



**DENISE DA SILVA  
LOPES FERREIRA**

**APOIO À DECISÃO NUM PROBLEMA DE  
PLANEAMENTO DE MÁQUINAS PARALELAS NÃO  
RELACIONADAS COM RECURSOS ADICIONAIS DA  
INDÚSTRIA CERÂMICA**





**DENISE DA SILVA  
LOPES FERREIRA**

**APOIO À DECISÃO NUM PROBLEMA DE  
PLANEAMENTO DE MÁQUINAS PARALELAS NÃO  
RELACIONADAS COM RECURSOS ADICIONAIS DA  
INDÚSTRIA CERÂMICA**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.



Dedico este trabalho aos meus pais, por toda a coragem e valores transmitidos, que me tornaram na pessoa que hoje sou.



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutora Maria João Machado Pires da Rosa**  
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Manuel Augusto de Pina Marques**  
Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Prof. Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel**  
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Durante a elaboração desta dissertação, contei com o apoio de diversas pessoas e entidades, às quais sou eterna e profundamente grata. A todos, um enorme obrigado!

E porque nunca serão os últimos, em primeiro lugar agradeço aos meus pais, Alcina Ferreira e Albino Ferreira, pela força e ânimo que sempre me deram, e sobretudo pela educação que me inculcaram, onde as palavras “lutar sempre e nunca desistir” são quem mais ordenam. Agradeço ainda o vosso incansável e infindável esforço, que me proporcionou a oportunidade de prosseguir os estudos até este patamar, os quais encerro com o presente trabalho, que a vós dedico.

À Prof.<sup>a</sup> Doutora Carina Pimentel, pela sua disponibilidade, incentivo e saber demonstrado, fundamentais na concretização desta dissertação.

À Vista Alegre Atlantis, expresso a minha gratidão pelo acolhimento para a realização do estágio, e em particular à Eng.<sup>a</sup> Marta Ribeiro e ao Diretor de Logística António Lourenço, pelo auxílio, paciência e todos os conhecimentos transmitidos ao longo desse período.

Não menos relevante, fica o agradecimento a todos os colaboradores da empresa, pela sua boa disposição, integração e todas as explicações.

A todos os meus familiares e amigos, que na “alegria” e na “tristeza”, na “saúde” e na “doença”, sempre estiveram do meu lado.



## palavras-chave

Programação de produção, problema de máquinas paralelas, recursos adicionais, atraso total, heurística, programação linear inteira mista, ciclo de gestão de processos de negócio, modelação de processos de negócio, BPMN 2.0, indústria cerâmica, Indústria 4.0.

## resumo

Neste trabalho expõem-se uma heurística e um modelo matemático baseados num problema real de programação da produção, de artigos de loiça em porcelana, de elevada diversidade, de uma indústria cerâmica.

O problema em questão concerne, mais concretamente, a um conjunto de processadores paralelos, flexíveis e não relacionados, de enchimento a alta pressão de moldes, com pasta cerâmica líquida, do qual resultam lotes de dimensão variável. As necessidades de produção de cada artigo chegam ao sistema numa base diária. Acrescentam-se ainda restrições associadas às propriedades dos artigos, elegibilidade de máquinas, total de *setups* diários, disponibilidade de recursos auxiliares discretos renováveis e não renováveis e do armazém local, bem como prazos de entrega.

O objetivo passa por gerir todo o processo desencadeado durante a calendarização da produção do setor, isto é, identificar e modelar as suas atividades e interações, através de diagramas em notação BPMN 2.0; detetar possíveis melhorias; desenhar o processo ideal; planejar e implementar as estratégias a utilizar; executar o processo devidamente modificado; avaliar o efeito da tática empregue; analisar a eficiência global do processo; e recomendar novas alterações com vista ao seu aperfeiçoamento.

Por conseguinte, o foco centra-se no desenvolvimento de um sistema de apoio à tomada de decisão, que ofereça uma solução de agendamento semanal da produção, com o mínimo de atraso total, decorrente da diferença entre o período de conclusão e o de entrega, procurando convergir com o planeamento mais automatizado, típico da Indústria 4.0.

Nesse âmbito, propõe-se a heurística, que considera todos os aspetos revelados no contexto real e cujos resultados serão apresentados para um conjunto de instâncias, geradas a partir de dados recolhidos da empresa alvo do estudo. Adicionalmente, sugere-se o modelo de programação linear inteira mista, que atende à mesma função-objetivo e às restrições de elegibilidade e *setups* das máquinas estudadas.



