

**MESTRADO**  
MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO  
ECONÓMICA E EMPRESARIAL

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
RELATÓRIO DE ESTÁGIO

OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO PARA O  
DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS DE PRODUÇÃO NA  
*SCIENCE4YOU*

INÊS SOARES PINTO

MARÇO - 2019

**MESTRADO EM**  
**MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO**  
**ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
RELATÓRIO DE ESTÁGIO

OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO PARA O  
DIMENSIONAMENTO DAS LINHAS DE PRODUÇÃO NA  
*SCIENCE4YOU*

INÊS SOARES PINTO

**ORIENTAÇÃO:**

PROFESSORA FILIPA CARVALHO  
DR. RICARDO BRITO  
DR.<sup>a</sup> MELISSA GAMA

MARÇO - 2019

## Agradecimentos

Durante o período de realização do presente trabalho final de mestrado, bem como de todas as diferentes etapas do meu percurso académico, pude contar com o apoio de algumas pessoas que, através do seu contributo, me motivaram a concluir este relatório.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha mãe, ao meu pai e à minha irmã, por todas as palavras de incentivo e pelo apoio incondicional que sempre me deram.

À professora Filipa Carvalho pela excelente orientação, pela sua generosa disponibilidade e paciência, em todas as fases do trabalho.

A toda a coordenação do mestrado de Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial, e ao Instituto Superior de Economia e Gestão, pela oportunidade, e em especial à professora Cândida Mourão, pelos conselhos e apoio.

À *Science4you*, em especial ao Dr. Ricardo Brito e à Dr.<sup>a</sup> Melissa Gama, pela oportunidade, ajuda e disponibilidade.

À professora Graça Leão, pelas sugestões, pela ajuda e por todas as palavras de apoio em momentos de desânimo.

Por fim, a toda a minha restante família e amigos, em especial à Marta, à Ana, à Mariana, à Daniela e ao Diogo por nunca me deixarem desistir.

## Resumo

A *Science4you* S.A. é uma empresa portuguesa, com sede em Loures (MARL), que produz brinquedos científicos e educativos e presta outros serviços para crianças. A fábrica conta com 17744 referências, sendo 6641 referentes a produto final.

A produção desta empresa está dividida por secções. Na secção de produção primária são enchidos os frascos. Na secção de produção intermédia é feita a etiquetagem e a arrumação dos diferentes componentes em sacos. As caixas são montadas nas duas secções de produção final. O produto final é classificado de acordo com três níveis de prioridade: prioridade elevada, para os produtos de campanha; prioridade intermédia para os produtos de *stock*; e prioridade baixa, para os produtos de *buffer stock*. A produção é orientada de acordo com objetivos diários, não existindo, atualmente, um procedimento sistemático de afetação dos recursos humanos disponíveis.

Com o objetivo de encontrar uma afetação diária dos trabalhadores às diferentes tarefas envolvidas na produção, propõe-se uma abordagem de programação linear por metas hierarquizadas que minimiza os desvios entre os objetivos de produção e a produção efetiva.

O modelo é aplicado a um dia de produção, e os resultados obtidos indiciam que esta abordagem poderá ser útil no cumprimento dos objetivos de produção.

**Palavras-Chave:** Programação Linear; Otimização Multiobjetivo; Metas Hierarquizadas; Dimensionamento de Linhas de Produção.

## Abstract

Science4you S.A. is a Portuguese company, based in Loures (MARL), that produces scientific and educational toys and provides other services for children. The factory has 17744 references, 6641 of these are final products.

The production is divided into sections. In the primary production section, the vials are filled. In the intermediate production section, the labeling and storage of the different components in bags is carried out. The boxes are assembled in the two final production sections. The final product is classified according to three priority levels: high priority for the campaign products; intermediate priority for stock products; and low priority, for buffer stock products. The production is oriented according to daily objectives, and there is currently no systematic procedure for allocating available human resources.

In order to find a daily allocation of workers to the different tasks involved in the production, a goal programming approach is proposed by hierarchical goals that minimizes deviations between production objectives and actual production.

The model is applied to a day of production and the results indicate that this approach may be useful in meeting the production objectives.

**Keywords:** Linear Programming; Multi-objective Optimization; Hierarchical Goals; Sizing of Production Lines.

## Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Siglas	vii
1. Introdução	1
2. Caracterização da Empresa <i>Science4you</i>	2
3. Definição do Problema	6
4. Revisão de Literatura	8
4.1. <i>Planeamento de Recursos Humanos</i>	8
4.2. <i>A História do Planeamento de Recursos Humanos</i>	9
4.3. <i>A Abordagem de Programação por Metas Hierarquizadas</i>	10
5. Modelo de Programação Linear por Metas Hierarquizadas para o Dimensionamento das Linhas de Produção na <i>Science4you</i>	11
6. Metodologia e Dados	15
6.1. <i>Exemplo</i>	16
6.2. <i>Caso Real</i>	22
7. Análise dos Resultados	26
8. Conclusões e Trabalho Futuro	29
Referências Bibliográficas	30
Anexos	31
<i>Anexo I. Folha de cálculo do Excel correspondente ao modelo real</i>	31
<i>Anexo II. Modelo real no OpenSolver</i>	32

## Lista de Figuras

Figura 1: Ilustração do modelo simplificado sem fórmulas _____	18
Figura 2: Ilustração do modelo simplificado com fórmulas _____	19
Figura 3: Ilustração do modelo no Solver _____	20

## Lista de Tabelas

Tabela I: Ordens de produção feitas para o dia 29 de março de 2018 na fábrica da Science4you _____	23
Tabela II: Objetivos de produção e produção real do dia 29 de março de 2018 na fábrica da Science4you em unidades de produto _____	26
Tabela III: Objetivos de produção e solução do modelo para o dia 29 de março de 2018 na fábrica da Science4you em unidades de produto _____	28

## Lista de Siglas

CEO – *Chief Executive Officer.*

MARL – Mercado Abastecedor da Região de Lisboa.

PF – Produção Final.

PI – Produção Intermédia.

P1 – Prioridade 1.

P2 – Prioridade 2.

P3 – Prioridade 3.

S.A. – Sociedade Anónima.

## 1. Introdução

A *Science4you* S.A. é uma empresa cuja principal atividade diz respeito à produção de brinquedos. Como tal, apresenta diversas necessidades de produção, ou seja, é fundamental produzir uma determinada quantidade de diferentes brinquedos, tendo em conta as encomendas que são registadas diariamente. No último ano, a *Science4you* observou um crescimento significativo da sua atividade, com um aumento de cerca de 46% dos seus proveitos operacionais no primeiro semestre de 2017, face ao período homólogo.

No processo produtivo da *Science4you*, é feita uma distinção entre produtos. Os produtos que são designados de produtos de campanha, ou seja, para os quais a empresa se encontra a fazer algum tipo de promoção adicional, são considerados prioritários e, por essa razão, essas necessidades devem ser satisfeitas em primeiro lugar. Só em seguida são considerados os restantes produtos. Esta distinção será detalhada posteriormente neste relatório.

Aliando os conhecimentos adquiridos no âmbito do mestrado de Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial, do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa, nomeadamente de Programação Linear e da ferramenta *Solver* do *Microsoft Office Excel*, aos dados disponibilizados pela *Science4you* S.A., o presente trabalho final de mestrado tem como propósito a elaboração e implementação de um modelo matemático que permita, de forma automática e sistematizada, alocar os vários trabalhadores da fábrica às diferentes tarefas, considerando as respetivas necessidades, prioridades e restrições.

