 27 |
|--|----|

### **Índice tabelas:**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Volume do Mercado de Laticínios em Portugal .....                           | 6  |
| Tabela 2 - Segmentação do Mercado português de laticínios, por categoria, em 2013 .... | 6  |
| Tabela 3 - Segmentação Mercado Laticínios na Europa, em 2013 .....                     | 7  |
| Tabela 4 - Quota de Mercado das empresas de Laticínios, em Portugal, em 2013.....      | 7  |
| Tabela 5 - Quota de mercado por canal de distribuição .....                            | 8  |
| Tabela 6 – Áreas abordadas e intervenientes das entrevistas.....                       | 23 |



## **Introdução**

Este capítulo pretende enquadrar o desafio que este projeto se propõe analisar, definindo o contexto em que ele surge, o objetivo do projeto, a metodologia genérica que irá ser seguida, o âmbito em que o projeto se desenvolve e a estrutura seguida para o concretizar.

### **Contexto**

A indústria dos laticínios é muito dinâmica, quer em termos de volumes a produzir quer em termos de variedade de oferta ao consumidor. É uma indústria com grandes mutações nos padrões de consumo (um exemplo é o aumento de produtos substitutos ao leite na dieta diária) e em que a indústria se tem de adaptar para fazer face às novas tendências, pressionando os respetivos planeamentos de produção a serem flexíveis.

É também uma indústria complexa, na medida em que o produto final é considerado perecível e a sua matéria-prima, o leite cru, ou leite em natureza, além de ter um prazo de validade curto é composto por microrganismos, o que gera uma necessidade adicional de execução de procedimentos de controlo de qualidade, resultando numa complexidade adicional ao nível do planeamento.

A nível Europeu, esta indústria tem registado um crescimento estável, mas moderado (Marketline, 2014). O mesmo estudo refere que, especificamente em Portugal, esta indústria tem vindo a crescer mais nos últimos anos pois tem procurado recuperar a autossuficiência em famílias de produtos que geram valor acrescentado (exemplo: família dos iogurtes), sendo que em produtos de pouco valor acrescentado (leite comercial) Portugal é autossuficiente e ainda com capacidade de exportação.

Devido ao crescimento da procura e à necessidade de salvaguardar a cadeia de abastecimento futura garantindo, sempre, um controlo de qualidade superior, a empresa alvo deste projeto está a iniciar atividade numa nova unidade de produção, a qual apresenta desafios acrescidos em termos de planeamento e sequenciamento da produção. Esta unidade dedica-se, de momento, à produção e embalamento de leite, natas e manteiga.

Nesta nova unidade fabril os desafios maiores são:

- Formação necessária aos colaboradores para se adaptarem aos novos equipamentos e processos, tendo como consequência uma forte componente de gestão da mudança;
- A existência de várias linhas de produção (quatro linhas distintas), em paralelo, e a produção de novas referências que até agora estavam à responsabilidade de terceiros (por exemplo, a família de artigos das manteigas);
- O sequenciamento das operações a efetuar, na medida em que existe um número elevado de referências a puderem ser produzidas numa mesma linha;
- A inovação de produto, na medida em que a empresa desenvolve, com muita frequência, novos produtos para acompanhar a evolução de mercado.

O planeamento e sequenciamento da produção da empresa na unidade produtiva anterior era baseado na experiência do planeador e em empirismo. Os desafios da nova unidade de produção levam a que seja necessário otimizar o planeamento e sequenciamento da produção.

## **Objetivo do projeto**

Tendo por base o contexto apresentado, este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo matemático para a otimização do planeamento e sequenciamento das linhas de enchimento da nova unidade produtiva da empresa

## **Objetivos parcelares**

Os objetivos parcelares do presente projeto em empresa são:

- Identificar os recursos disponíveis para a concretização da produção;
- Analisar os vários processos da unidade industrial com o objetivo de mapear e modelar o seu macroprocesso, com especial foco no processo produtivo;
- Identificar as decisões a ter em consideração na definição do modelo;
- Identificar as restrições associadas a cada uma das etapas do macroprocesso da unidade industrial;
- Definição da função objetivo, restrições e variáveis de decisão do modelo conceptual para o planeamento e sequenciamento da produção.

## **Metodologia**

A utilização de um caso de estudo está relacionada com o facto de o projeto estar focado numa realidade única, abordada num contexto contemporâneo. Segundo Yin (2014), estas são características fundamentais para uma abordagem com uma metodologia de caso de estudo.

Na realização deste projeto irão ser seguidas as recomendações de Yin (2014). Sendo um caso de estudo único, e segundo o referido autor, as conclusões a retirar deste projeto deverão ser interpretadas apenas no âmbito da empresa onde é realizado, não podendo ser extrapoladas para outros contextos.

## **Âmbito**

Dentro da panóplia de processos existentes numa unidade industrial, seria impraticável considerá-los a todos, correndo o risco de, pela complexidade, a ferramenta se tornar inútil aos seus potenciais utilizadores. Deste modo, há que estreitar o universo em análise, garantindo sempre a sua validade.

Para que isto seja viável, e através de conversas exploratórias com os responsáveis das várias áreas, foi possível compreender que a unidade industrial foi desenhada em torno dos equipamentos de enchimento das várias linhas, tendo todos os subprocessos a montante e a jusante das linhas de enchimento uma capacidade superior em cerca de vinte por cento da dos de enchimento.

Ao se centrar o modelo nas especificações dos equipamentos de enchimento de cada uma das linhas em particular (leite embalado em cartão de litro; leite e natas embalado em embalagens de duzentos mililitros; leite e natas embalados em garrafas PET; e, por fim, a linha para manteigas), garante-se o estreitamento do espectro do processo e, simultaneamente, a validade no que toca a variáveis e restrições para todo o restante processo, salvaguardando a análise no seu *Bottleneck*.

## **Ética**

Apesar do investigador ser colaborador da empresa em questão, a postura adotada para desenvolver o presente projeto em empresa, a análise dos dados e processos para a realização da investigação será totalmente desinteressada no seu *output* final, limitando-se a descrever e analisar fatos reais da empresa e a interpretar os resultados com isenção. A empresa deu permissão para a realização do presente estudo. Por questões de confidencialidade, nem todos os dados apresentados são reais, mas a sua modificação será tal que será proporcional aos valores reais e não terá impacto na construção do modelo.

## **Estrutura**

O documento está estruturado em seis capítulos.

Numa primeira análise foram abordados os temas relativos à definição da necessidade, ou seja, a razão pela qual este projeto tese foi realizado

No primeiro capítulo é analisada a indústria e a empresa onde este projeto tese se insere.

No segundo capítulo será feita uma análise de como abordar o desafio proposto no capítulo um, o porquê da necessidade de planeamento e o que propõem outros investigadores sobre desafios similares na mesma e noutras indústrias.

No capítulo três será abordada a metodologia para realização da recolha e análise dos dados, salientando quais as fontes necessárias para obter a informação que possibilite a construção da ferramenta e aprendizagem da indústria e seus processos.

No quarto capítulo será explicado e concretizado os alicerces para a futura construção da ferramenta em si, isto é, o levantamento de toda a informação necessária para a construção do modelo.

E, por fim, serão desenvolvidas as conclusões do projeto, indicadas as limitações aos resultados e salientadas pistas para estudos e desenvolvimentos futuros.



# **1. Contextualização da empresa e sua envolvente**

Neste capítulo será realizada uma breve análise da indústria e da empresa em estudo de modo a poder ser melhor enquadrado o desafio que este projeto contempla.

## **1.1. Caracterização da indústria**

Segundo a Marketline (2014), a indústria dos laticínios portuguesa é caracterizada por ter tido um crescimento moderado, mas estável, no período de 2009 a 2013, com um crescimento anual, médio, de 3.1%. Quando comparando com economias mais desenvolvidas como a Francesa e a Alemã, este é um crescimento acima da média sendo que estas cresceram, no mesmo período, 0.9% e 1.2%, respetivamente (Marketline, 2014). O relatório da Marketline (2014) salienta que os produtos desta indústria são queijo, leite, produtos de soja, gorduras para barrar, iogurte, natas, sobremesas frias e queijo fresco.

O Instituto Nacional de Estatística, 2016, mostra-nos a evolução desta indústria num intervalo de tempo mais alargado. Este estudo salienta que, no intervalo de 1989 a 2013 (25 anos), a dimensão das explorações agrícolas sofreu um crescimento de mais de 800%, passando de uma média de 4 para 34 vacas por exploração e a exploração leiteira de manadas superiores a 20 cabeças cresceu 60.4%. Para o intervalo de 1980 a 2015, o estudo realizado pelo Instituto Nacional de Estatística, 2016, refere que a produtividade da indústria em Portugal mais que duplicou a produção de leite (de 970 mil toneladas para 2 Milhões de toneladas). Acrescenta ainda que Portugal sempre foi um país autossuficiente em leite neste período, atingindo o seu valor máximo em 2015, sendo o balanço entre o leite obtido, em Portugal, e o necessário para satisfazer as necessidades do país de 112,5%. A mesma fonte indica que Portugal é excedentário na produção de manteiga desde 1991, produção que registou um crescimento médio de 2.0% ao ano até ao ano de 2015. O mesmo não acontece com os iogurtes, por exemplo, sendo referido pela mesma fonte que Portugal perdeu a sua autossuficiência em 1990, tendo sido o seu défice, em 2015, de 53%.

Esta é, também, uma indústria que tem sofrido com o incremento de produtos alternativos devido aos mais variados estudos sobre os benefícios/malefícios da ingestão de produtos lácteos em idade adulta, o que complexifica o processo de adaptação ao mercado. Como definem Doganis e Sarimveis (2008), o aumento da variedade de produtos oferecidos pela indústria alimentar tem ajudado na sua adaptação às tendências de mercado, mas, ao mesmo tempo, tem

como resultado um processo produtivo mais complexo, que requiere flexibilidade e uma eficiente coordenação dos recursos disponíveis.