**keywords**

Production scheduling, parallel machine problem, additional resources, total tardiness, heuristic, mixed integer linear programming, business process management cycle, business process modeling, BPMN 2.0, ceramic industry, Industry 4.0.

**abstract**

In this work, a heuristic and a mathematical model based on a real problem of production scheduling of a high diversity of porcelain ware, from a ceramic industry, are exposed.

The problem in question concerns, more particularly, a set of parallel, flexible and unrelated machines, of molds' high-pressure filling with liquid ceramic paste, from which batches of variable size result. The production needs of each item reach the system daily. There are also restrictions associated with product properties, machine eligibility, total daily setups, availability of discrete renewable and non-renewable additional resources and of local warehouse, as well as deadlines.

The goal is to manage the entire process triggered during the production schedule of the sector, that is, identify and model their activities and interactions, through diagrams in BPMN 2.0 notation; detect possible improvements; design the ideal process; plan and implement the strategies to be used; run the properly modified process; evaluate the effect of tactic employed; analyze the overall efficiency of process; and recommend new changes to improve it.

Therefore, the focus is on developing a decision support system that offers a weekly production scheduling with the total tardiness minimum, given by difference between the completion and delivery periods, seeking to converge with more automated planning, typical of Industry 4.0.

In that scope, it's proposed the heuristic, which considers all aspects revealed in the real context and whose results will be presented for a set of instances, generated from data collected from the target company of the study. In addition, it is suggested the mixed integer linear programming model, that meets the same objective function and the eligibility and setups restrictions of the studied machines.



## Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Contextualização e Motivação do Trabalho.....	1
1.2. Principais Objetivos e Resultados Esperados.....	3
1.3. Metodologia Adotada .....	4
1.4. Estrutura do Documento.....	6
<b>2. Apresentação da Empresa .....</b>	<b>7</b>
2.1. Vista Alegre Atlantis, S.A. ....	7
2.2. História da VAA .....	8
2.3. Sistema Geral de Funcionamento da VAA .....	9
2.4. Processo Produtivo do Branco .....	10
<b>3. Exposição do Estudo de Caso .....</b>	<b>13</b>
3.1. Descrição do Problema .....	13
3.2. Gestão do Processo Inerente ao Problema.....	17
3.2.1. Fundamentos Teóricos.....	17
3.2.1.1. Enquadramento da Gestão de Processos de Negócio (GPN).....	17
3.2.1.1.1. Ciclo de Vida da GPN.....	18
3.2.1.1.2. Business Process Model and Notation (BPMN) .....	20
3.2.2. Planificação do Procedimento de Gestão do Processo de Planeamento das MEAP	21
3.3. Fase de Planeamento de Melhorias no Processo de Planeamento das MEAP .....	22
3.3.1. Diagramas de Modelação do Processo em BPMN .....	22
3.3.2. Análise Crítica do Processo .....	25
3.3.3. Alvos de Melhoria do Processo e Modelo TO-BE.....	27
<b>4. Fase de Desenho do Processo de Planeamento das MEAP .....</b>	<b>29</b>
4.1. Classificação do Problema.....	29
4.1.1. Fundamentos Teóricos.....	29
4.1.1.1. Problema de Escalonamento.....	29
4.1.1.2. Aspectos Representativos dos Ambientes de Produção .....	29
4.1.1.3. Diversidade de Problemas de Escalonamento .....	34
4.1.1.4. Nomenclaturas Qualificativas de Problemas de Escalonamento.....	35
4.1.2. Categorização do Problema .....	36
4.2. Proposta de Desenho da Estratégia de Melhoria do Processo .....	38
4.2.1. Fundamentos Teóricos.....	38
4.2.1.1. Minimização do <i>Makespan</i> com Restrições de Equipamentos Auxiliares .....	38
4.2.1.2. Minimização do Atraso Total com Restrições de Equipamentos Auxiliares ....	39