## 2. Caracterização da Empresa *Science4you*

A *Science4you* S.A. é uma empresa portuguesa, com sede em Loures (MARL), que produz brinquedos científicos e educativos e presta outros serviços para crianças, como festas de aniversário, campos de férias e atividades de animação científica. Os produtos e serviços da empresa destinam-se essencialmente a crianças até aos 14 anos.

Os brinquedos da *Science4you* são pensados, desenvolvidos, produzidos e comercializados pela empresa (*Science4you*). Atualmente, é considerada a maior empresa produtora de brinquedos em Portugal e uma das principais desta área na Europa, exportando para mais de 35 países e com escritórios em Londres e em Madrid.

A missão da empresa é “Melhorar os níveis de educação na sociedade através do desenvolvimento de brinquedos e jogos que permitam às crianças aprender enquanto brincam” (*Science4you*). Quanto à visão, a *Science4you* ambiciona “Ser uma das três maiores marcas de brinquedos da Ibéria, vendendo para todo o Mundo enquanto nos divertimos a fazê-lo!”. A procura por este objetivo assenta em valores como a Excelência, o Empenho e a Eficiência.

Com os brinquedos da *Science4you*, as crianças têm um primeiro contacto com a ciência, o que lhes permite explorar e elaborar experiências de forma segura. São várias as áreas abordadas: biologia, química, física, cosmética, geologia, etc.

Quanto aos outros serviços prestados, a *Science4you* aposta na formação de crianças e adultos, organizando festas de aniversário para crianças, onde se podem fazer experiências, como criar pega-monstros ou recriar a erupção de um vulcão; campos de férias científicos de verão, onde as crianças realizam diversas atividades lúdicas relacionadas com Biologia, Geologia, Química, etc.; por fim, são também disponibilizados cursos de formação para

animadores científicos, para todos os jovens e adultos que queiram integrar o desenvolvimento das restantes atividades disponibilizadas pela empresa.

A ideia que tornou esta empresa real foi fruto de uma parceria entre o atual CEO, Miguel Pina Martins, e a Faculdade da Ciências da Universidade de Lisboa. Foi no final do ano de 2008 que a *Science4you* iniciou efetivamente a sua atividade.

A *Science4you* conta com uma equipa bastante jovem. Da mesma fazem parte cientistas, engenheiros e gestores, para além de todos os funcionários afetos ao processo produtivo e funcionários administrativos. No total, a empresa conta com 356 trabalhadores (54,5% do sexo feminino e 45,5% do masculino) e a média de idades é de, aproximadamente, 30 anos. Na altura da preparação para a época natalícia, período com maior quantidade de encomendas, a empresa conta com um número bastante mais elevado de trabalhadores, apenas temporariamente, para ser então possível responder a toda a procura.

A empresa já participou em diversas feiras internacionais desde 2012, como a *London Toy Fair*, a *Nuremberg International Toy Fair*, a *Hong Kong Toys & Games Fair*, a *Intergift Madrid*, etc., e conta também com diversos prémios e distinções na área do empreendedorismo. Todas estas participações têm permitido à *Science4you* aumentar a rede de contactos e criar novos parceiros internacionais.

O projeto de internacionalização da empresa teve início em 2010 com o objetivo de exportar os produtos, inicialmente com foco no nosso país vizinho, Espanha. Os eixos de atuação no projeto de internacionalização, são, segundo a empresa: a “Aposta no desenvolvimento de novos produtos, únicos, inovadores e de forte cariz educativo, em parceria com a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa”; “Aposta na melhoria da qualidade dos produtos, através do investimento em equipamentos de *assembling* inerentes à função logística”; “*Marketing* Internacional, com forte aposta na participação em Feiras

Internacionais em Espanha, Alemanha e Inglaterra, e no contacto pessoal com potenciais clientes” (*Science4you*). O projeto inseriu-se no âmbito do Programa Operacional Lisboa, financiado pelo QREN (Quadro de Referência Estratégica Nacional). Em 2010, a empresa iniciou as suas vendas no Brasil e em Angola, e em 2013 abriu os seus escritórios em Londres (já existiam escritórios também em Madrid desde 2011). Atualmente, as exportações são feitas para mais de 35 países, como Estados Unidos da América, Japão, Colômbia, Moçambique, França, Grécia e Polónia. Os clientes mais relevantes são: *Target* (Estados Unidos); *Imports Dragon* (Canadá); *Vivid*, *Smyths* e *Addoplay* (Inglaterra); *Juratoys* (França); *Proxy* (Escandinávia); *Trefl* (Europa de Leste) e *Saks* (Rússia).

A *Science4you* encontra-se em grande expansão, e, por essa razão, foram investidos três milhões de euros numa nova área de produção, situada no Mercado Abastecedor da Região de Lisboa, que funciona desde agosto de 2015 num espaço com oito mil metros quadrados. Para além deste armazém, a empresa conta com outro, na região de Lisboa (Forte da Casa), e ainda trabalha em parceria com duas outras empresas de armazenamento.

A empresa demonstra uma grande preocupação na valorização do mercado nacional. Cerca de 70% dos componentes utilizados pela empresa na produção de brinquedos provêm de empresas portuguesas.

A *Science4you* faturou 16,3 milhões de euros em 2016, mais 44% do que no ano anterior. No primeiro semestre do ano de 2017 a empresa entrou em 10 novos mercados: Marrocos, República Dominicana, Letónia, Estónia, Eslovénia, Croácia, Sérvia, Taiwan, Rússia e Bielorrússia, e 60% da faturação desse período teve origem no mercado externo. Assim, no primeiro semestre do ano de 2017, a empresa realizou vendas de 5,5 milhões de euros, o que significa um crescimento de 46% face ao período homólogo. De salientar a sazonalidade do negócio, onde 60% das vendas se realizam na época natalícia.

No que diz respeito ao funcionamento da fábrica e a todo o processo produtivo, a produção está dividida em várias secções. Na produção primária, onde são enchidos os frascos que integram, mais tarde, os brinquedos (pós como por exemplo bicarbonato de sódio), existem cinco secções: PI1, PI33, PI13, PI31 e PI34. Dentro deste grupo, as secções PI31 e PI34 trabalham com componentes líquidos, que podem contaminar ou ser contaminados, e, por essa razão, encontram-se fechadas e são tomadas as medidas de segurança e higiene necessárias para que não sejam comprometidas as condições de produção. Na produção intermédia, onde se encontram as secções PI14 e PI32, é feita a etiquetagem em quatro máquinas destinadas a esse efeito. Nas secções PI25 e PI30, também parte integrante da produção intermédia, encontra-se uma máquina que permite organizar vários componentes diferentes num só saco de forma automática e rápida. Por fim, as duas secções de produção final, PF01 e PF02, funcionam com vários funcionários a trabalhar num tapete rolante onde são montadas as caixas, inseridos nas mesmas todos os componentes do brinquedo, e, em seguida, embaladas por máquinas destinadas ao efeito. O código PI51 corresponde à produção feita em *outsourcing* e o PI50 corresponde a desproduções (termo usado pela empresa para situações onde é necessário realizar o processo inverso da produção de um brinquedo, de forma a reaproveitar os seus componentes para a produção de outros brinquedos).