Segundo a Marketline (2014), a indústria dos laticínios em Portugal entre 2009 a 2013 registou um crescimento anual médio de 3.1% no seu valor de mercado (ver Tabela 1).

| Ano  | Valor Mercado em Milhões € | Crescimento % | Valor Mercado em Milhões de Quilos | Crescimento % |
|------|----------------------------|---------------|------------------------------------|---------------|
| 2009 | 2,390.4                    |               | 371.0                              |               |
| 2010 | 2,465.6                    | 3.1           | 386.4                              | 4.2           |
| 2011 | 2,542.2                    | 3.1           | 401.2                              | 3.8           |
| 2012 | 2,630.1                    | 3.5           | 412.9                              | 2.9           |
| 2013 | 2,705.5                    | 2.9           | 429.3                              | 4.0           |

*Tabela 1 - Volume do Mercado de Laticínios em Portugal*

*Fonte: Marketline (2014)*

Na Tabela 2 é possível observar a dispersão das famílias de produtos nesta indústria. O queijo é o líder de categoria com 37.2% de todo o mercado português de laticínios e os produtos de soja é a família de produtos que menos representação tem no mercado português desta indústria, contando apenas com 0.6% da quota do mesmo.

| Categoria            | Valor Mercado em Milhões de Dólares | %    |
|----------------------|-------------------------------------|------|
| Queijo               | 1,336.6                             | 37.2 |
| Leite                | 951.6                               | 26.5 |
| Iogurte              | 650.2                               | 18.1 |
| Gorduras para Barrar | 225.3                               | 6.3  |
| Produtos de Soja     | 21.8                                | 0.6  |
| Outros               | 405.9                               | 11.3 |

*Tabela 2 - Segmentação do Mercado português de laticínios, por categoria, em 2013*

*Fonte: Marketline (2014)*

Na Tabela 3, apresenta-se a contribuição de um conjunto de países para o valor de mercado total dos laticínios na Europa. É possível verificar que a Alemanha detém a maior percentagem do mercado sendo que, neste ranking simplificado por não ter todos os países, Portugal ocupa o último lugar com 2.2% da quota, menos 13.6 pontos percentuais que o líder Alemão.

| País            | Valor Mercado em Milhões de dólares | %    |
|-----------------|-------------------------------------|------|
| Alemanha        | 25,810.9                            | 15.8 |
| França          | 22,665.8                            | 13.8 |
| Espanha         | 9,893.6                             | 6.0  |
| Portugal        | 3,591.4                             | 2.2  |
| Resto da Europa | 101,727.9                           | 62.1 |

*Tabela 3 - Segmentação Mercado Laticínios na Europa, em 2013*

*Fonte: Marketline (2014)*

São várias as empresas que operam na indústria dos laticínios em Portugal. A Tabela 4 elenca as quotas de mercado dessas empresas em 2013. Verifica-se que a Lactogal lidera com 16.5% de quota.

| Empresa       | Quota de Mercado (%) |
|---------------|----------------------|
| Lactogal      | 16.5                 |
| Groupe Danone | 10.7                 |
| Bel Group     | 9.0                  |
| Nestle S.A.   | 6.7                  |
| Other         | 57.1                 |

*Tabela 4 - Quota de Mercado das empresas de Laticínios, em Portugal, em 2013*

*Fonte: Marketline (2014)*

Com a Tabela 5, vemos também, a quota de mercado mas agora por canal de distribuição. Podemos constatar que os Supermercados/Hipermercados lideram com aproximadamente 55% da quota. A empresa em estudo insere-se no ramo da produção industrial. Esta pertence a um Grupo empresarial que detém várias insígnias e em que o seu *core business* se posiciona no canal de distribuição com maior quota de mercado, os supermercados/hipermercados.

| Canal de distribuição         | Quota de fornecimento (%) |
|-------------------------------|---------------------------|
| Supermercados / Hipermercados | 54.8                      |
| Retalhistas independentes     | 29.6                      |
| Lojas de conveniência         | 9.7                       |
| Retalhistas especializados    | 4.6                       |
| Outros                        | 1.3                       |

*Tabela 5 - Quota de mercado por canal de distribuição*

*Fonte: Marketline (2014)*

A Marketline (2014) salienta que a indústria dos laticínios tem poucos entraves à entrada de novos concorrentes de pequena e grande dimensão, mas que para estes poderem estar presentes nos canais de distribuição com maior quota é necessário que tenham um elevado volume de negócios e alguns níveis de integração na cadeia de abastecimento, o que poderá não facilitar a entrada a players mais pequenos.

A Marketline (2014) refere a indústria dos produtos lácteos como uma que dificilmente desaparecerá por estar presente, de forma estável, na dieta do dia-a-dia da maior parte dos portugueses, apesar de existirem cada vez mais alternativas com que as empresas nesta indústria terão de lidar. A mesma fonte salienta que este é um mercado altamente sensível ao preço, isto é, o consumidor tem pouca fidelização à marca e procurará sempre o mais barato, o que incrementa o poder negocial do consumidor.

## 1.2. Caracterização da empresa

A empresa em estudo tem como atividade principal a produção e/ou transformação de bens alimentares. A empresa insere-se num Grupo empresarial que detém insígnias de várias áreas económicas, sendo que o *core business* do Grupo empresarial é o retalho alimentar e o retalho especializado.

A empresa foco deste estudo tem poucos anos de história e sofreu uma grande mudança no ano de 2017. Nesse ano, o Grupo decidiu aumentar a sua capacidade produtiva, o controlo sobre os produtos que produz e a gestão da inovação da marca. Para tal foi projetada uma nova unidade fabril dentro desta indústria dos laticínios.

Numa fase inicial, esta nova unidade, irá garantir a produção e embalagem de leite (magro, meio-gordo, gordo, entre outros), natas (também com as variações que o mercado exige) e manteigas. É esperado, e a planta de fábrica está desenhada em concordância, que esta unidade venha também a garantir o abastecimento das insígnias retalhistas do Grupo de iogurtes e queijos.

Nesta fase inicial, a unidade conta com quatro linhas de produção, que poderão, ou não, ter linhas de enchimento em paralelo. Estas linhas são:

- Linha de cartão 200ml;
- Linha de cartão Litro;
- Linha PET – Garrafas de dimensões diversas;
- Manteigaria.

A fase do processo que é comum nestas linhas prende-se unicamente com os silos de armazenamento de leite em natureza. Cada família de linhas possui dois *buffers* prévios à fase de enchimento pelo que não existe dependência entre linhas; a dependência está na fase de enchimento desses *buffers*, pois se a matéria para enchimento for a mesma estes são abastecidos de forma independente mas com uma mesma origem.

A unidade fabril em causa possui, também, um departamento de inovação que lhe permite desenhar e testar novos produtos por forma a acompanhar as necessidades de mercado. De momento a unidade fabril tem capacidade para produzir cerca de 80 artigos/ano diferentes para o mercado, mas espera-se, com o previamente mencionado departamento de inovação, que este número venha a aumentar.



## 2. Revisão bibliográfica

Este capítulo pretende dar suporte conceptual para a concretização do objetivo do projeto. Para tal, irá abordar o conceito de planeamento e sequenciamento de produção, a sua relevância, princípios e preocupações.

### 2.1. Planeamento

Johnston e Clark (2005) relacionam o planeamento das operações de produção com o sequenciamento das mesmas, a alocação e o controlo da capacidade instalada e, ainda, a garantia do fluxo de recursos de modo a cooperar com o que tinha sido previamente calendarizado. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2013) acrescentam que o planeamento e controlo da capacidade produtiva passam por definir a capacidade da operação a utilizar de forma a que esta responda à procura; normalmente esta análise implica decidir como é que se vai operar nas flutuações da procura.

Fernandez e Angel (2014) definem que uma das formas essenciais para sobreviver e liderar, atualmente, passa por identificar e utilizar os recursos de forma otimizada. Para que isto seja viável terá de existir planeamento. Os autores referem, também, que o planeamento está associado a melhorias na produtividade e competitividade, praticamente sem custo para as organizações. Numa visão macro, Pochet e Wolsey (2012) afirmam que o objetivo do planeamento de produção se prende com a realização de *trade-off's* entre os objetivos económicos, sendo estes a minimização de custo ou a maximização da contribuição para o lucro e, o objetivo menos tangível, a satisfação do cliente.

Hitomi (1996) fornece uma definição de planeamento mais abstrata e abrangente afirmando que “O planeamento é a seleção de uma ação futura. Através deste plano implementado a produção executa atividades práticas para realizar produtos em fábrica”.

### 2.2. Dimensões de Planeamento

Existem diversas definições de planeamento que variam consoante os autores e as escolas de pensamento. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2013) caracterizam a natureza do planeamento como flexível, que sofre alterações ao longo do tempo e que depende do universo temporal a contemplar.

Os mesmos autores explicam que, no longo prazo, o responsável centra a sua análise na leitura do que o Mercado precisa, qual a capacidade disponível a oferecer pela empresa, que recursos necessários e, com estes, define os objetivos que a operação se propõe a alcançar.

No médio-prazo, Slack, Brandon-Jones e Johnston (2013) afirmam que o planeamento se torna mais detalhado e menos abstrato, comparativamente ao planeamento de longo prazo. Para isto desagregam a procura interna e externa por partes por forma a analisar as necessidades da operação, e como satisfazê-las eficazmente.

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2013) definem o planeamento no curto-prazo como um mais focado no controlo, isto é, se a operação está alinhada com o planeamento de médio-prazo e, caso não esteja, procede-se à concretização de ajustes necessários. Isto acontece por já ter sido efetuada a alocação de recursos e desenho de precedências no processo, tornando inviável, no curto-prazo, a realização de alterações substanciais ao planeamento. Estas alterações são “cirúrgicas” na medida em que a procura e necessidades da operação são analisadas num prisma totalmente desagregado, isto é, alterações que não têm em consideração todo o universo que foi anteriormente planeado, mas sim o constrangimento na operação que precisa de ser solucionado no curto-prazo. Tendo estes fatores em consideração, estas alterações propõem balancear os fatores qualidade, velocidade, fiabilidade, flexibilidade e custo das operações num espectro dinâmico e contínuo.