4.2.1.3.	Minimização do <i>Makespan</i> com Restrições de Recursos e de Elegibilidade de Máquina.....	40
4.2.1.4.	Minimização do <i>Makespan</i> e Maximização da Produtividade, com Restrições de Recursos, de Elegibilidade de Máquina e da Dependência dos Tempos de <i>Setup</i> às Máquinas e ao Sequenciamento.....	42
4.2.1.5.	Minimização do <i>Makespan</i> com Restrições de Recursos Adicionais .....	43
4.2.1.6.	Minimização do <i>Makespan</i> com Um Número de Recursos Adicionais Escassos.....	44
4.2.1.7.	Minimização do <i>Makespan</i> com Restrições de Recursos e de Elegibilidade de Máquina.....	46
4.2.1.8.	Minimização do <i>Makespan</i> com Um Recurso Adicional Escasso .....	47
4.2.2.	Abordagem de Solução para o Problema de Planeamento nas MEAP .....	48
4.2.2.1.	Considerações Iniciais .....	48
4.2.2.2.	Medidas de Desempenho .....	51
4.2.2.3.	Modelo de Programação Linear Inteira Mista .....	52
4.2.2.4.	Heurística Construtiva .....	56
<b>5.</b>	<b>Fases de Implementação e Avaliação do Desenho do Processo de Planeamento das MEAP.....</b>	<b>63</b>
5.1.	Fases de Implementação e Execução do Desenho do Processo de Planeamento das MEAP.....	63
5.1.1.	Implementação do Desenho do Processo.....	63
5.1.2.	Execução do Desenho do Processo .....	65
5.2.	Fase de Avaliação da Execução do Desenho do Processo de Planeamento das MEAP ...	67
5.2.1.	Modelo de Programação Linear Inteira Mista .....	67
5.2.2.	Heurística Construtiva .....	73
5.3.	Fases de Análise Pós-execução e Recomendação de Novas Melhorias no Desenho do Processo de Planeamento das MEAP .....	79
<b>6.</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>85</b>
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo A</b>	<b>Perspetiva Geral da Heurística Construtiva Proposta num Fluxograma .....</b>	<b>94</b>
<b>Anexo B</b>	<b>Heurística Construtiva com Formato Semelhante a Pseudocódigos .....</b>	<b>97</b>
<b>Anexo C</b>	<b>Comparação entre a Heurística de Villa et al. (2018) e a Heurística Construtiva Proposta.....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo D</b>	<b>Estado Inicial do Sistema de Produção do Setor das MEAP.....</b>	<b>120</b>
<b>Anexo E</b>	<b>Instâncias de Referências e respetivos Atributos .....</b>	<b>121</b>
<b>Anexo F</b>	<b>Menu em MATLAB para Introdução dos Parâmetros de Entrada .....</b>	<b>130</b>
<b>Anexo G</b>	<b>Tempos de Execução do Programa Heurístico.....</b>	<b>131</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 – Volume de negócios (em milhões de euros) de porcelana e complementares da Vista Alegre Atlantis, S.A., por zona geográfica. ....	7
Figura 2 – Fluxograma do processo produtivo de peças em branco. ....	10
Figura 3 – Conformação de peças de olaria por enchimento à pressão atmosférica de formas de gesso.....	11
Figura 4 – Conformação por enchimento a alta pressão nas MEAP.....	11
Figura 5 – (a) “Tarulos” de pasta cerâmica plástica; (b) Conformação por contramoldagem numa máquina Roller. ....	11
Figura 6 – Conformação por prensagem isostática.....	12
Figura 7 – Secagem das peças e posterior polimento e aperfeiçoamento. ....	12
Figura 8 – (a) “Vagona” com loiça para chacotar; (b) Prato com cera “anti-vidro”; (c) Vidração manual; (d) Vidração automática.....	12
Figura 9 – Modelo da cadeia de valor da VAA. ....	22
Figura 10 – Diagrama BPMN do processo de planeamento da produção de branco nas MEAP. ....	22
Figura 11 – Subprocesso expandido da figura 10: analisar novas necessidades de produção.....	23
Figura 12 – Subprocesso expandido da figura 11: determinar produtos com necessidade.....	23
Figura 13 – Subprocesso expandido da figura 10: analisar condições de equipamento e material.....	24
Figura 14 – Subprocesso expandido da figura 13: verificar disponibilidade dos moldes. ....	24
Figura 15 – Subprocesso expandido da figura 10: calcular quantidades a planear. ....	24
Figura 16 – Subprocesso expandido da figura 10: disponibilizar o plano produtivo. ....	25
Figura 17 – Arquitetura do sistema de apoio à tomada de decisão, baseado na heurística construtiva proposta. ....	64
Figura 18 – Programa semanal de produção de referências nas MEAP, para a instância pequena, e suas medidas do seu desempenho. ....	75
Figura 19 – Programa semanal de produção de referências nas MEAP, para a instância grande, e suas medidas do seu desempenho. ....	78



## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Identificação no processo de inconvenientes, suas consequências e possíveis formas de os combater. ....	25
Tabela 2 – Caracterização de cada tipo de trabalho. ....	30
Tabela 3 – Caracterização da produção com cada tipo de lote de trabalhos. ....	30
Tabela 4 – Caracterização dos diversos aspetos relativos a cada trabalho. ....	30
Tabela 5 – Caracterização de cada tipo de interrupção. ....	31
Tabela 6 – Caracterização de cada tipo de processador e dos aspetos e elementos relacionados. ....	31
Tabela 7 – Caracterização de cada tipo de restrição de recursos auxiliares. ....	32
Tabela 8 – Caracterização de cada tipo de divisibilidade de recursos auxiliares. ....	32
Tabela 9 – Caracterização de cada tipo ambiente produtivo segundo o número de fases/operações. ....	32
Tabela 10 – Caracterização de cada tipo de processadores típicos nos sistemas produtivos uni-operação. ....	32
Tabela 11 – Caracterização de cada tipo de processadores paralelos típicos nos sistemas produtivos uni-operação. ....	33
Tabela 12 – Caracterização de cada tipo de sistemas gerais. ....	33
Tabela 13 – Caracterização de alguns dos tipos de problemas de escalonamento mais estudados. ....	34
Tabela 14 – Caracterização das envolvências dinâmica e estática dos ambientes de escalonamento, consideradas no estudo das tarefas e do sistema. ....	34
Tabela 15 – Caracterização das naturezas determinística e estocástica dos ambientes de escalonamento, consideradas na ponderação das variáveis para obtenção de soluções. ....	34
Tabela 16 – Caracterização de cada classe e respetivos parâmetros pertencentes à nomenclatura proposta por Varela & Carmo-Silva (2008). ....	35
Tabela 17 – Verificação da inclusão de cada consideração inicial no modelo matemático. ....	52
Tabela 18 – Panorama identificado na área das MEAP e selecionado para o planeamento da produção, durante os períodos de 1 a 7, pela afetação, através da heurística, das referências da instância pequena ou grande, complementada pela dos extras. ....	66
Tabela 19 – Panorama identificado na área das MEAP e selecionado para o planeamento da produção para todo o horizonte temporal, pela afetação, através do modelo PLIM, das referências da instância pequena ou grande. ....	67
Tabela 20 – Programa de produção nas MEAP, de todas referências da instância pequena, originado pelo modelo PLIM, para um horizonte temporal de 40 períodos. ....	68
Tabela 21 – Referências da instância pequena, programadas. ....	68
Tabela 22. ....	68
Tabela 23 – Programa de produção de amostras nas MEAP (com omissão dos períodos 2 a 5, 7 a 11 e 13, durante os quais não ocorreu a afetação de amostras), para a instância pequena. ....	70
Tabela 24 – Referências da instância grande, programadas pelo modelo PLIM, com atraso face às datas de entrega. ....	70
Tabela 25 – Programa de produção nas MEAP, de todas referências da instância grande, originado pelo modelo PLIM, para um horizonte temporal de 65 períodos. ....	71
Tabela 26 – Quadro-resumo dos atrasos das referências da instância grande. ....	72

Tabela 27 – Programa semanal de produção de amostras nas MEAP (com omissão dos períodos 3 a 5 e 7, durante os quais não ocorreu a afetação de amostras), para a instância pequena. ....	74
Tabela 28 – Programa semanal de produção de amostras nas MEAP (com omissão dos períodos 3 a 7, durante os quais não ocorreu a afetação de amostras).....	76
Tabela 29 – Quadro-resumo com os totais do conjunto urgências e necessidades, de urgências e de amostras, alocados no plano semanal, e do total daquelas em espera, após a conclusão do plano. ....	79
Tabela 30 – Quadro-resumo com a média dos totais do conjunto urgências e necessidades e das amostras, alocados por dia. ....	79
Tabela 31 – Quadro-resumo dos atrasos das referências com processamento finalizado dentro do horizonte temporal. ....	79
Tabela 32 – Quadro-resumo dos atrasos das referências sem agendamento no horizonte temporal e ainda em fila de espera. ....	79
Tabela 33 – Lista de verificação da eficiência das ações de melhoria implementadas nas diversas atividades do processo.....	80