Existe também na fábrica uma sala para o *Planning & Efficiency*; a zona de escritórios; a zona do *shipping*, onde são organizadas e colocadas no cais as encomendas para expedição; a zona de entradas, onde são recebidas as encomendas dos fornecedores; e a zona do armazém, onde são organizados em diferentes secções os produtos primários, os produtos intermédios e os produtos finais. A equipa de abastecimento é responsável por toda a organização do armazém, bem como por disponibilizar a todas as outras secções o *input* que necessitam consoante as ordens de produção. A fábrica conta com 17744 referências (1727 encontram-se inativas), sendo 6641 referentes a produto final.

Existem, na *Science4you*, 74 trabalhadores afetos ao processo produtivo. No entanto, existem, adicionalmente, cerca de 60 trabalhadores que executam também outras tarefas no armazém, como realizações de inventários permanentes, operações de abastecimento, receção e expedição de mercadoria, realização de logística inversa e manutenção das instalações. Estes 60 trabalhadores não estão diretamente relacionados com as tarefas desenvolvidas nas diferentes linhas de produção.

Como apoio ao funcionamento da fábrica (*fab4you*), são utilizados três *softwares*: Prodsmart, Xlog e PHC. No Prodsmart, que é um sistema para recolha de dados e otimização das linhas de produção, o departamento de *Planning & Efficiency* lança as ordens de produção que ficam então disponíveis em todas as outras secções. No Xlog, que serve de suporte à operação logística, é feita a gestão dos *stocks*. É neste programa que é possível aceder à informação das quantidades dos produtos disponíveis em *stock*, da sua localização no armazém, servindo também de auxílio na otimização do processo logístico, desde a receção da mercadoria até à sua expedição. Para todas as restantes tarefas de gestão, a empresa conta com o *software* PHC.

### 3. Definição do Problema

Neste capítulo será descrito o problema que o modelo a elaborar visa solucionar.

A fábrica da *Science4you*, *fab4you*, recebe, diariamente, ordens de produção que devem ser concluídas no dia em questão. Todas estas ordens de produção são, normalmente, introduzidas no *software* Prodsmart, antes do início do dia. Cada ordem de produção inclui o nome do produto, a sua respetiva referência, o nível de prioridade, a quantidade que se pretende produzir, a linha

de produção onde o produto irá ser produzido e também a hora de início e de fim da produção.

Observou-se que podem ocorrer ordens de produção que não são concluídas nos *timings* programados, sendo que algumas destas não chegam a ter início. Esta situação ocorre por uma das seguintes razões: alteração na ordem de prioridades previamente estabelecida, o que provoca alterações nas ordens de produção, ou atrasos na entrega de mercadoria/matéria-prima por parte de fornecedores, que não permite assim que algumas ordens de produção possam ser iniciadas. Após uma destas situações ter sido detetada, o departamento de *Planning* faz o seu reajuste.

Surge então a necessidade de compreender se é possível organizar os recursos humanos da fábrica, neste caso, os setenta e quatro trabalhadores afetos às linhas de produção, de forma a tornar a produção real tão próxima quanto possível da produção planeada.

A questão fulcral deste trabalho final de mestrado é, em suma: como distribuir os trabalhadores pelas tarefas de forma a minimizar o incumprimento do plano de produção.

Para a elaboração do modelo que irá procurar dar resposta a esta questão, serão usados alguns dados como *input*, enumerados em seguida:

- As necessidades de produção para o dia em questão;
- As linhas de produção onde serão produzidos os produtos;
- A capacidade de cada linha de produção;
- O número total de trabalhadores das linhas de atividade a considerar;
- A produtividade média dos trabalhadores;
- A existência de apenas um turno, das 9h às 18h.

Com esta informação, será elaborado um modelo, que terá como *output* a distribuição dos recursos humanos para as linhas de produção da empresa,

com o intento de minimizar o incumprimento total do plano de produção do dia em questão.

Para solucionar esta questão, será utilizado, neste trabalho, o conceito de Programação Linear, especificamente Programação Linear por Metas. No entanto, de forma a contextualizar o modelo a elaborar e a sua aplicação, surge a necessidade de definir alguns conceitos, nomeadamente o Planeamento de Recursos Humanos.

## **4. Revisão de Literatura**

### **4.1. Planeamento de Recursos Humanos**

O conceito de *Manpower Planning* tem sido alvo de estudo nos últimos anos e o seu papel tornou-se cada vez mais relevante e determinativo no sucesso de uma empresa. Todas as entidades empresariais operam com objetivos, restrições e a necessidade de adaptar os recursos disponíveis de uma forma eficiente, consoante os seus objetivos.

Segundo Robbins (1982), *Manpower Planning*, ou o Planeamento de Recursos Humanos, diz respeito a um processo onde uma empresa se assegura de que conta com o número e o tipo certo de funcionários, no local certo, no momento certo, capazes de pôr em prática as tarefas necessárias de forma a atingir o principal objetivo da entidade, da forma mais eficaz e eficiente possível.

O trabalho de um gestor numa empresa engloba diversas tarefas e responsabilidades. No entanto, se for negligenciada a necessidade de dedicar tempo ao planeamento e seleção dos funcionários, o restante será certamente afetado, impossibilitando assim o êxito da empresa.

Apesar de durante alguns anos ter sido menosprezada a importância deste tópico, tem vindo a observar-se uma crescente atenção nos últimos anos, em que as empresas e os seus gestores se aperceberam do impacto dos recursos humanos e do seu respetivo planeamento na *performance* da sua organização. Assim, segundo Okoye *et al.* (2007), cada vez mais empresas apostam num planeamento eficaz de recursos humanos e integram-no no planeamento estratégico das suas atividades.

O primeiro passo para um planeamento eficaz diz respeito ao conhecimento sobre o trabalho e as tarefas que integram o mesmo. O gestor de recursos humanos deve começar por uma descrição detalhada do trabalho em questão, de modo a ser possível enumerar, também detalhadamente, todas as capacidades e competências necessárias para o desempenhar.

## **4.2. A História do Planeamento de Recursos Humanos**

O Planeamento de Recursos Humanos atingiu uma maior relevância nos anos 60 e início dos anos 70, período onde, segundo Reilly (1996), com estabilidade económica e níveis baixos de desemprego, se observou uma escassez de oferta e foi necessário melhorar a forma como era aproveitada a mão-de-obra.

Nos últimos anos, a maior parte das empresas constatou que, com um planeamento certo de recursos humanos, estariam muito mais próximas de atingir os objetivos pretendidos. O contexto empresarial tem sofrido grandes alterações ao longo dos anos, o que irá acontecer provavelmente também no futuro. No entanto, as empresas que têm adaptado o seu planeamento de recursos humanos às alterações recentemente constatadas, não voltaram a usar os modelos antigos deste planeamento, e assumem que devem continuar a

adaptar-se às constantes mudanças do mundo empresarial (Reilly, 1996). Tal significa que no mundo empresarial de hoje, as empresas optam por planeamentos de recursos humanos mais flexíveis, incluindo recompensas consoante prestação, e formação mais completa e direcionada para a posição desejada.

Foram elaborados ao longo dos anos diversos modelos matemáticos de alocação de funcionários às diferentes tarefas. Os casos práticos mais comuns dizem respeito ao escalonamento de funcionários no serviço hospitalar e também ao funcionamento de *call centres*.