No médio-prazo, Pradenas, Alvarez, e Ferland (2009) situam o planeamento agregado de produção como sendo uma ferramenta de análise da relação entre a procura e a oferta, com vista a determinar os níveis de produção para satisfazer a procura que nem sempre é conhecida.

Segundo Reid e Sanders (2011), o objetivo primordial do planeamento agregado de produção é a criação de cadências de produção e gerir as necessidades de inventário a manter em cada intervalo de tempo. Segundo estes autores, este planeamento inclui volumes de produto acabado no final do intervalo de tempo, inventário, capacidade de trabalho e um agregado do que se deverá produzir em cada intervalo.

Como maiores desafios neste planeamento, a médio-prazo temos, segundo Pochet e Wolsey (2012), a capacidade de otimizar o *trade-off* entre produtividade (que requiere grandes lotes de produção para evitar perder capacidade por paragens frequentes de limpeza, os *Bottlenecks*) e a flexibilidade (que requer lotes pequenos para que seja possível produzir o mais tarde possível e reagir rapidamente às mudanças de mercado).



### 2.3. Desafios e respetivas soluções

Num estudo de planeamento de produção na indústria farmacêutica, Kopanos, Méndez e Puigjaner (2010) depararam-se com um problema maioritariamente focado na fase de embalagem, particularmente complexo por terem linhas de produção paralelas que partilham recursos. Com este estudo, Kopanos, Méndez e Puigjaner (2010) pretendem minimizar os custos da unidade fabril de forma generalizada. Para isto, terão de desenvolver uma função multiobjetivo que reduza os custos nas seguintes variáveis: inventário; custos da operação; custos das preparação das receitas na fase de fermentação; custos da utilização da unidade fabril; e, por fim, os custos de trocas (tempos de setup) entre famílias de produtos. Kopanos, Méndez e Puigjaner (2010), utilizaram programação linear mista por ser um método capaz de cooperar com linhas paralelas e multiproduto e, ao mesmo tempo, por ter a capacidade de gerar resultados fiáveis e com uma reduzida necessidade de tempo computacional. Explicam que o modelo é flexível e que o utilizador poderá alterar os graus de liberdade que pretende utilizar no mesmo. Esta flexibilidade deve-se ao *trade-off* entre o quão perto o utilizador quer a solução da ótima e o tempo computacional, havendo uma correlação inversa, quanto maior o tempo computacional mais perto de ótima será a solução.

No estudo de caso executado por Pascoal Frazão (2011), esta deparou-se com um desafio de otimizar o planeamento de produção e distribuição da empresa Secil, S.A.. As maiores dificuldades deste problema seriam os múltiplos centros de produção, centros de distribuição, produto e meios de transporte. Aqui o objetivo passou por determinar o fluxo ótimo de produtos nos vários elos da cadeia que minimizasse o custo associado a suportar pela empresa em estudo. O problema da determinação do fluxo ótimo de produtos durante o planeamento logístico da empresa, foi modelado em programação linear inteira mista. Para isto a autora recomenda que se recorra à ferramenta *Solver* do Microsoft Excel para a realização da otimização, não só por definir, por norma, os *softwares* de otimização como pouco *user-friendly* mas, também, por esta ferramenta, *solver*, garantir todas as necessidades de análise da empresa em causa com custo quase nulo para a organização, por permitir uma leitura intuitiva e de fácil compreensão e, também, por fornecer a hipótese de apresentar de forma integrada os resultados e todas as componentes necessárias para a implementação do modelo.

Também na indústria alimentar, desta feita nos enlatados, Georgiadis et al. (2018) tinham como problema o planeamento e sequenciamento de produção e objetivo de otimizar as decisões-chave da FRINSA, uma das maiores empresas do ramo na Europa. As decisões-chave foram as seguintes: o número de lotes de produto a agendar; a alocação destes lotes no tempo de produção disponível; o seu sequenciamento; e discriminar os tempos iniciais e finais de cada lote. Para isto recorreram a programação linear, a qual, com sucesso, gerou, eficazmente, uma solução perto de ótima para o desafio de sequenciamento com um nível significativo de complexidade em termos de produtos, recursos partilhados e de qualidade de produto. Uma das conclusões deste estudo foi o compreender onde estavam, na realidade, os *bottlenecks* do processo produtivo.

Jain e Grossmann (2000) realizaram um estudo de otimização de planeamento e sequenciamento a curto-prazo de uma unidade fabril com o objetivo de minimizar o tempo de preparação, isto é, encontrar uma solução ótima que permita satisfazer todas as encomendas no menor tempo possível. Tiveram como maiores desafios a alocação de encomendas aos tanques de produção disponíveis; a sequência a realizar; o tempo de duração das várias etapas dos processos. Para atingir o objetivo proposto, numa fase inicial, os autores decidiram utilizar programação linear mista em todo o processo, mas, tendo em conta os longos tempos de processamento/computacionais que esta fase incutia no modelo, para uma das fases do processo, a de pré-encomenda, modelam para que seja resolvido através de heurísticas, sendo as restantes fases, a jusante desta, modeladas em programação linear mista. Os autores referem que utilizando heurísticas na resolução do problema poderão ter resultados 7% aproximados ao valor da solução ótima. Jain e Grossmann (2000) elucidam que a utilização de heurísticas tem de ser realizada consciente de que este método é orientado para um problema específico e, por isso, inflexível e podendo não ir ao encontro da solução ótima.

Marinelli, Nenni e Sforza (2007), na indústria dos laticínios, procuram otimizar um problema de planeamento e sequenciamento de cinco linhas paralelas. O seu objetivo foi minimizar os custos de inventário, custos de produção e tempos de *setup* dos equipamentos, embora os tempos e custos entre atividades (tendo em consideração as dependências) não tenham sido considerados. Os autores tentaram utilizar um modelo matemático em programação linear para o planeamento mas este falhou em devolver uma solução ótima em tempos computacionais aceitáveis. Consequentemente, os autores decidiram utilizar uma heurística em duas fases (uma para a dimensão de lote e outra para sequenciamento) para tentar alcançar uma solução perto

de ótima. Marinelli, Nenni e Sforza (2007) descrevem que no caso deste estudo as heurísticas fornecem resultados inviáveis sempre que se consideram tempos de *setup* devido à capacidade produtiva das linhas; como solução referem que se devem analisar os “locais” (equipamentos) em estudo de forma separada e não de forma agregada.

No estudo de caso de Ribeiro de Carvalho (2015) na indústria dos laticínios (gelados) o objetivo era encontrar uma solução ótima, ou próxima de ótima, para o planeamento e sequenciamento de produção de uma determinada empresa. Como maiores desafios desta indústria, destaca-se a sazonalidade do produto; a sazonalidade dos sabores a produzir pois, segundo Ribeiro de Carvalho (2015), consoante a altura do ano os sabores preferenciais pelo consumidor alteram; a disponibilidade de matéria-prima no mercado; e as condições meteorológicas que afetam diretamente a indústria e o seu volume de negócios.

Como maiores desafios da empresa em si, Ribeiro de Carvalho (2015) destaca: a definição dos lotes de produção por ter restrições de capacidade produtiva; o facto de ser uma empresa de gelados artesanais que depende muito de mão-de-obra Humana (o que implica a gestão dos picos sazonais de recursos a utilizar); a perecibilidade dos produtos; a disponibilidade de matéria-prima e o seu controlo de qualidade exigente, na medida em que pode ser recusada a utilização de matéria-prima que dificultará o *procurement* de forma estruturada e eficaz; destaca também os desafios de sequenciamento e de previsão de procura como importantes fatores a ter em consideração nesta indústria.

Para proceder à modelização e conseqüente otimização, Ribeiro de Carvalho (2015), escolheu utilizar programação linear mista por possibilitar não só o alcance do seu objetivo inicial de forma eficaz e eficiente, mas, paralelamente, atingir um planeamento que simultaneamente consegue maximizar a utilização dos seus recursos disponíveis. Através da integração, no modelo, do controlo de inventário de matérias-primas, tornou-se também possível controlar o impacto da vida útil das matérias-primas no processo de produção.

Também na indústria dos laticínios, Doganis e Sarimveis (2008), têm como objetivo otimizar o planeamento e sequenciamento de produção. O objetivo passa por minimizar, simultaneamente, os custos associados aos tempos de *setup*; de inventário a ter em fábrica; os custos de utilização dos equipamentos e os custos adicionais de utilização dos equipamentos sem ser o contratualizado. Para tal é necessário sequenciar a produção de forma uniforme ao longo do horizonte temporal disponível. Para alcançarem estes objetivos, Doganis e Sarimveis

(2008), propõem a utilização de programação linear para otimizar as linhas de embalagem da unidade industrial em estudo que conta com múltiplas máquinas a trabalhar em paralelo. Descrevem este método de otimização como flexível e capaz de lidar com a complexidade do seu processo, nomeadamente com a grande diversidade de produtos a serem contemplados, as múltiplas datas de entregas, os diferenciais dos tempos de processamento, a relação de dependência dos tempos de *setup* e dos custos e dos níveis de inventário. Como resultado do estudo, Doganis e Sarimveis (2008) verificaram uma redução de 66% do número de transições entre produtos, valores médios para um período de três semanas, que resultou numa similar redução nos custos e tempos destas transições (69% e 63%, respetivamente). Este resultado é maioritariamente consequência do aumento de produção apesar de uma redução (12%) do tempo total de produção, devendo-se isto a uma alocação mais eficiente de trabalho e otimização do equipamento em fábrica. Num espectro de cinquenta semanas, a solução encontrada gerou uma diminuição de 83,000€ no custo total de produção, menos 24% do que previsto no planeamento de produção anterior.