## Lista de Acrónimos

<b>VAA</b>	Vista Alegre Atlantis;
<b>ERP</b>	<i>Enterprise Resource Planning</i> ;
<b>SAC</b>	Serviço de Atendimento ao Cliente;
<b>MEAP</b>	Máquinas de Enchimento a Alta Pressão;
<b>NPs</b>	Novos Produtos;
<b>WIP</b>	<i>Work in Process</i> (em curso de fabrico);
<b>BPMN</b>	<i>Business Process Model and Notation</i> ;
<b>GPN</b>	Gestão de Processos de Negócio;
<b>PN</b>	Processo de Negócio;
<b>MPNR</b>	Máquinas Paralelas Não Relacionadas;
<b>SA</b>	<i>Simulated Annealing</i> ;
<b>TA</b>	<i>Threshold-accepting</i> (método de aceitação de limites);
<b>PLIM</b>	Programação Linear Inteira Mista;
<b>RP</b>	Conjunto de Referências Pendentes;
<b>EP</b>	Conjunto de Extras Pendentes;
<b>ABAP</b>	<i>Advanced Business Application Programming</i> .

## Glossário

<b>Branco</b>	Peças de porcelana sem decoração;
<b>Saldo de Carteira</b>	Total encomendado de uma determinada referência de branco;
<b>Referência padrão</b>	Referência de branco com todos os meios de produção totalmente normalizados;
<b><i>Makespan</i></b>	Instante máximo de conclusão dos trabalhos em curso de fabrico;
<b><i>Setup</i></b>	Interrupção para ajustes de um equipamento fabril; em particular, neste documento, define a substituição do molde instalado numa das MEAP, por outro associado a outro produto;
<b>Cavaletes</b>	Compridas tábuas de madeira, transportadas por carrinhos, que suportam peças em curso de fabrico;
<b>Aparadeira</b>	Instrumento para extrair, corretamente, as peças obtidas em moldes das MEAP;
<b>Decalque</b>	Decoração de loiça impressa sobre um papel próprio e coberto por uma laca de proteção, que se destaca quando imerso em água.



## 1. Introdução

Este capítulo começa pela explanação breve e enquadramento do tema da dissertação, descrito ao longo deste documento. Explora também, com base no problema real encontrado, as razões que motivaram o seu desenvolvimento. De seguida, a situação é pormenorizada, os objetivos traçados para a mesma, espelhados, e o tipo de pesquisa, identificado. Destacam-se ainda os resultados ambicionados e o incremento que trará à resolução do problema encontrado. A terceira secção contém a estrutura metodológica a utilizar, incluindo as técnicas para aquisição de conhecimento e os recursos para o aplicar. Em seguida, é apresentado o esqueleto que suporta todo este trabalho.

### 1.1. Contextualização e Motivação do Trabalho

O crescimento da competição internacional, da volatilidade do mercado, da procura por produtos altamente personalizados e a redução do ciclo de vida dos produtos têm colocado à prova a indústria de transformação. Contrariamente aos países emergentes, a Europa, onde o setor representa 75% de todas as exportações e 80% de todas as inovações, não escapou ao desafio, defrontando um decréscimo de 10% na sua quota industrial, durante os últimos 20 anos. Nesta sequência, a Alemanha procurou fortalecer a sua indústria e em 2011, na Feira de Comércio de Hanôver, apresentou como parte da sua estratégia de alta tecnologia, o termo inédito “Indústria 4.0” (Hofmann & Rüsçh, 2017). Desde então, muitos governos, principalmente os europeus, promovem e apoiam as empresas no desenvolvimento de soluções baseadas neste conceito (Barreto et al., 2017).

Apelidada também de quarta revolução industrial, compreende o objetivo de alcançar um elevado nível de eficiência operacional, de produtividade e automatização, através da integração de tecnologias de informação e comunicação inovadoras, constituindo um processo industrial de adição de valor e de gestão de conhecimento (Lu, 2017). De um modo geral, com correlação a algoritmos e altas tecnologias, assenta na: (1) personalização em massa; (2) adaptação automática e flexível da cadeia produtiva; (3) comunicação entre peças, produtos e máquinas; (4) aplicação de paradigmas de interação humano-máquina; (5) otimização da produção, com base na transparência e no poder preditivo; (6) disponibilização de novos tipos de serviços e modelos de negócio de interação na cadeia de valor; (7) tomada de decisões autónomas e descentralizadas; e (8) criação de uma melhor cooperação entre funcionários e parceiros de negócio (Lu, 2017; Hofmann & Rüsçh, 2017; Sanders et al., 2016).

Denota-se, portanto, um grande impacto no ambiente produtivo e, conseqüentemente, nas práticas logísticas, surgindo a noção de “Logística 4.0” ou “Logística Inteligente”. Tal consiste num sistema de logística mais flexível e ajustado ao comportamento do mercado, o que proporciona um melhor nível de atendimento ao cliente, a otimização da produção e a diminuição dos custos de armazenamento e produção (Sanders et al., 2016).