### **4.3. A Abordagem de Programação por Metas Hierarquizadas**

Um problema de programação por metas hierarquizadas diz respeito a um problema, segundo Charnes e Cooper (1975), onde se está perante determinadas condições desejáveis, consideradas metas, que se pretendem alcançar da forma mais próxima possível, i.e., procura-se, de entre as soluções possíveis, a melhor solução de compromisso. Assim, são definidas funções que penalizam os desvios às metas.

Existem, segundo Steuer (1986), geralmente, três tipos de metas a cumprir: atingir pelo menos um determinado valor; não ultrapassar um determinado valor; ou atingir exatamente um determinado valor. Estes valores podem corresponder a lucros, custos, número de trabalhadores, etc.

Para a resolução de um problema de programação por metas hierarquizadas, é necessário definir todas as variáveis de decisão e, também, as diferentes metas a alcançar e, em seguida, definir para cada uma delas uma

variável que represente o desvio por defeito e outra o desvio por excesso, relativamente às metas fixadas. No grupo de restrições do problema, terão de ser criadas restrições relativas às metas, onde se encontram as relações entre as variáveis de decisão e as variáveis de desvio. No que diz respeito à função objetivo, devem ser claras as prioridades dadas a cada meta estabelecida.

Nos capítulos que se seguem, pretende-se elaborar um modelo de programação linear por metas que visa resolver o problema de planeamento de recursos humanos na fábrica da *Science4you* referido no capítulo 3.

## **5. Modelo de Programação Linear por Metas Hierarquizadas para o Dimensionamento das Linhas de Produção na *Science4you***

Neste capítulo será apresentado o modelo desenvolvido que visa responder ao problema da distribuição dos funcionários pelas diferentes secções de produção da fábrica da *Science4you*, de forma a minimizar o incumprimento do plano de produção. Trata-se de um modelo de programação por metas hierarquizadas. As metas consideradas dizem respeito às ordens de produção a completar e apresentam-se hierarquizadas segundo a ordem de prioridade de cada ordem de produção: as correspondentes a produtos de campanha, com prioridade mais elevada; as de produtos de *stock* com prioridade intermédia; e as de produtos de *buffer stock*, com prioridade mais reduzida. Como base para a criação do modelo, foram consultadas as obras de Winston (2004); Antunes, Alves e Clímaco (2012) e Mourão *et al.* (2011).

Foram consideradas, para a elaboração do modelo, as seguintes hipóteses:

- A inexistência de ordens de produção em atraso;
- A possibilidade da permuta de funcionários entre as diferentes linhas de produção;
- A hipótese de que todos os trabalhadores afetos às linhas de produção consideradas estão a executar funções no dia em questão;
- A disponibilidade ilimitada da matéria-prima necessária como *input* às ordens de produção.

Os parâmetros a considerar no modelo são os seguintes:

- $T$  = Conjunto dos trabalhadores da empresa afetos à produção =  $\{1, 2, \dots, 74\}$
- $L$  = Conjunto das linhas de produção =  $\{1 \text{ (PF01)}, 2 \text{ (PF02)}, 3 \text{ (PI25)}, 4 \text{ (PI30)}, 5 \text{ (PI14)}, 6 \text{ (PI32)}, 7 \text{ (PI31)}, 8 \text{ (PI34)}, 9 \text{ (PI1)}, 10 \text{ (PI13)}, 11 \text{ (PI33)}\}$
- $P$  = Conjunto dos produtos =  $\{1, \dots, 17744\}$
- $P = C \cup S \cup B$ , onde:
  - $C$  = Conjunto dos produtos de campanha no dia em questão
  - $S$  = Conjunto dos produtos de *stock* no dia em questão
  - $B$  = Conjunto dos produtos de *buffer stock* no dia em questão
- $O_{(p)}$  = Ordem/objetivo de produção, em número de unidades do produto  $p$  no dia em questão,  $p \in P$ .
- $c_{(l,p)}$  = Número médio de unidades do produto  $p$  produzidas por minuto na linha  $l$ ,  $(l, p) \in (L, P)$ .

As variáveis a considerar são:

- $\mathcal{X}_{t(l,p)}$  = Tempo de trabalho, em minutos, do trabalhador  $t$ , na linha de produção  $l$  na produção do produto  $p$ ,  $t \in T$ ,  $(l, p) \in (L, P)$ .
- $d_p^-$  = Número de unidades do produto  $p$  produzidas abaixo da ordem de produção do dia,  $p \in P$ .

- $d_p^+$  = Número de unidades do produto  $p$  produzidas acima da ordem de produção do dia,  $p \in P$ .

O modelo de programação linear desenvolvido é o seguinte:

$$\text{Min } Z = P1 \sum_{p \in C} d_p^- + P2 \sum_{p \in S} d_p^- + P3 \sum_{p \in B} d_p^- \quad (1)$$

$$\text{s.a } \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} c_{(l,p)} x_{t(l,p)} + d_p^- - d_p^+ = 0_p \quad p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{p \in P} x_{t(l,p)} \leq 420 \quad t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(1,p)} x_{t(1,p)} + \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(2,p)} x_{t(2,p)} \leq 12000 \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(3,p)} x_{t(3,p)} \leq 6000 \quad (5)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(4,p)} x_{t(4,p)} \leq 10000 \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(5,p)} x_{t(5,p)} \leq 10000 \quad (7)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(6,p)} x_{t(6,p)} \leq 40000 \quad (8)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(7,p)} x_{t(7,p)} + \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(8,p)} x_{t(8,p)} \leq 25000 \quad (9)$$

$$\sum_{l \in \{9,10,11\}} \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{(l,p)} x_{t(l,p)} \leq 25000 \quad (10)$$

$$x_{t(l,p)} \geq 0 \quad t \in T, (l,p) \in (L,P) \quad (11)$$

$$d_p^-, d_p^+ \geq 0 \quad p \in P \quad (12)$$

O objetivo do modelo é minimizar a soma dos desvios por defeito no número de unidades produzidas, ou seja, minimizar a quantidade total produzida abaixo da ordem de produção. Como existem três tipos de produto, com

prioridades da mais elevada (produtos de campanha) à mais baixa (*buffer stock*), são definidas nesta função essas mesmas prioridades, razão pela qual se está perante um problema de programação linear por metas hierarquizadas. Em primeiro lugar, como primeira prioridade (“P1”), é definida a minimização da soma dos desvios por defeito nos produtos de campanha. Em seguida, é repetido o processo para os produtos de *stock* (“P2”, segunda prioridade). Por fim, como última prioridade (“P3”), surge a minimização da soma dos desvios por defeito na produção dos produtos de *buffer stock*, não tão relevantes. Ficam assim definidas, desta forma, as metas hierarquizadas do modelo teórico.

O conjunto de equações (2) diz respeito às ordens de produção correspondentes ao dia em questão. Estas restrições definem as metas do modelo e estabelecem que, o que é realmente produzido (ou seja, o número médio de unidades do produto que um trabalhador produz em cada linha por minuto multiplicado pelo tempo que cada um dos trabalhadores dedica a esse produto), somado aos desvios por defeito e subtraindo os desvios por excesso, é igual ao valor da ordem de produção, que corresponde ao objetivo para aquele dia.