Numa unidade de produção de iogurte na Grécia, Kopanos, Puigjaner e Georgiadis (2010) deparam-se com o problema de otimizar simultaneamente a dimensão de lote a produzir e o sequenciamento para multiprodutos derivados da indústria dos laticínios. O objetivo é otimizar, maioritariamente, a fase de embalagem, sendo consideradas restrições de tempo e capacidade na fase de fermentação. Isto implica um mais atento planeamento das embalagens que operam em linhas paralelas e partilham recursos. No modelo matemático tiveram em consideração o sequenciamento e suas dependências em termos de tempo e custo.

Os referidos autores recorrem a programação linear mista, utilizando um híbrido de representação dos tempos (discreto e contínuos) para conseguir obter resultados de planeamento ao mínimo custo com rapidez. Nas suas conclusões, os autores explicam que utilizar estas ferramentas é essencial na medida em que os clientes, principalmente na indústria alimentar, têm tendência a confirmar as encomendas, ou não, muito próximo do dia de entrega, o que torna imperativo ter acesso a uma ferramenta de planeamento flexível.

Entrup, Günther, Beek, Grunow e Seiler, T. (2005) realizam um estudo na indústria dos laticínios (iogurtes) em que inserem o seu foco no processo de embalagem e de adição de sabor. Os autores defendem que se pode criar valor nesta indústria através duma boa gestão das validades e que se garantidas validades mais altas ao seu cliente irão ter benefícios financeiros pois terão menos quebra de produtos e menos restrições na cadeia de fornecimento (exemplo

de cliente devolver produto por validade baixa). O seu objetivo passa, então, pela maximização da margem de contribuição tendo em consideração as receitas e os vários custos, isto é, pelo benefício financeiro que a empresa tem com os seus clientes que está diretamente ligada à vida útil do produto na chegada ao consumidor, o que acabou por ser conseguido no final do modelo. Entrup, Günther, Beek, Grunow e Seiler, T. (2005) utilizaram programação linear mista na construção do modelo que lhes permitisse gerar soluções perto de ótimas para o planeamento e sequenciamento de produção no seu estudo. Esta opção, segundo os autores, deveu-se ao facto de a programação linear mista permitir satisfazer as suas necessidades de alcançar uma solução viável nesta otimização e, mais facilmente, tolera a diversidade de produto por comparação ao planeamento por lote de produção. Os autores defendem como variáveis críticas no planeamento por programação linear, na indústria em questão, a vida útil do produto e a decisão do intervalo de tempo a planear, sendo que as duas se ligam à precibilidade dos artigos.

Leewattanayingyong e Ritvirool (2007) descrevem a indústria dos laticínios na Tailândia como saturada, com muitos concorrentes e em que existe uma necessidade de otimização constante para maximização do lucro total por forma a sobreviver neste meio. Isto implica gerir um portfólio vasto de produtos com severas restrições de capacidade. Leewattanayingyong e Ritvirool (2007) escolhem programação linear maioritariamente por duas razões: i) por conseguir analisar em detalhe a operação e cada uma das fases; ii) por produzir soluções melhores e mais flexíveis que o planeamento manual a que recorriam anteriormente. Depois de implementada a solução encontrada em programação linear e analisada a operação, os autores puderam constatar que os resultados demonstravam um incremento de 4% do lucro total da empresa.

Fernandez e Angel (2014) falam-nos do mercado Colombiano dos laticínios e a importância que o mesmo tem a nível global (detendo, à data, 1% de toda a produção mundial). No seu caso de estudo pretendiam otimizar, de forma independente, duas famílias de produtos: queijo e iogurte. O maior desafio estava em planear a quantidade de produto a produzir por semana. Os autores recorreram a programação linear, neste caso multiobjectivo, por se ter demonstrado na indústria em causa bastante eficaz para auxiliar a tomada de decisão, na medida em que possibilita determinar quais as quantidades que devem ser produzidas tendo em conta as restrições da unidade fabril e com investimento de capital quase nulo.

Javanmard e Kianehkandi (2011) têm como desafio otimizar a produção e sequenciamento de quatro referências operadas numa só linha de produção de uma unidade industrial num período de seis dias. O objetivo passa por minimizar todas as maiores fontes de custo que dependem do sequenciamento da produção (tempo das transições, custo dos inventários e de capital Humano). Os autores reconhecem como restrições críticas a esta indústria e unidade fabril as seguintes: inventário a reter, capacidade dos equipamentos, turnos de trabalho e capital humano; no que toca à indústria as limitações de sequenciamento (diferentes sabores), diferença de gordura presente no produto, e a sequência das transições de produtos no que toca a tempo e custos. Javanmard e Kianehkandi (2011) recorreram a programação linear multiobjectivo para esta otimização por possibilitar obter a solução para o planeamento e sequenciamento de produção não só a um custo praticamente nulo, mas, também, por permitir obter soluções multiobjectivo.

## **2.4. Programação Linear**

Matoušek e Gärtner (2007) contam-nos a história da introdução, nos anos cinquenta, da programação linear para fins militares numa época em que os computadores eram poucos e os que existiam só estariam disponíveis à utilização por entidades governamentais. Como os autores descrevem, a própria palavra programação fazia referência, em termos militares, ao planeamento e calendarização de treinos, da logística, abastecimento e mobilização de recursos. A palavra linear refere-se que os planos seriam limitados por restrições lineares e que a própria qualidade do plano seria, também, medida por uma função linear. Segundo Matoušek e Gärtner (2007), a programação linear começou a ser utilizada no mundo empresarial com o objetivo de planear todo o tipo de atividades económicas como por exemplo no planeamento dos: transportes, unidades industriais e agricultura.

Dorfman, Samuelson e Solow (1987), descrevem o significado de programação linear por um tipo especial de teoria e prática de minimização ou maximização, que está sujeita a determinadas restrições nas suas variáveis de decisão. Adicionalmente Dorfman, Samuelson e Solow (1987), referem que a programação linear tem três características que a distingue de outros modelos matemáticos, sendo estas:

- Proporcionalidade:
  - Significando que se o valor de uma variável de decisão é multiplicado por uma constante então a sua contribuição para o objetivo, e restrições será multiplicado pela mesma constante;
- Aditividade:
  - Isto significa que o valor total da função objetivo tal como o valor das restrições são iguais à soma das contribuições individuais dos valores das variáveis de decisão.
- Divisibilidade:
  - Significando que, teoricamente, as variáveis de decisão podem assumir qualquer valor, incluindo valores fracionários.

## **2.5. Programação Linear como ferramenta de planeamento**

Floudas e Lin (2005) defendem que a programação linear é um dos métodos mais explorados para planeamento da produção e sequenciamento por ser rigoroso, flexível e com uma larga capacidade de modelização. Acrescentam também que a otimização por programação linear é adaptável, isto é, tanto consegue ser contruída para servir um só propósito como vários, consoante a necessidade do programador.

Kallrath (2002) caracteriza o planeamento como sendo um meio para alcançar a produção, distribuição, vendas e inventário a manter com base no consumidor e na informação proveniente do mercado, tendo em conta todas as suas restrições. Para isto, refere, a otimização em programação linear consegue providenciar uma base quantitativa para a tomada de decisão, que permite lidar com problemas complexos e, ao mesmo tempo, demonstrar ser uma ferramenta útil na redução de custo e alcance de outros objetivos.

Kallrath (2002) demonstra também que num nível mais micro a programação linear permite gerar planos operacionais, sequenciamento de operações e análise dos recursos necessários ao longo do tempo. Segundo o mesmo autor, através da programação linear é possível termos diversos planeamentos operacionais consoante as diferentes funções objetivo que poderão ser utilizadas e estes irão suportar diferentes estratégias da empresa em questão.

## 2.6. Conclusão

Neste capítulo foi realizado uma revisão da literatura e uma pequena contextualização dos métodos utilizados para solucionar os desafios dos projetos anteriormente descritos.

É possível definir, pela leitura dos mesmos, um padrão na escolha dos modelos para solucionar os desafios nas várias áreas. Na grande maioria dos estudos analisados, a utilização de programação linear para a otimização demonstrou ser a melhor solução, pois tem como resultado o alcance de um valor ótimo tendo em conta as variáveis de decisão e restrições a que a organização está sujeita.

Quando o investigador está disposto a prescindir da otimalidade e procurar valores próximos dos ótimos, valorizando o tempo de processamento e a complexidade do modelo a aplicar em si, a utilização de heurísticas será o método mais aconselhável.

Por o presente projecto procurar alcançar a otimização do planeamento e sequenciamento da produção, a modelização em programação linear afigura-se a solução mais adequada.



### 3. Metodologia

Neste capítulo da Metodologia, vai ser explicado o porquê da utilização de uma metodologia por estudo de caso, as características relevantes do mesmo, as fontes de evidência utilizadas na recolha de dados e informação e as etapas para a construção do modelo em si.

#### 3.1. Caracterização do caso de estudo

O estudo em causa é um projeto em empresa que pretende analisar uma realidade única e contemporânea. Segundo Yin (2014), estas características justificam que se adote uma metodologia de investigação por caso de estudo. Também, de acordo com Yin (2014), os resultados obtidos deste caso de estudo, desenvolvidos no âmbito de uma realidade muito específica, serão unicamente válidos no âmbito deste caso, não podendo ser extrapolados para outros casos.

Yin (2014) diz-nos que para escolher uma metodologia de investigação devem ser tidas em consideração: (a) o tipo de questão de investigação; (b) o nível de influência do investigador sobre os acontecimentos a ser estudados; e, por fim, (c) o foco em acontecimentos contemporâneos.

Segundo o mesmo autor, um estudo de caso deve ser adotado quando:

- A questão de investigação se inicia com “Como” ou “Porquê”;
- O investigador não tem influência sobre os acontecimentos a ser estudados;
- O estudo tem foco em acontecimentos contemporâneos.