Por sua vez, a Indústria 4.0 relaciona-se ainda com o sistema de produção *Lean*. Shah e Ward (2007) definem-no como “um sistema sociotécnico integrado, cujo principal objetivo é eliminar o desperdício, através da redução ou minimização, em simultâneo, da variabilidade dos fornecedores, clientes e interna”, tendo-o quantificado em dez fatores. Entre eles, dando um

particular destaque, encontra-se o princípio de *Just-in-Time* (JIT), que considera a produção e a entrega de apenas a quantidade de material solicitada pelos clientes, e no momento para o qual o exigem. Assim, caminha-se para o baixo ou até a inexistência de *stock* e para o aumento da flexibilidade e agilidade da cadeia de abastecimento (Lee & Ebrahimpour, 1987). No entanto, nem sempre é possível satisfazer as encomendas atempadamente, uma lacuna combatida com a implementação de mecanismos de rastreamento dos fluxos de material em tempo real, cenário típico da Indústria 4.0. Assim, todos os artigos já associados a uma nota de remessa estariam marcados com a sua origem, destino e estado atual e integrariam um dispositivo de comunicação, para permitir o seu seguimento (Sanders et al., 2016). Este panorama influencia tremendamente o planeamento da produção, crucial no JIT.

Por esta ordem de ideias, os planos produtivos adquirem maior precisão, na medida em que o seguimento em tempo real dos itens possibilita a dedução mais rigorosa e dinâmica dos padrões de procura. Repare-se que assim que ocorresse uma venda, num ponto específico da cadeia de abastecimento, todos os atores da mesma seriam notificados, podendo imediatamente ajustar a sua produção. Para isso, deveriam dispor de um sistema integrado de recolha, gestão e partilha de informação (Hofmann & Rüsçh, 2017). A partir da obtenção eficaz e confiável dos dados necessários, poder-se-ão implementar sistemas de apoio à tomada de decisão, adaptáveis ao contexto onde atuam, que o monitorizam e controlam (Preuveneers & Ilie-Zudor, 2017). Tais sistemas requerem as já referidas altas tecnologias e algoritmos inteligentes, que, no seu conjunto, acentuariam o grau de automação industrial (Sanders et al., 2016).

O presente trabalho enquadra-se neste âmbito, uma vez que surge com o propósito de aproximar ao máximo as características da programação da produção da fábrica da Vista Alegre Atlantis, S.A., uma organização conceituada mundialmente ao nível de peças de porcelana utilitária e decorativa, com as do planeamento próprio da Indústria 4.0.

Atualmente, o sistema de planeamento a curto prazo da empresa é coordenado a partir do acompanhamento diário das necessidades de produto, criadas por encomendas, falta de *stock*, campanhas e lançamentos de novos produtos e obtenção de amostras, para posterior afetação das tarefas aos processadores e sua ordenação. Apesar de apoiado por um *software* ERP, atualizado em tempo real, o processo é ainda muito manual, coexistindo com tarefas bastante repetitivas e apelando à boa memória do responsável pela função.

A tarefa inicia-se pela análise de um mapa diário impresso com as referências dos produtos em branco em necessidade, associadas aos equipamentos fabris utilizados para as obter. Através deste estudo, assinalam-se todas as referências que surgiram com necessidade e, portanto, que no dia anterior não constavam no mapa. Identificam-se também as prioritárias, condição atribuída pela superioridade da quantidade em encomenda face ao *stock* existente, bem como pela data desejada de expedição. Adicionalmente, há outras produções a assegurar, nomeadamente das amostras de branco e das pré-produções, solicitadas, via *e-mail*, pelo departamento de novos produtos. É preciso também garantir *stock* para satisfazer, dentro do prazo de entrega, os pedidos personalizados de clientes (peça em branco com decoração customizada) e de hotelaria, quando ainda não estão associados a encomendas no sistema ERP. Estes dados são divulgados pelo serviço de atendimento ao cliente (SAC), num documento impresso. Frequentemente, o SAC, tal como o responsável pelo acompanhamento de encomendas, pede ao planeador, por correio eletrónico, prazos da conclusão do fabrico dos produtos encomendados.