O conjunto de restrições (3) diz respeito ao tempo útil de trabalho que cada funcionário tem por dia. Dado que o turno considerado é das 9h às 18h, em que uma hora corresponde ao almoço, cada trabalhador despende 8 horas diárias na fábrica. No entanto, existem pausas, e também mudanças de secção que exigem algumas medidas de segurança e higiene. Desta forma, foi considerado que cada um dos 74 trabalhadores afetos às linhas de produção consideradas neste modelo, dispõe de 7 horas úteis diárias de trabalho na fábrica, o que corresponde a 420 minutos. Assim sendo, as restrições do ponto (3) refletem que a soma do tempo, em minutos, despendido por cada trabalhador em todas as linhas e na produção de todos os produtos em que este interfere no decorrer de um dia de trabalho, não deve exceder os 420 minutos.

As restrições (4) a (10), dizem respeito à capacidade de cada linha de produção. Esta informação foi disponibilizada pela equipa de *Planning & Efficiency* da empresa. Em (4) é colocado o limite de 12000 unidades à quantidade máxima a produzir conjuntamente nas linhas 1 e 2. Em (5), o limite é de 6000 unidades para a capacidade da linha 3. Em (6), é apresentado o limite de 10000 unidades como máximo de produção diária na linha 4. Em (7) e (8), os limites são de 10000 e 40000 para as linhas 5 e 6, respetivamente. Em (9) impõe-se o limite de 25000 unidades diárias apresentados os limites para a produção conjunta nas linhas 7 e 8. Por fim, em conjunto, as linhas 9, 10 e 11, apresentam uma capacidade de 25000 unidades diárias.

Os grupos de restrições (11) e (12) são condições de sinal das variáveis de decisão e das variáveis de desvio.

Os próximos capítulos serão dedicados à aplicação prática do modelo.

## 6. Metodologia e Dados

O problema de programação linear multiobjectivo por metas hierarquizadas foi resolvido pela ferramenta *Open Solver* do *Microsoft Office Excel*.

Os dados foram recolhidos a partir do *software* Prodsmart, utilizado pela *Science4you* para a criação e gestão de todas as ordens de produção da fábrica. Assim, foi possível aceder às ordens de produção lançadas para o dia a estudar, observar o que foi realmente produzido bem como os tipos de produto (por prioridade) que foram considerados para as ordens de produção. As restantes informações necessárias, como a capacidade de cada linha de produção, número total de trabalhadores das linhas de atividade a considerar e a

produtividade média dos trabalhadores, foram disponibilizadas pelos colaboradores do departamento de *Planning & Efficiency*.

Com os dados recolhidos, foi criada uma folha de cálculo no *Excel* para poder ser aplicado o algoritmo de *Simplex* através do *Solver*. Para testar o funcionamento do modelo na instância real, foi elaborada uma instância simplificada, com uma dimensão reduzida, que será explicada em seguida.

Após o teste elaborado na instância simplificada, usada como exemplo, o mesmo foi aplicado à instância real que corresponde então a uma resposta possível ao problema central deste trabalho final de mestrado.

## 6.1. Exemplo

Para ser possível uma explicação mais clara e simplificada do modelo, quando aplicado na ferramenta *Solver*, do *Excel*, o modelo de programação linear por metas foi testado num exemplo de pequena dimensão. Deste modo, foi considerado que existiam apenas seis trabalhadores ( $T = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ) na fábrica, que trabalhariam em apenas quatro linhas de produção ( $L = \{1, 2, 3, 4\}$ ), e que, para o dia em questão, existiriam apenas ordens de produção para cinco produtos ( $P = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ).

Importante também mencionar que uma ordem de produção se destina apenas a uma linha de produção da fábrica, não sendo possível ter um produto a ser trabalhado em linhas de produção diferentes, ou seja, cada produto é manipulado numa só linha de produção.

Assumiu-se também neste exemplo que das cinco ordens de produção, duas delas seriam destinadas à linha de produção número 1, sendo que a primeira seria correspondente a um produto de campanha, P1, (produto que tem

a prioridade mais elevada), e a segunda a um produto de *buffer stock*, P2, (produto com prioridade mais baixa); a terceira ordem de produção, para P3, seria destinada à linha de produção número 2 e seria um produto de *stock* (prioridade intermédia); a quarta, referente a P4, seria para a linha de produção número 3 e também de *stock*; e por fim a quinta ordem de produção seria para a linha número 4 e seria um produto da categoria de *buffer stock*, P5. Foram considerados valores de 6000 unidades para as ordens de produção dos produtos 1 e 5, 4000 unidades para a ordem de produção do produto 2 e 5000 unidades para as ordens de produção dos produtos 3 e 4, que dizem respeito às quantidades que, no exemplo, se pretende produzir.

Como estamos perante cinco ordens produção, ou seja, cinco produtos distintos, foram criadas dez variáveis de desvio, sendo que são cinco produtos e cada um deles necessita de uma variável de desvio por defeito e uma variável de desvio por excesso.