Apesar de neste estudo de caso não se ter definido a questão de investigação formalmente (porquê anteriormente descrito), o que este estudo procura é realmente o “Como”, ou seja, sabendo quais os recursos disponíveis, como é que estes podem ser utilizados de forma a garantir os melhores resultados possíveis.

Estando as premissas anteriormente descritas em concordância com a natureza do projeto e o objetivo de modelização matemática desta ferramenta de suporte à tomada de decisão, torna-se pertinente o uso de uma metodologia por estudo de caso para abordar o objetivo do presente projeto. Com isto, a intervenção será sempre com a perspetiva de criação de valor para a empresa em estudo e considerando as restrições e funções necessárias à boa caracterização do processo.

## **3.2. Ferramentas de recolha de dados**

Segundo Yin (2014), existem seis fontes de evidência que resultam numa eficaz e fiável recolha de dados. Estas são: documentos, ficheiros arquivados, entrevistas, observação direta, observação participativa e artefactos físicos. Dentro destas, serão utilizadas todas exceto artefactos físicos.

### **3.2.1. Documentos**

Para o presente Projeto será analisada uma panóplia de documentos da empresa. Temos como exemplos: os manuais de cada um dos equipamentos, as fichas técnicas de equipamentos, produtos e materiais em fábrica, os requisitos legais em termos de higienização, limpeza e precauções com embalamento, entre outros.

Todos estes documentos terão impacto na forma como o modelo será construído e/ou nas suas restrições e/ou variáveis. Este impacto poderá materializar-se no conhecimento mais aprofundado do investigador sobre os processos industriais a estudar, na definição de restrições (por exemplo derivado de requisitos legais), poderá ser útil também para compreender os equipamentos, a sua capacidade, flexibilidade produtiva, entre outros. A perceção dos vários recursos envolvidos e das suas características específicas irá permitir a aderência do modelo a desenvolver à realidade da empresa e, conseqüentemente, o valor que este projeto poderá trazer para a empresa.

### **3.2.2. Ficheiros arquivados**

Os ficheiros arquivados tiveram como principal função aceder à procura passada e a como a empresa se adaptou a ela, na medida em que foi possível ter acesso a históricos de procura e de planeamentos de produção. A análise destes documentos resultou numa perceção de como a organização planeia para fazer face às flutuações e requisitos do mercado, tendo como exemplo as flutuações da procura e as tendências de mercado relativas à introdução de novos produtos. Outro fator importante que adveio da análise dos ficheiros arquivados foi compreender o nível de serviço prestado pela empresa. O estudo deste indicador permite analisar falhas de entregas passadas e procurar compreender o porquê da existência das mesmas para que se possa garantir que o planeamento, e conseqüente modelização do processo futuro, aborde todas as restrições e variáveis necessárias que pudessem até então não estar a ser contempladas no planeamento.

### 3.2.3. Entrevistas

As entrevistas, informais e semiestruturadas, foram o ponto-chave para conhecer o processo produtivo. Através destas foi possível compreender não só como a nova unidade industrial opera, mas, também, como seria pretendido vir a funcionar.

Na Tabela 6 é possível identificar o contributo de cada entrevistado para a obtenção da informação necessária que irá permitir estruturar a forma e objetivo do modelo a modelar, as suas restrições e variáveis de decisão.

| Entrevistado                         | Tópico abordado |                   |                    |                    |                  |                            |           |            |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------------------|-----------|------------|
|                                      | Macroprocesso   | Processo Produção | Processo Logística | Processo Qualidade | Gama de Produtos | Capacidade de equipamentos | Variáveis | Restrições |
| Diretor Geral                        | x               | x                 | x                  | x                  | x                | x                          | x         | x          |
| Responsável Produção                 | x               | x                 |                    |                    | x                | x                          | x         | x          |
| Responsável Manutenção               | x               | x                 |                    |                    |                  | x                          | x         | x          |
| Responsável Qualidade                | x               |                   |                    | x                  |                  |                            | x         | x          |
| Responsável Logística e Supply Chain | x               |                   | x                  |                    |                  |                            | x         | x          |
| Responsável Matéria-Prima            | x               |                   |                    | x                  |                  |                            | x         | x          |
| Responsável Inovação                 |                 | x                 |                    | x                  | x                |                            | x         | x          |
| Responsável Contabilidade            |                 |                   |                    |                    |                  |                            | x         |            |

Tabela 6 – Áreas abordadas e intervenientes das entrevistas

### **3.2.4. Observação:**

#### **3.2.4.1. Direta**

Através da observação direta foi possível consolidar o conhecimento obtido através das entrevistas e garantir triangulação da informação; foi possível compreender a interação entre os vários processos, os seus *bottlenecks* e a compreensão numa vertente prática das restrições que teriam de ser modeladas. Em modo de exemplo, a análise teórica de um processo poderá ser considerada bastante simplista na medida em que possui graus de flexibilidade muito baixos. Isto é, em teoria existe um conjunto de restrições e procedimentos que limitam a operação, mas que, nem sempre, contemplam todas as hipóteses possíveis de atuação e que, estes, deverão também ser contemplados no processo como um todo pois essa mesma flexibilidade poderá gerar ganhos na operação como um todo.

#### **3.2.4.2. Participativa**

Yin (2014) caracteriza as vantagens da observação participativa por o investigador ter acesso a informação e grupos de trabalho que sendo um membro externo nunca teria. Outra das vantagens por este enumerada é a oportunidade de compreender a realidade do ponto de vista de quem está “dentro” do processo. Finaliza dizendo que outras oportunidades surgem nomeadamente a capacidade de manipular eventos menores (como planejar uma reunião com um grupo que interesse ao estudo). O investigador passou mais de um ano como observador participativo, o que lhe permitiu compreender o processo *in loco* e interagir com os intervenientes do mesmo, esta interação permitiu gerar o conhecimento aprofundado nas necessidades e restrições do modelo a realizar visto que foi possível ter acesso aos agentes intervenientes mais diretos no mesmo. A observação participativa e a interação com estes agentes permitiu desenhar o processo com menos *gaps* entre o que se pretende e o que realmente se vai modelar pois, muitas vezes, existem restrições que não estão contempladas no desenho do processo produtivo mas que a própria estrutura cria e, desta forma, a modelização proposta estará mais próxima da realidade da unidade fabril.

## **4. O Caso**

### **4.1. Introdução**

Neste capítulo, numa primeira fase, vai ser explicado detalhadamente o processo a modelar. De seguida é realizada a modelação em programação linear para a otimização do planeamento e sequenciamento do projeto em causa. Esta fase inicia-se com a explicação da função objetivo, variáveis de decisão e restrições.

### **4.2. Compreender o Processo**

Neste subcapítulo o investigador procura explicar o racional lógico pelo qual o processo foi pensado e, posteriormente, modelado.

#### **4.2.1. Metodologia de Modelização do Processo**

Uma unidade nesta indústria possui uma panóplia de processos e subprocessos que poderão, ou não, ser independentes. Uma análise intensiva poderia tornar-se extensa e difícil de compreender. Por forma a estreitar o universo de análise mantendo toda a realidade do mesmo, o investigador recorreu, principalmente, a entrevistas para compreender e simplificar o processo.

Das entrevistas e documentos da empresa resultou que o processo, de um ponto de vista mais superficial, se dividiria maioritariamente em quatro fases, sendo estas: Esterilização, Armazenamento em Tanque Acético, Enchimento e Armazenamento. Trabalhar as quatro fases em simultâneo com as todas as suas restrições e combinações possíveis tornar-se-ia impraticável. Por essa razão, o investigador teve de perceber qual a lógica de construção industrial para conhecer pontos-base que permitissem o desenho do modelo de forma simples, mas fidedigna.

No caso desta unidade industrial em específico, todo o seu desenho, e consequentes processos, foi arquitetada em torno de uma fase em particular, a fase de enchimento. No projeto inicial de fábrica a empresa decidiu a capacidade produtiva desejada para fazer face às necessidades, a sua capacidade futura (após a implementação de uma já estudada possibilidade de expansão) e que as fases produtivas a montante e a jusante teriam uma capacidade superior em 20% à capacidade produtiva desta fase de enchimento. Tendo isto em consideração, modelando e

otimizando a fase de enchimento estaremos, por consequência, caso as restantes fases produtivas não demonstrem constrangimentos anómalos, a otimizar todas as restantes.

Nesta fase consideram-se quatro tipologias de enchimento diferentes ou quatro grandes famílias de produtos na unidade industrial, sendo estes produtos:

- Embalagem cartão de litro;
- Embalagem de cartão de 200 mililitros;
- Garrafa PET (Litro e 200 mililitros);
- Embalagens da manteigaria.

Os processos de tratamento e produção de cada uma destas famílias varia de acordo com as especificidades do produto final a produzir e a tipologia de tratamentos a efetuar à matéria-prima. Em termos de atividades genéricas, não de equipamentos, o seu processo de enchimento é idêntico, fazendo com que o modelo processual não tenha de ser tão extensivo e com que a modelização concetual do processo efetuada a qualquer um dos artigos represente também a dos restantes.

O modelo matemático, por sua vez, terá em consideração as variações particulares pois, aí, o foco analítico estará no processo e equipamentos e não apenas no processo em si, como por exemplo: o equipamento de enchimento das embalagens da manteigaria tem uma capacidade diferente do da embalagem de cartão de litro.

De seguida, na Figura 1, é representado o modelo do macroprocesso produtivo da unidade industrial, seguindo-se uma explicação do mesmo. Por forma a simplificar foi escolhido o modelo relativo à produção de referências da família do leite, sendo este idêntico às restantes tipologias de enchimento anteriormente referidas, isto é para a família das natas e manteigas.