Portanto, o plano de produção estipulado procura simultaneamente conjugar todos estes fatores e atender primeiramente aos pedidos de encomenda, estando ainda dependente das características dos equipamentos e outras de origem técnica. Estas questões são levantadas pelos encarregados pelas várias máquinas, retirando alguma autonomia na tomada de decisão do planeador. Cabe a si ainda, diariamente introduzir o programa produtivo num ficheiro de *Excel* partilhado, em modo de leitura, na rede da fábrica, e atualizar com as quantidades reais produzidas no dia anterior, transcritas da área de registos de produção de branco do sistema integrado de gestão de informação. Relativamente às amostras e pré-produções, as datas planeadas são enviadas por *e-mail*.

Esta dissertação passa então por aplicar um dos principais pilares do movimento exposto - a automatização, através da criação de um sistema de apoio à tomada de decisão, baseado num modelo heurístico e de otimização, que apresente uma solução de agendamento, o mais semelhante possível da ótima. Desta forma, o colaborador conseguirá obter de um modo simples e sustentado, planos alternativos que talvez lhe permanecessem impercetíveis pelos meios manuais.

Como descrito por Herrmann (2006), um sistema de planeamento da produção é uma rede dinâmica de pessoas que partilham informação acerca da situação fabril (trabalhos, recursos, inventário, ferramentas, ...) e colaboram em decisões relativas à calendarização das ordens de fabrico. Pode, por conseguinte, ser visto como um sistema de tomada de decisões, que transforma a dita informação num plano de produção, sem eliminar a necessidade de procura de melhores que esse. Aliás, esta perspetiva oferece uma abordagem para entender o contexto onde a tarefa decorre e a informação que esta utiliza, bem como uma ferramenta de representação do fluxo de informação e do sistema de tomada de decisão.

Por último, este relatório atende ainda à finalidade de conclusão do mestrado integrado em Engenharia e Gestão Industrial, por parte da autora.

## **1.2. Principais Objetivos e Resultados Esperados**

O trabalho contextualizado focar-se-á no estudo do planeamento fino/de curto prazo de um conjunto de processadores em particular, nomeadamente das máquinas de enchimento a alta pressão (MEAP) de moldes de resina sintética, com pasta cerâmica líquida. Apesar de não relacionadas (diferenças na velocidade de processamento e especialização em distintas referências de produto), encontram-se em paralelo (três conjuntos/tipos de processadores, cada com uma só fila de espera) e com flexibilidade (existência de mais do que um processador capaz de realizar um determinado trabalho).

A situação atual de planeamento destes equipamentos caracteriza-se por: (1) sequenciamento de lotes no recurso gargalo; (2) dificuldade em afetar trabalhos às máquinas com capacidade de fabrico para um menor número de referências; (3) ocupação permanente dos processadores, com paragem apenas para mudanças de molde; (4) interrupção do processamento de lotes para priorizar os mais urgentes (encomendas que o *stock* não cobre); (5) equilíbrio da taxa de cadência produtiva; (6) dimensionamento de lotes; (7) atenção aos prazos de entrega; (8) restrições nos tempos de processamento de algumas referências, provocadas pelo seu tamanho do

lote e atributos; (9) maximização da capacidade dos fornos de cozedura; e (10) disponibilidade de recursos auxiliares e do armazém local.

Atendendo ao contexto do problema real descrito, propõe-se a definição de um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) e de uma abordagem heurística, que respondam em termos (1) do agendamento de cada uma das necessidades nos diversos processadores, considerando a sua compatibilidade, e (2) das quantidades adequadas a fabricar, (3) dentro das datas de entrega, (4) com um número de *setups* até ao máximo estipulado, (5) uma taxa de cadência produtiva aceitável e (6) uma boa gestão da disponibilidade e capacidade dos recursos auxiliares. Para o complementar, pretende-se o teste das abordagens através da sua aplicação a uma simulação do sistema real, para avaliar as soluções por elas devolvidas. Para esse ensaio, tenciona-se resolver o algoritmo de otimização num *software* apropriado e criar um programa, numa linguagem conveniente, que opere de acordo com a abordagem pensada.

O trabalho visa, assim, gerar conhecimento através da exploração de uma aplicação prática, tendo por base a procura de soluções para um problema específico.

Entenda-se que o planeamento desempenha um importante papel nos sistemas industriais e, como um processo de tomada de decisão que interage com outros departamentos, lida com a alocação de recursos a tarefas por períodos de tempo determinados. A ideia é otimizar um ou mais objetivos, tendo em conta a estratégia da empresa (Pinedo, 2016).