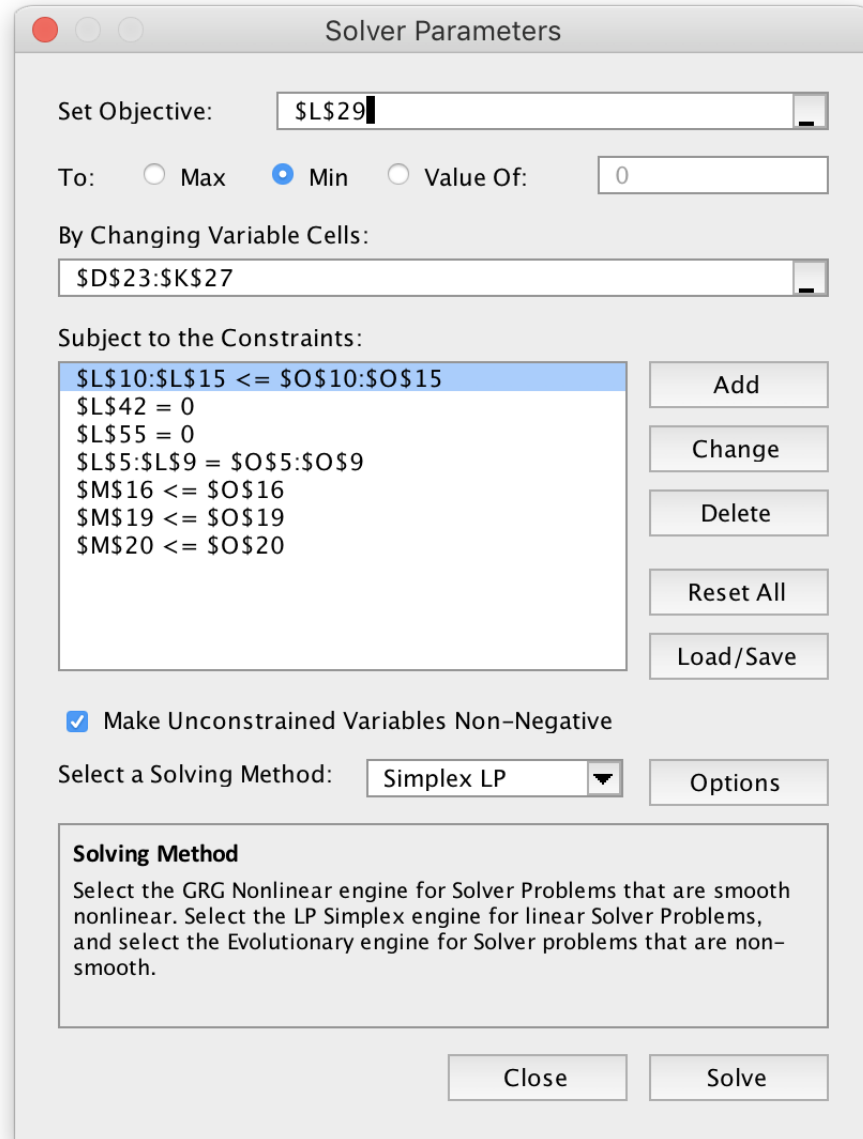
A folha de cálculo correspondente a este modelo simplificado encontra-se apresentada na Figura 1 e na Figura 2, sendo que na Figura 2 são apresentadas as fórmulas utilizadas. Na Figura 3 é ilustrada a aplicação do modelo na ferramenta *Solver*, referente à meta de 3ª prioridade.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2			X t,(l,p)	6 Trabalhadores	4 Linhas	5 Produtos - 2 são na linha de produção 1 em que o primeiro é campanha e o segundo é buffer stock, 1 é na linha de produção 2 e é stock, 1 é na linha de produção 3 e é stock e 1 é na linha de produção 4 e é buffer stock.								
4			X01,(l,p)	X02,(l,p)	X03,(l,p)	X04,(l,p)	X05,(l,p)	X06,(l,p)	d-	d+				
5	Restrições (2)	Produto 1	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	1	-1	6000			= 6000
6		Produto 2	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	1	-1	4000			= 4000
7		Produto 3	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	1	-1	5000			= 5000
8		Produto 4	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90	1	-1	5000			= 5000
9		Produto 5	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	1	-1	6000			= 6000
10	Restrições (3)	Trabalhador 1	1	0	0	0	0	0	0	0	420			≤ 420
11		Trabalhador 2	0	1	0	0	0	0	0	0	420			≤ 420
12		Trabalhador 3	0	0	1	0	0	0	0	0	420			≤ 420
13		Trabalhador 4	0	0	0	1	0	0	0	0	420			≤ 420
14		Trabalhador 5	0	0	0	0	1	0	0	0	420			≤ 420
15		Trabalhador 6	0	0	0	0	0	1	0	0	420			≤ 420
16	Restrições (4)	Produto 1	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	0	0	6000	12000		≤ 12000
17		Produto 2	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	0	0	1000			
18		Produto 3	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	9,52	0	0	5000			
19	Restrições (5)	Produto 4	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90	0	0	5000	5000		≤ 6000
20	Restrições (6)	Produto 5	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	0	0	4532,167496	4532,167496		≤ 10000
21														
22	Solução Final	X01,(l,p)	X02,(l,p)	X03,(l,p)	X04,(l,p)	X05,(l,p)	X06,(l,p)	d-	d+					
23		Produto 1	209,53	420,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00				
24		Produto 2	105,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3000,00	0,00				
25		Produto 3	105,39	0,00	420,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
26		Produto 4	0,00	0,00	0,00	420,00	141,80	0,00	0,00	0,00				
27		Produto 5	0,00	0,00	0,00	0,00	277,26	420,00	1467,83	0,00				
28														
29	Função Objetivo	Produto 1	0	0	0	0	0	0	0	0	4467,832504			
30		Produto 2	0	0	0	0	0	0	1	0				
31	3ª Prioridade	Produto 3	0	0	0	0	0	0	0	0				
32		Produto 4	0	0	0	0	0	0	0	0				
33		Produto 5	0	0	0	0	0	0	1	0				
34	Solução para quando a primeira meta é atingida													
35	Solução Primeira Meta	X01,(l,p)	X02,(l,p)	X03,(l,p)	X04,(l,p)	X05,(l,p)	X06,(l,p)	d-	d+					
36		Produto 1	209,53	420,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00				
37		Produto 2	210,47	0,00	209,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
38		Produto 3	0,00	0,00	210,16	0,00	0,00	0,00	3000,00	0,00				
39		Produto 4	0,00	0,00	0,00	420,00	141,80	0,00	0,00	0,00				
40		Produto 5	0,00	0,00	0,00	0,00	277,26	420,00	1467,83	0,00				
41	Função Objetivo	X01,(l,p)	X02,(l,p)	X03,(l,p)	X04,(l,p)	X05,(l,p)	X06,(l,p)	d-	d+		0			
42		Produto 1	0	0	0	0	0	0	1	0				
43	1ª Prioridade	Produto 2	0	0	0	0	0	0	0	0				
44		Produto 3	0	0	0	0	0	0	0	0				
45		Produto 4	0	0	0	0	0	0	0	0				
46		Produto 5	0	0	0	0	0	0	0	0				
47	Solução para quando a segunda meta é atingida													
48	Solução Segunda Meta	X01,(l,p)	X02,(l,p)	X03,(l,p)	X04,(l,p)	X05,(l,p)	X06,(l,p)	d-	d+					
49		Produto 1	209,53	420,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00				
50		Produto 2	105,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3000,00				
51		Produto 3	105,39	0,00	420,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
52		Produto 4	0,00	0,00	0,00	420,00	141,80	0,00	0,00	0,00				
53		Produto 5	0,00	0,00	0,00	0,00	277,26	420,00	1467,83	0,00				
54	Função Objetivo	X01,(l,p)	X02,(l,p)	X03,(l,p)	X04,(l,p)	X05,(l,p)	X06,(l,p)	d-	d+		0			
55		Produto 1	0	0	0	0	0	0	0	0				
56	2ª Prioridade	Produto 2	0	0	0	0	0	0	0	0				
57		Produto 3	0	0	0	0	0	0	1	0				
58		Produto 4	0	0	0	0	0	0	1	0				
59		Produto 5	0	0	0	0	0	0	0	0				

Figura 1: Ilustração do modelo simplificado sem fórmulas

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														
51														
52														
53														
54														
55														
56														
57														
58														
59														

Figura 2: Ilustração do modelo simplificado com fórmulas



**Figura 3:** Ilustração do modelo no Solver

As variáveis são apresentadas através de uma matriz, onde surgem em colunas os diferentes trabalhadores e, em linhas, os produtos e, respetivamente, as linhas onde serão manipulados. Assim, cada célula da matriz corresponde a um só trabalhador, uma só linha de produção e um só produto.

No que diz respeito aos valores dos coeficientes apresentados, consideraram-se as linhas como sendo as quatro primeiras linhas de produção do modelo geral (a 1, que corresponde à linha PF01, a 2 que corresponde à PF02, a 3 correspondente à PI25 e por fim a 4 que diz respeito à linha PI30), e, por essa razão, os coeficientes apresentados dizem respeito à produtividade média de um trabalhador, por minuto, em cada uma das linhas consideradas. Para a obtenção destes valores consideraram-se todas as ordens de produção de uma semana escolhida de forma aleatória na fábrica, e, calculando uma média de todos os valores de produção por hora de cada linha e dividindo por 60 minutos, obtiveram-se os valores apresentados.

Fazendo a interpretação do resultado final, o *Solver* apresentou-nos uma solução com todos os desvios por defeito nulos exceto o desvio correspondente à produção dos produtos de *buffer stock*, que apresenta um desvio negativo em aproximadamente 4468 unidades. Também duas das linhas de produção iriam produzir em quantidades inferiores à sua capacidade. Isto significa que para as capacidades e produtividades consideradas, o objetivo de produção não seria assim atingível, ficando em falta a produção de 4468 unidades de produtos de *buffer stock*.