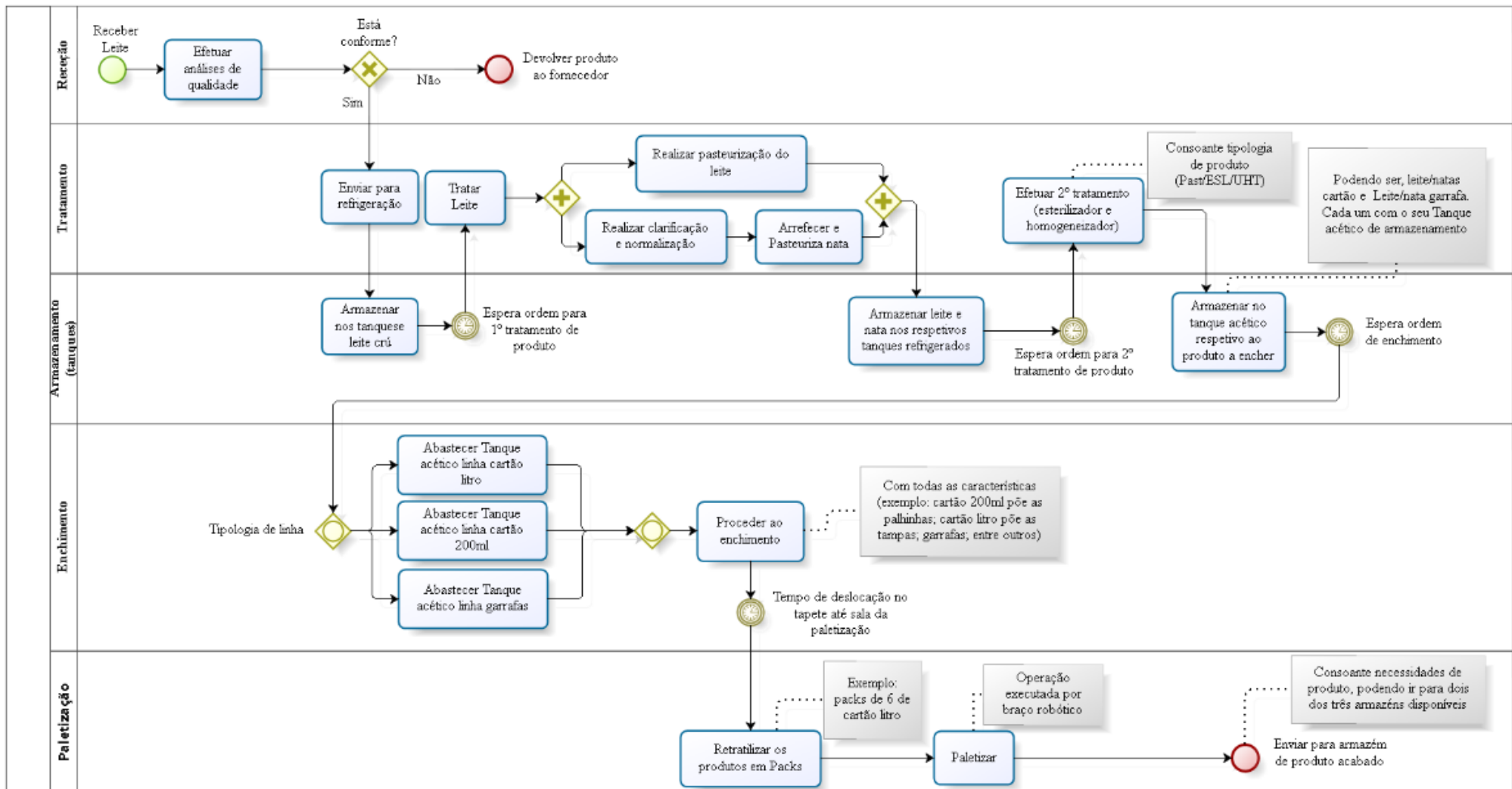


Figura 1 - Macroprocesso de transformação de leite da unidade industrial

#### 4.2.2. Descrição do Processo

O Macroprocesso da unidade fabril iniciasse com a recepção do leite em natureza (ou leite cru na sua outra denominação), sendo, posteriormente, armazenado em silos refrigerados.

Após esta fase do processo, a matéria-prima é mantida nos silos de armazenagem até ser dada a ordem de tratamento da mesma. Dada esta ordem, o leite é então encaminhado por processos automáticos e sincronizados para os equipamentos de Pasteurização em que, simultaneamente, é realizado também o processo de clarificação/normalização, que consiste na remoção de partículas em suspensão existentes no leite, na separação da nata e do leite e no ajuste do teor de matéria gorda (como output: leite gordo, meio gordo ou magro).

A nata, resultante da normalização do leite, é depois arrefecida e pasteurizada e enviada para tanques refrigerados dedicados à mesma por forma a manter as suas características e padrões de qualidade.

No caso do leite temos como categorias maioritárias a do: leite pasteurizado (utilizado, por exemplo, na produção do leite do dia); Leite ESL ou leite de alta pasteurização (utilizado para leites selecionados); ou o Leite UHT. Nestas categorias de produto existem, respetivamente e por ordem crescente, um tratamento mais exigente ao nível de temperaturas e de tempo de processamento. Assim, o produto estará exposto a uma determinada temperatura durante o período que o tratamento requer. Estes fatores têm uma consequência direta na validade do produto, que deriva da capacidade do tratamento destruir os microrganismos esporulados residuais e os seus esporos, para que as suas alterações químicas, físicas e organoléticas sejam mínimas. Para este efeito é utilizado um esterilizador. Este é um ponto de dispersão no processo. Tendo em conta a especificidade de cada produto final (exemplo: Leite ESL ou UHT) serão necessários leites com tratamentos iniciais diferentes, que terão zonas ou momentos de enchimento também diferentes.

Tanto as referências da categoria ESL (Extended Shelf Life) e UHT (Ultra High Temperature) serão sujeitas a uma fase de processo extra denominada de homogeneização, tendo como objetivo desintegrar e dividir finamente os glóbulos de gordura no leite para que esta fique distribuída de forma igualmente dispersa. Este passo é necessário pois a gordura em si pesa menos e, por isso, poderá com facilidade ascender à superfície de forma separada do resto.



No final dos tratamentos necessários, o leite é armazenado em diferentes tanques acéticos organizado por categorias tanto relativo ao seu teor de gordura como ao nível dos tratamentos nos mesmo realizados. Tanto o leite como a nata ficam a aguardar nova requisição de matéria-prima para enchimento.

Aquando a ordem de enchimento de determinada referência, o sistema reconhece qual a categoria de leite e qual a família a que pertence, tendo como consequência o delinear para que equipamentos terá de ser enviado.

No início da linha de cada uma das famílias existem tanques acéticos com capacidades superiores às capacidades de enchimento dos equipamentos anteriores (já considerando uma possível fase de expansão/incrementação de capacidade). Os tanques acéticos são recipientes com capacidade, temperatura e atmosfera próprias, com capacidade de manter as propriedades do produto que temporariamente detém. Estes tanques têm também períodos de limpeza e de esterilizações específico por forma a garantir a sua higienização, mas, caso o enchimento seja em contínuo, ou seja, de artigos com a mesma receita, exemplo leite meio-gordo de duas marcas diferentes, estes poderão aproximar-se de valores nulos. Só com alterações para produtos com receitas diferentes é que terá de se tomar as devidas precauções e higienizações.

Depois do enchimento (sendo nas linhas de cartão, garrafas ou manteiga) existem braços robóticos que irão realizar a paletização dos produtos já reutilizados (processo de envolver os produtos em plástico e, por temperatura controlada, criar packs de produtos - exemplo: os packs de seis litros de leite).

Depois da paleta construída existem tapetes que a levarão para uma plataforma que irá filmar a paleta com um método inovador e pouco utilizado em Portugal (devido ao investimento associado). É um processo de Manga Strecht: é como que um capuz de plástico com diâmetro menor que o da paleta (que o equipamento lê, calcula e corta automaticamente) e que depois de esticado é inserido na paleta. Quando toda a paleta está envolvida os braços mecânicos libertam o plástico e, pelo seu diâmetro menor, este adapta-se à mesma não necessitando de qualquer tipo de fonte de calor para moldar o plástico, que é uma boa prática na indústria alimentar.

Na fase final da linha, tendo por base a categoria e família do produto, o sistema (SAP) tem a capacidade de perceber a que temperatura deverá estar para manter a integridade total do produto. Existem três armazéns para produto acabado: frio negativo (-22c°); frio positivo (de 2°c a 6°c); temperatura ambiente.

O transporte desta fase até ao *buffer* de pré-armazenagem é realizado por tapetes industriais e, dependendo do armazém, utilizar-se-ão diferentes equipamentos para alocação da paleta ao sítio específico de armazenamento. O processo acaba com o armazenamento efetivo do produto.

### 4.3. Modelo matemático

Neste subcapítulo irá ser apresentado o modelo em programação linear inteira mista que foi desenvolvido. Primeiramente serão descritos os pressupostos que foram tidos em consideração no desenvolvimento do referido modelo bem como definidos os conjuntos, os parâmetros e as variáveis de decisão a serem utilizadas no modelo.

#### 4.3.1. Pressupostos

- O objetivo do modelo que está a ser aqui desenvolvido prende-se com a otimização do planeamento e sequenciamento de produção que visa minimizar os tempos de *setup* dos equipamentos de enchimento, ou seja o tempo que é utilizado na troca de embalagens, matéria-prima e, até, limpeza. Sendo este tempo otimizado nos equipamentos que detêm o constrangimento do processo (enchimento) por consequência as restantes partes do processo serão também otimizadas;
- Nesta fase de enchimento, está contemplado o abastecimento dos tanques bem como o enchimento propriamente dito. Contudo, dado não só a velocidade de abastecimento do tanque como também o facto o procedimento de enchimento propriamente dito se iniciar assim que o tanque começa a ser abastecido, o tempo de processamento de cada produto contabiliza apenas o tempo de enchimento;
- O modelo foi desenvolvido tendo como exemplo 4 gamas de produtos distintos: 1) Cartão litro, 2) cartão 200 ml, 3) garrafas PET e 4) Embalagens da manteigaria. Contudo, de forma a que o mesmo possa ser utilizado para outras gamas de produtos da mesma natureza, na formulação foram consideradas  $L$  gamas de produtos;
- Dentro de cada gama poderão existir mais que um produto, por exemplo leite magro, gordo, leite com chocolate, etc. O conjunto de produtos, dentro de cada gama, é designado  $P_l, l \in L$ ;

- Para cada gama de produtos, existe uma linha de enchimento dedicada. Todas as linhas têm o mesmo *modus operandis*, podendo estar em processamento simultâneo;
- Em cada linha de enchimento, pode existir uma ou mais máquinas, com capacidades de processamento distintas. Contudo, considera-se que estas não podem estar a operar em simultâneo. O conjunto de máquinas disponíveis dentro de cada gama designa-se por  $M_l$ ,  $l \in L$ ;
- Para cada máquina, é conhecida a velocidade de processamento, dada em litros por minuto. Para efeitos de modelação essa velocidade será convertida em tempo de processamento por litro, expresso em minutos (exemplo: se a velocidade é 100 litros por minuto, então o tempo de processamento por litro é 1/100 minutos);
- As máquinas podem estar sujeitas a operações de limpeza. Considera-se que essas limpezas são sempre programadas para ocorrer ao final do dia. Para além disso, as operações de limpeza numa determinada linha de enchimento obrigam à paragem dessa linha de enchimento, durante o período em que a limpeza ocorre;
- O horizonte de planeamento é expresso em  $H$  períodos, em que  $|H| \geq 1$ , representando semanas, e cada período é, por sua vez, dividido em  $D$  subperíodos, em que  $|D| \geq 1$ , representando dias. Desta forma, o número de dias de produção irá ser representado por  $PD = \{1, 2, \dots, |H| \times |D|\}$ . A título de exemplo, se pretendermos realizar um planeamento a quatro semanas ( $|H|=4$ ) e assumindo sete dias de produção ( $|D|=7$ ), em cada semana, teremos  $PD = \{1, 2, 3, \dots, 28\}$ . Adicionalmente,  $PrD$  representa o conjunto de dias de procura;
- Tendo em consideração as especificações da indústria e a metodologia de trabalho da empresa em causa, foi considerado um dia de trabalho de 24 horas com 60 minutos em cada hora, ou seja, existem disponíveis diariamente  $24 \times 60 = 14400$  minutos para efeitos de processamento;
- O enchimento de um determinado produto só pode ser realizado, no máximo, uma vez por dia;

- Para efeitos de formulação, dentro de cada uma das gamas de produtos  $l \in L$  irá ser considerado um produto fictício, designado por  $0^l$ , que marca o início e o fim de qualquer sequência de processamento de produtos de uma determinada gama; De ora em diante, e para efeitos de simplificação, irá considerar-se que cada conjunto  $P_l$ , já integra esse produto fictício. Realça-se que, por ser um produto fictício, valor de todos os parâmetros de *input* do modelo a ele associados será sempre 0

Para além dos conjuntos atrás mencionados, o modelo obrigou à definição dos seguintes parâmetros:

- $Dem_{dpl}$ - Procura, em litros, do produto  $p \in P_l$ ,  $\forall l \in L$ , no dia  $d \in PrD$ ;
- $\delta_{dml}$ - parâmetro binário que assume o valor 1 quando a máquina  $m \in M_l$ ,  $l \in L$  vai estar sujeita a um processo de limpeza no dia  $d \in PD$ , e 0 caso contrário;
- $ST\_Clean_{dml}$ - representa a hora de início, em minutos, do processo de limpeza no dia  $d \in PD$  para a máquina  $m \in M_l$ ,  $\forall l \in L$ ;
- $PT_{jml}$ - Tempo de processamento do produto  $j \in P_l$  na máquina  $m \in M_l$ ,  $l \in L$  (minutos/litro);
- $ChTime_{jil}$ - representa o tempo, em minutos, requerido para a troca do enchimento do produto  $j \in P_l$  para o produto  $i \in P_l$ ,  $i \neq j$ ,  $\forall l \in L$ .

#### 4.3.2. Variáveis de decisão

Na definição do modelo, foram consideradas as seguintes variáveis de decisão:

- $X_{dd1lj}$ - Quantidade de produto  $j \in P_l$ , em litros, a ser produzido no dia  $d \in PD$  para satisfazer a procura do dia  $d1 \in PrD$ ,  $\forall l \in L$ ;
- $Q_{djml}$ - Quantidade de produto  $j \in P_l$ , em litros, a ser produzido no dia  $d \in PD$  na máquina  $m \in M_l$ ,  $\forall l \in L$ ;
- $Z_{djml}$ - variável binária que assume o valor 1 sempre que o produto  $j \in P_l$ , for produzido no dia  $d \in PD$  na máquina  $m \in M_l$ ,  $\forall l \in L$ , e 0 caso contrário;
- $\theta_{dijl}$ - variável binária que assume o valor 1 sempre que no dia  $d$ , o produto  $j \in P_l$  for produzido a seguir ao produto  $i \in P_l$ ,  $i \neq j$ ,  $\forall l \in L$ ;

- $TPT_{djl}$ - Tempo total de processamento, em minutos, do produto  $j \in P_l$  no dia  $d \in PD$ ,  $\forall l \in L$ ;
- $ST_{djl}$ - Hora de início, expressa em minutos, do enchimento do produto  $j \in P_l$  no dia  $d \in PD$ , com  $l \in L$ ;
- $FT_{djl}$ - Hora de fim, expressa em minutos, do enchimento do produto  $j \in P_l$  no dia  $d \in PD$ , com  $l \in L$ .

### 4.3.3. Função Objetivo

Em programação linear a função objetivo visa determinar qual o propósito da criação do modelo em si, é a função que transmite os possíveis ganhos futuros à organização.

Como dito anteriormente, o objetivo do modelo que está a ser aqui desenvolvido prende-se com a otimização do planeamento e sequenciamento de produção que visa minimizar os tempos de *setup* dos equipamentos de enchimento, ou seja o tempo que é utilizado na troca de embalagens, matéria-prima e, até, limpeza. Sendo este tempo otimizado nos equipamentos que detêm o constrangimento do processo (enchimento) por consequência as restantes partes do processo serão também otimizadas.

Segundo Doganis and Sarimveis (2008), existem muitas indústrias em que estes tempos não podem ser negligenciados, dando como exemplos a indústria dos laticínios, têxtil, de impressão, plásticos, química, de papel e da indústria automóvel.

Neste modelo, a função objetivo é definida por:

$$\text{Min } Z = \sum_{l \in L} \sum_{d \in PrD} \sum_{i \in P_l} \sum_{j \neq i: j \in P_l} \text{ChTime}_{ijl} \theta_{dijl} \quad (1)$$

A equação (1) minimiza o tempo total, em minutos, gasto na troca de produtos.

#### 4.3.4. Restrições

De forma a explicitar todas condicionantes associadas ao problema em estudo, foram definidas as seguintes restrições:

$$\sum_{l=1,2,3} \sum_{j \in P} \sum_{\substack{d1 < d \\ d1 \in PrD}} X_{dd1jl} = 0, \forall d \in PD \quad (2)$$

$$\sum_{d \in PD: d1 \geq d} X_{dd1jl} = Dem_{d1pl}, \forall d1 \in PrD, \forall p \in P_l, \forall l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{m \in M_j} Z_{djml} \leq 1, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD \quad (4)$$

$$Q_{djml} \leq BigM Z_{djml}, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall m \in M_l, \forall d \in PD \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{d1 \in PrD \\ d1 \geq d}} X_{dd1jl} = \sum_{m \in M_l} Q_{djml}, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD \quad (6)$$

$$TPT_{djl} = \sum_{m \in M_l} Q_{djml} PT_{jm}, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD \quad (7)$$

$$FT_{djl} \leq 14400, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD \quad (8)$$

$$FT_{djl} = ST_{djl} + TPT_{djl}, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD \quad (9)$$

$$\sum_{j \in P_l} \theta_{do'ljl} = \sum_{j \in P_l} \theta_{ajo'l}, \forall l \in L, d \in PD \quad (10)$$

$$\sum_{(k,j) \in P_l \times P_l} \theta_{dkjl} = \sum_{(i,k) \in P_l \times P_l} \theta_{dikl}, \forall l \in L, \forall i \in P_l, \forall k \in P_l, \forall d \in PD \quad (11)$$

$$ST_{djl} \geq ST_{dil} + TPT_{dil} + ChTime_{ijl} + BigM(\theta_{aijl} - 1), \forall l \in L, \forall i, j \in P_l, i \neq j, \forall d \in PD \quad (12)$$

$$FT_{djl} \leq \sum_{m \in M_j} (ST_{clean_{dml}} \delta_{dml} + BigM(1 - \delta_{dml})), \forall l \in L, \forall d \in PD, \forall j \in P_l \quad (13)$$

$$X_{ddlj} \geq 0, \forall l \in L, \forall j \in P, \forall d \in PD, \forall d1 \in PrD \quad (14)$$

$$Q_{djml} \geq 0, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD, \forall m \in M_j \quad (15)$$

$$TPT_{djl}, FT_{djl}, ST_{djl} \geq 0, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD \quad (16)$$

$$Z_{djml} \in \{0,1\}, \forall l \in L, \forall j \in P_l, \forall d \in PD, \forall m \in M_j \quad (17)$$

$$\theta_{aijl} \in \{0,1\}, \forall l \in L, \forall j, i \in P_l \cup \{0\}, i \neq j, \forall d \in PD \quad (18)$$

As restrições (2) impedem a satisfação da procura com a produção de um dia posterior à procura enquanto que as (3) garantem a satisfação da procura. As restrições (4) impõem que cada produto de uma determinada gama só possa ser processado, no máximo, uma vez por dia e, por isso, garantem que as máquinas disponíveis naquela linha não podem operar em simultâneo. As restrições (5) ditam que a produção de um determinado produto numa determinada máquina só pode ocorrer nos dias em que esse produto seja selecionado para produção nessa máquina. As restrições (6) estabelecem a relação entre a quantidade total produzida diariamente e a quantidade produzida por cada máquina, para cada produto e em cada dia de produção. As restrições (7) definem o tempo total de processamento dum produto num dia. As restrições (8) restringem a produção diária a um período de 24 horas. As restrições (9) garantem que a hora de fim de uma determinada tarefa depende da sua hora de início e do seu tempo de processamento. As restrições (10) e (11) são restrições de conservação de fluxo e que neste caso garantem que o sequenciamento de processamentos se inicia e finda com o produto 0<sup>1</sup> e que para cada processamento existem outros dois que são o seu antecessor e predecessor imediatos. As restrições (12) não só impõem condições à hora de início de um processamento, tendo em conta o processamento que a antecede como também, em conjunção com as restrições (10) e (11) impede a formação de subsequências de processamentos. As restrições (13) impedem o início de processamento de produtos enquanto, pelo menos, uma das correspondentes máquinas estiver a ser sujeita a uma operação de limpeza. O domínio de variação das variáveis está definido nas restrições (14) a (18).