## 6.2. *Caso Real*

Na instância real relativa à fábrica da *Science4you*, existem 74 trabalhadores afetos às linhas de produção. Como foi referido anteriormente, por hipótese, foi considerado que são possíveis permutas de funcionários entre quaisquer linhas de produção. Existem também 11 linhas, descritas anteriormente neste relatório, e 17744 referências de produtos (para o processo produtivo da fábrica é considerado “produto” tanto produtos intermédios como produtos finais).

Como, apesar das 17744 referências de produto, apenas um conjunto bastante reduzido destas são efetivamente tidas em conta para ordens de produção de um determinado dia e, para simplificação, é tomada como hipótese da implementação do modelo que existe um máximo de 50 ordens de produção por dia, sendo que as linhas de produção PF01, PF02, PI25, PI30, PI14 e PI32 têm até um máximo de cinco ordens de produção por dia cada uma e as restantes, PI31, PI34, PI1, PI13 e PI33 apenas quatro.

O modelo foi aplicado a um dia de produção da fábrica. Na Tabela I, são apresentadas as ordens de produção lançadas para o dia 29 de março de 2018.

Linha	Produto	Prioridade	Unidades	Ordem no Modelo
PI32	P1	<i>Stock</i>	3000	1º da Linha 6 (26º do Modelo)
PI32	P2	<i>Stock</i>	1500	2º da Linha 6 (27º do Modelo)
PI32	P3	<i>Stock</i>	9000	3º da Linha 6 (28º do Modelo)
PI32	P4	<i>Stock</i>	250	4º da Linha 6 (29º do Modelo)
PI32	P5	<i>Stock</i>	750	5º da Linha 6 (30º do Modelo)
PI25	P6	<i>Stock</i>	300	1º da Linha 3 (11º do Modelo)
PI25	P7	Campanha	2280	2º da Linha 3 (12º do Modelo)
PI14	P8	<i>Stock</i>	4000	1º da Linha 5 (21º do Modelo)
PI14	P9	<i>Stock</i>	4000	2º da Linha 5 (22º do Modelo)
PI14	P10	<i>Stock</i>	750	3º da Linha 5 (23º do Modelo)
PI30	P11	Campanha	2000	1º da Linha 4 (16º do Modelo)
PI30	P12	Campanha	2250	2º da Linha 4 (17º do Modelo)
PI30	P13	<i>Stock</i>	1950	3º da Linha 4 (18º do Modelo)
PF01	P14	Campanha	1029	1º da Linha 1 (1º do Modelo)
PF01	P15	<i>Stock</i>	8200	2º da Linha 1 (2º do Modelo)
PF01	P16	<i>Stock</i>	1019	3º da Linha 1 (3º do Modelo)
PI31	P17	Campanha	3000	1º da Linha 7 (31º do Modelo)

**Tabela I:** Ordens de produção feitas para o dia 29 de março de 2018 na fábrica da *Science4you*

Fonte: Prodsmart

A Tabela I contém a informação sobre quais os produtos que a *Science4you* tinha como objetivo produzir no decorrer do dia 29 de março de 2018 bem como a respetiva organização das ordens de produção no modelo.

A primeira coluna apenas enumera as diversas ordens de produção, onde é possível observar que, para o dia em questão, existiam 17 ordens de produção.

A segunda coluna identifica a que linha de produção está destinada a produção do produto correspondente a essa linha da tabela. Neste caso, para este dia, existem apenas objetivos para as linhas PI32, PI25, PI14, PI30, PF01 e PI31.

No que diz respeito à terceira coluna, é possível observar a descrição do produto em si, com o nome, em alguns casos a medida de capacidade e os idiomas em que estão descritas as especificações do produto.

A quarta coluna contém a informação da prioridade da ordem de produção. Tal como descrito anteriormente, os produtos estão divididos por ordem de prioridade entre a categoria de campanha, *stock* e *buffer stock*, sendo campanha o tipo de produto com prioridade mais elevada e *buffer stock* a prioridade mais baixa. No caso do dia 29 de março de 2018, não existiram ordens de produção para produtos de *buffer stock*, existindo apenas cinco ordens de produção para produtos de campanha, e os restantes para produtos de *stock*.

A quinta coluna apresenta os valores, em unidades, de cada produto, que a fábrica pretendia produzir no dia em questão.

A última coluna diz respeito à forma como estão organizadas as ordens de produção na folha de cálculo do *Excel* correspondente ao modelo. Nesta coluna são apresentadas as ordens dos produtos tanto dentro de cada linha como no modelo em geral.

Com estes valores de ordens de produção, segue-se a aplicação do modelo e a observação dos resultados. Nos Anexos I e II pode observar-se o modelo para a instância real aplicado no *Microsoft Excel*. Neste são considerados 50 produtos como o máximo de ordens de produção possível para um dia. Esta é uma das hipóteses da implementação do modelo. Outra das hipóteses diz respeito ao facto de que, das linhas 1 a 6, cada uma pode receber no máximo cinco ordens de produção, enquanto da linha 7 a 11 são apenas quatro para cada.

Como referido anteriormente, a última coluna da Tabela I diz respeito à forma como estão organizadas as ordens de produção na folha de cálculo do *Excel* correspondente ao modelo. Nesta coluna são apresentadas as ordens dos produtos tanto dentro de cada linha de produção como no modelo em geral.

Aplicando o mesmo processo utilizado na instância que serviu de exemplo, conclui-se que a instância real possui um elevado número de variáveis,

não podendo ser resolvido com o *Solver*. Deste modo, é necessário executar o modelo através do *Open Solver*.

Depois de serem colocados todos os valores necessários na folha de cálculo, é necessário ajustar a função objetivo ao que é a finalidade do modelo. Visto que existem, neste grupo de ordens de produção, cinco produtos de campanha, esses produtos corresponderão aos desvios por defeito que se pretende minimizar em primeiro lugar. Assim, serão alteradas as células na função objetivo correspondentes aos desvios por defeito das ordens de produção dos produtos 1, 12, 16, 17 e 31. É então resolvido o primeiro problema do modelo através do *Open Solver*.

Em seguida, é alterada a função objetivo para todos os restantes produtos, que são todos produtos de *stock*. Após acrescentada ao modelo a restrição que garante que a primeira meta continua garantida, aplica-se o *Open Solver* novamente. Dado que não existem, para este dia, ordens de produção correspondentes a produtos de *buffer stock*, é obtida assim a solução final do problema.

Na solução obtida, todas as ordens de produção são efetuadas e todos os desvios são iguais a zero. Também nesta melhor solução de compromisso, apenas 30 dos 74 trabalhadores trabalham, sendo que 8 destes não trabalham os 420 minutos completos. No que diz respeito às capacidades das linhas de produção, não existem restrições saturadas, todos os valores apresentados são inferiores aos da capacidade correspondente.

## 7. Análise dos Resultados

Na Tabela II é possível observar a diferença entre o objetivo de produção e o que foi realmente produzido.