## Conclusões

Este capítulo pretende fazer uma conclusão do trabalho desenvolvido, salientado os resultados obtidos, as limitações aos resultados alcançados e disponibilizar pistas para investigações futuras.

### Resultados obtidos

Tendo analisado e modelado os pressupostos, função objetivo, variáveis de decisão e restrições, estão disponíveis todos os componentes necessários para a programação do modelo em si. Foram, então, descritos doze pressupostos; cinco parâmetros para o mesmo; sete variáveis de decisão; uma função objetivo; e dezassete restrições.

Em conjunto estes formam um modelo que pretende otimizar o planeamento e sequenciamento de produção na nova unidade industrial da empresa em estudo considerando L linhas de enchimento independentes.

O resultado deste estudo foi apresentado ao Diretor Geral da empresa. Da conversa que se seguiu foi possível compreender que esta seria uma ferramenta útil e que há uma boa probabilidade de vir a ser adotada. Caso tal venha a ocorrer, a implementação será realizada em parceria com técnicos internos da empresa, não só por ser mais favorável analisar as ferramentas que o Grupo já possui (em termos de *software*, em modo de exemplo), mas também garantindo a compatibilidade com os recursos e licenças do Grupo. Isto significa que, com o presente estudo, se produziu a base do modelo matemático que irá possibilitar a otimização do planeamento e sequenciamento de produção da nova unidade fabril. Consoante os Sistemas disponíveis na empresa irão ser realizados estudos suplementares com apoio das várias áreas intervenientes (na próxima etapa em especial a equipa de IT).

Não tendo havido implementação não é possível avaliar a verdadeira extensão do impacto do recurso ao modelo proposto na qualidade do planeamento e sequenciamento da produção e, com isso, na qualidade do serviço prestado pela empresa aos clientes internos do Grupo, medido em termos de disponibilidade do produto. No entanto, é seguro afirmar que, dada a validade interna do modelo e a validade da sua construção, a disponibilidade de produto para entrega, no momento, quantidade e qualidade pretendidos, será mais elevado.

## **Limitações dos Resultados**

O modelo matemático anteriormente apresentado não foi implementado nem testado. Tal deverá ser realizado, futuramente, tendo por base *software* disponível na empresa. No entanto, em termos teóricos, o modelo é fidedigno e adaptado à realidade atual da empresa. Contudo, e dado que não foi testado, é natural que se tenham de vir a ser realizados ajustamentos ao mesmo no processo de inserção deste nos recursos do Grupo.

A função definida é adequada à empresa na qual foi desenvolvida, tendo sido consideradas não só fontes de dados fidedignas, mas também as especificidades do processo e dos seus equipamentos. Pela sua especificidade, e de acordo com Yin (2014), o processo terá validade interna e o resultado obtido adequa-se à empresa onde foi desenvolvido, mas não poderá ser expandido para outras empresas sem que sejam realizados os devidos ajustamentos de customização.

## **Pistas de Investigação Futura**

Qualquer estudo, durante a sua realização, dá origem a que outros tópicos de investigação sejam identificados, mas, por estarem fora do âmbito inicial do estudo, não são concretizados.

A primeira pista de investigação futura prender-se-ia com a inserção, no modelo, das futuras linhas, já planeadas, de produção pelo facto de criar um modelo agregado de toda a panóplia possível de produtos a produzir por esta unidade. Na prática seria de valor acrescentado abordar as referências dos iogurtes e queijos (montagem das linhas produtivas num intervalo de dois a três anos) com as suas diversidades e especificidades de processo.

Como já abordado está já planeada uma expansão futura de capacidade. Tal envolve repensar os equipamentos atuais. Nessa altura, com maior volume de procura, seria interessante averiguar a possibilidade de realizar *clusters* de produção e diferentes formas de organizar outros equipamentos, que estavam fora do âmbito deste projeto, para poderem servir diferentes famílias. Isto poderia passar por analisar os fluxos humanos em fábrica e de requisição de materiais de embalamento ao armazém (que é partilhado para as várias linhas). Apesar de esta área do processo não se apresentar como uma restrição à capacidade industrial, esta talvez pudesse ter ganhos de recursos em vários setores.

## Referências

- Doganis, Philip, & Haralambos Sarimveis. 2008. “Optimal Production Scheduling for the Dairy Industry.” *Annals of Operations Research* 159(1): 315–31.
- Dorfman, R., Samuelson, P., & Solow, R. (1987). *Linear programming and economic analysis*. New York: Dover Publications.
- Entrup, M., Günther, H., Beek, P., Grunow, M., & Seiler, T. (2005). Mixed-integer linear programming approaches to shelf-life-integrated planning and scheduling in yoghurt production. *International Journal Of Production Research*, pp. 5071-5100.
- Fernandez, Javier D., & Beatriz Angel. 2014. “Optimization Model for the Dairy Sector.” In *IEOM 2014 - 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Proceeding*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Floudas, Christodoulos A., & Xiaoxia Lin. 2005. “Mixed Integer Linear Programming in Process Scheduling: Modeling, Algorithms, and Applications.” *Annals of Operations Research* 139(1): 131–62.
- Frazão, Ana Pascoal. 2011. *Planeamento Agregado de Produção e Distribuição Da SECIL, S.A.: Um Modelo de Optimização Em Programação Linear Inteira Mista*.
- Georgiadis, G., Ziogou, C., Kopanos, G., Garcia, M., Cabo, D., Lopeze, M., & Georgiadis, M. (2018). Production Scheduling of Multi-Stage, Multi-product Food Process Industries. *Computer Aided Chemical Engineering*, pp. 1075-1080.
- Hitomi, Katsundo. 1996. *Manufacturing Systems Engineering A Unified Approach to Manufacturing Technology, Production Management, and Industrial Economics*. Second. ed. Taylor & Francis Ltd.
- Instituto Nacional de Estatística. (2016). *Estatísticas Da Produção E Consumo De Leite 2015*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I. P.
- Jain, Vipul, & Ignacio Grossmann. 2000. “A Disjunctive Model for Scheduling in a Manufacturing and Packing Facility with Intermediate Storage.” *Optimization and Engineering* 1(2): 215–31.
- Javanmard, Habibollah, & Kianehkandi. 2011. *Optimal Scheduling in a Milk Production Line Based on Mixed Integer Linear Programming*.
- Johnston, Robert, & Graham Clark. 2005. “Service Operations Management : Improving Service Delivery.” In *Service Operations Management : Improving Service Delivery*, , 20–56.
- Kallrath, Josef. 2002. “Planning and Scheduling in the Process Industry.” *OR Spectrum* 24(3): 219–50.

- Kopanos, Georgios M., Carlos A. Méndez, & Luis Puigjaner. 2010. "MIP-Based Decomposition Strategies for Large-Scale Scheduling Problems in Multiproduct Multistage Batch Plants: A Benchmark Scheduling Problem of the Pharmaceutical Industry." *European Journal of Operational Research* 207(2): 644–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.06.002>.
- Kopanos, Georgios M., Luis Puigjaner, & Michael C. Georgiadis. 2010. "Optimal Production Scheduling and Lot-Sizing in Yoghurt Production Lines." *Computer Aided Chemical Engineering* 28(C): 1153–58.
- Leewattanayingyong, Kan, & Apichai Ritvirool. 2007. *Production Planning in the Milk Industry Using Integer Linear Programming*.
- Marinelli, Fabrizio, Maria Elena Nenni, & Antonio Sforza. 2007. "Capacitated Lot Sizing and Scheduling with Parallel Machines and Shared Buffers: A Case Study in a Packaging Company." *Annals of Operations Research* 150(1): 177–92.
- Marketline. 2014. "Dairy in Portugal." (November): 1–38.
- Matousek, J., & Gärtner, B. (2007). *Understanding and using linear programming*. Berlin: Springer.
- Pochet, Yves, & Laurence Wolsey. 2012. "Manufacturing Resource Planning." In *Lean Production*, Springer, 55–71.
- Pradenas, Lorena, César Alvarez, & Jacques A Ferland. 2009. *A Solution for the Aggregate Production Planning Problem in a Multi-Plant, Multi-Period and Multi-Product Environment*.
- Reid, R. Dan, & Nada R. Sanders. 2011. *Operations Management*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ribeiro de Carvalho, Mariana. 2015. *The Optimization of Production Planning and Scheduling: A Real Case Study in the Ice-Cream Industry*.
- Slack, Nigle, Alistair Brandon-Jones, & Robert Johston. 2013. "Operations Management." In *Operations Management in the Travel Industry*, CABI, 68–92.
- Yin, Robert K. 2014. *Case Study Research : Design and Methods*.