Nr.	Objetivo de Produção (1)	Produção Real (2)	Diferença (2) – (1)
1	3000 unidades	3000 unidades	0
2	1500 unidades	1500 unidades	0
3	9000 unidades	9216 unidades	+216
4	250 unidades	250 unidades	0
5	750 unidades	0 unidades	-750
6	300 unidades	300 unidades	0
7	2280 unidades	0 unidades	-2280
8	4000 unidades	4000 unidades	0
9	4000 unidades	0 unidades	-4000
10	750 unidades	750 unidades	0
11	2000 unidades	1990 unidades	-10
12	2250 unidades	2227 unidades	-23
13	1950 unidades	1938 unidades	-12
14	1029 unidades	0 unidades	-1029
15	8200 unidades	0 unidades	-8200
16	1019 unidades	868 unidades	-151
17	3000 unidades	0 unidades	-3000

**Tabela II:** Objetivos de produção e produção real do dia 29 de março de 2018 na fábrica da *Science4you* em unidades de produto

Fonte: Prodsmart

A Tabela II contém a informação sobre a diferença entre a quantidade dos produtos que a fábrica tencionava produzir no dia 29 de março de 2018 e o que foi efetivamente produzido. Na primeira coluna observa-se apenas a enumeração das várias ordens de produção, facilitando assim a sua respetiva identificação na Tabela I; na segunda coluna são apresentados os objetivos de produção, em unidades de produto; na terceira coluna é apresentado o que foi realmente produzido nesse dia e, por fim, a última coluna apresenta a diferença entre o que foi produzido e o objetivo inicial.

Tal como é possível observar, apenas sete ordens de produção (não considerando as que foram produzidas nesse dia, mas que correspondiam a objetivos de dias anteriores) foram cumpridas na totalidade, incluindo a número 3 onde se ultrapassou o objetivo em 216 unidades. As unidades em excesso dizem respeito a uma quantidade de produto que não estava planeada, mas que, de modo a não desperdiçar a matéria-prima remanescente, foi produzida.

Nas restantes dez ordens de produção, foram observados números negativos representando as unidades que ficaram em falta de forma a cumprir o objetivo. Neste caso, seis delas são de ordens de produção que não chegaram a ter início, ficando a totalidade do objetivo por cumprir.

Nr.	Objetivo de Produção (1)	Solução Obtida (2)	Diferença (2) – (1)
1	3000 unidades	3000 unidades	0
2	1500 unidades	1500 unidades	0
3	9000 unidades	9000 unidades	0
4	250 unidades	250 unidades	0
5	750 unidades	750 unidades	0
6	300 unidades	300 unidades	0
7	2280 unidades	2280 unidades	0
8	4000 unidades	4000 unidades	0
9	4000 unidades	4000 unidades	0
10	750 unidades	750 unidades	0
11	2000 unidades	2000 unidades	0
12	2250 unidades	2250 unidades	0
13	1950 unidades	1950 unidades	0
14	1029 unidades	1029 unidades	0
15	8200 unidades	8200 unidades	0
16	1019 unidades	1019 unidades	0
17	3000 unidades	3000 unidades	0

**Tabela III:** Objetivos de produção e solução do modelo para o dia 29 de março de 2018 na fábrica da *Science4you* em unidades de produto

Fonte: Prodsmart

Tal como apresentado na Tabela III, confrontando o caso real com o resultado obtido no modelo, pode observar-se que as diferenças entre o objetivo de produção e a produção real sugerida pela solução do modelo seriam nulas com a abordagem de programação linear por metas hierarquizadas, pois todas as ordens de produção seriam cumpridas.

## 8. Conclusões e Trabalho Futuro

O presente trabalho teve como objetivo sugerir uma abordagem de programação linear por metas como solução para uma distribuição dos recursos humanos no processo produtivo dos brinquedos científicos e educativos da *Science4you*.

O modelo elaborado serve de base para uma possível alteração de processos. Considerando que um grande número de ordens de produção se encontra, de momento, em atraso, seria necessário assumir que essas mesmas ordens já não serão efetuadas. Partindo então de um cenário onde não existem ordens de produção em atraso, seriam criadas, para cada dia, novas ordens com o que se tenciona produzir.

Para o modelo ser mais apelativo, na ótica do utilizador, poderia ser elaborada uma interface, que tornasse mais *user-friendly* a introdução das ordens de produção, onde, através de um comando, o utilizador pudesse, de forma automática, aplicar o modelo às ordens de produção inseridas, obtendo assim a solução de forma simples e clara.

## Referências Bibliográficas

Antunes, C. H.; Alves, M. J. e Clímaco, J. (2012). Tomada de Decisão em Ambiente Multiobjectivo (Capítulo 16), em Manual de Computação Evolutiva e Metaheurística, Edição, Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.

Charnes, A. e Cooper, W.W. (1975). *Goal Programming and Multiple Objective Optimization*. Center for Cybernetic Studies. Texas: The University of Texas.

Mourão, M. C.; Santiago Pinto, L.; Simões, O.; Valente, J. e Pato, M. V. (2011). *Investigação Operacional: Exercícios e Aplicações*, 1ª Ed. Lisboa: Verlag Dashöfer.

Okoye, E.I.; Ogbada, E. I. e Sule, G.J. (2007). *Job Analysis in Manpower Planning of Business Organizations: An Assessment of the Significance*. The International Journal Series on Tropical Issues Volume 8 Number 1 (pags. 42-47). January 2007. Pacificam Douala.

Reilly, P. (1996). *Human Resource Planning: An Introduction*, Report 312. Sussex Univ., Brighton (England). Inst. for Employment Studies.

Robbins, Stephen, P; (1982). *Personnel: The Management of Human Resources*. New York: Prentice Hall.

Science4you. Sobre nós. Disponível em: <https://brinquedos.science4you.pt/72-sobre-nos> [Acesso em: 2018/05/10].

Steuer, R. (1986). *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application*, John Wiley & Sons.

Winston, W. L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*, 4ª Ed. California: Brooks/Cole – Thomson Learning.

## Anexos

### Anexo I. Folha de cálculo do Excel correspondente ao modelo real

	B	C	D	E	F	G	CA	CB	CC	CD	CE	CF
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												
68												
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
128												
129												
130												
131												
132												
133												
134												
135												
136												
137												
138												
139												
140												
141												
142												
143												
144												
145												
146												
147												
148												
149												
150												
151												
152												

## Anexo II. Modelo real no *OpenSolver*

OpenSolver - Model

**What is AutoModel?** AutoModel

AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window.

**Objective Cell:**   maximise  minimise  target value:

**Variable Cells:**

**Constraints:**

<Add new constraint>

\$CC\$55:\$CC\$128 <= \$CF\$55:\$CF\$128

\$CC\$5:\$CC\$54 = \$CF\$5:\$CF\$54

\$CD\$129 <= \$CF\$129

\$CD\$139 <= \$CF\$139

\$CD\$144 <= \$CF\$144

\$CD\$149 <= \$CF\$149

\$CD\$154 <= \$CF\$154

\$CD\$159 <= \$CF\$159

\$CD\$167 <= \$CF\$167

\$CC\$345 = 0

=

Add constraint Cancel

Delete selected constraint

Make unconstrained variable cells non-

Show named ranges in constraint list

**Sensitivity Analysis**  List sensitivity analysis on the same sheet with top left cell:

Output sensitivity analysis:  updating any previous output sheet  on a new sheet

**Solver Engine:** Current Solver Engine: CBC Solver Engine...

Show model after saving Clear Model Options... Save Model Cancel