Dada a elevada relevância da função, torna-se assim expectável que este trabalho auxilie o responsável pela programação da produção a delinear um plano mais rapidamente, e com menos esforço, combinando todas as restrições a considerar aquando da sua realização. Por consequência, espera-se que as sucessivas soluções originadas pelo modelo conduzam ao aumento da produtividade das MEAP, produzindo mais em menos tempo, cumprindo prazos de entrega e melhorando os níveis de serviço da organização.

### 1.3. Metodologia Adotada

O desenvolvimento de um modelo que represente fielmente a realidade do agendamento dos equipamentos em questão, requer, antes de mais, o estabelecimento de uma metodologia que contemple todos os passos com vista a atingir o seu sucesso.

Para começar, é fundamental conhecer a empresa e todo o seu processo fabril, desde a receção dos pedidos dos clientes, passando pela programação da produção, pelas tecnologias para obtenção dos artigos e seu acabamento, até à expedição. A melhor maneira de o conseguir é entrevistar os especialistas de cada um dos setores e observar passivamente o seu trabalho. Após a plena compreensão do funcionamento geral, a atenção deve voltar-se, com especial ênfase, na secção industrial onde a dissertação incidirá. Para complementar, a cadeia de valor que sustenta a empresa, bem como o circuito específico de transformação das matérias-primas em peças em branco, devem ser descritos.

Numa segunda fase, importa aprender o modo como o decisor na área do planeamento constrói os mapas de escalonamento, sequenciamento e dimensionamento dos lotes de trabalhos. Nesse sentido, é necessário o acompanhamento do mesmo, igualmente através de uma observação passiva e do constante questionamento das razões que suportam as atividades que leva a cabo.

A próxima etapa cinge-se à observação num papel ativo, ou seja, à realização, por parte da autora deste documento, do planeamento fino e controlo da produção das máquinas de enchimento a alta pressão. A conjugação dos dois métodos permitirá aprofundar a assimilação da função e identificar mais facilmente os problemas inerentes à programação das MEAP. Torna-se agora relevante contextualizar o ambiente de produção das MEAP e assinalar a sua problemática. Com esse intuito, é útil a modelação do processo de negócio envolvido, utilizando uma linguagem de notação própria, como o *Business Process Model and Notation* (BPMN). Partindo dos diagramas gerados, a visualização do modo de execução da tarefa e dela, o reconhecimento dos elementos a automatizar, são simplificados. Dessa identificação, pinta-se o quadro ideal do processo, planeando todas as pinceladas e retoques que deverá exibir.

Posteriormente, esboçam-se os seus traços num rascunho, servindo de base para, mais tarde, colorir a obra. Por outras palavras, a estratégia que orientará a implementação das melhorias do processo sugeridas, é delineada. Para isso, deve-se descrever o problema de escalonamento e sequenciamento que lhe é inerente, classificando-o à luz da literatura científica. Interessa aqui apontar os diversos aspetos relativos aos processadores, recursos auxiliares, armazéns locais, lotes, prioridades, tempos de processamento e datas de entrega. A ilustração efetuada permitirá a investigação de bibliografia, que contenha abordagens de solução para a questão em estudo, incluindo métodos de agendamento que se apliquem a si.

Com base nessa pesquisa bibliográfica e nas especificidades da situação real em análise, a dissertação é encaminhada para a definição de um modelo PLIM que englobe as anteriores e que conceda a solução ótima. Segue-se, então, a construção da abordagem heurística, baseada igualmente na literatura consultada e nos pressupostos e restrições do planeamento produtivo manual, que faculte uma solução admissível. Ambas constituem a tática selecionada para a resolução da problemática.

Posto isto, estão reunidas as condições para implementar o modelo PLIM numa ferramenta de modelação de otimização, como o *software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio*, e iniciar a construção do programa informático apoiado na heurística. Executa-se, depois, o processo completo, com cada abordagem de solução, testando-se, assim, a sua adequabilidade, tendo como suporte a utilização de dados do problema real, fornecidos pela empresa. Por fim, avaliam-se a eficiência e a qualidade dos resultados, incluindo nas abordagens eventuais alterações decorrentes da sua validação. Entretanto, centra-se a atenção no processo como um todo, analisa-se o cumprimento dos objetivos almejados e recomendam-se futuras ações para colmatar as falhas vigentes.

No fundo, o procedimento pormenorizado vai ao encontro das diversas fases do ciclo de vida da gestão de processos de negócio, apresentado por Lodhi et al. (2011).

Ao longo deste percurso, assume-se como parte essencial a aprendizagem do modo de programar no *software* da *The MathWorks, Inc.*, designadamente no *MATLAB*, com o intento de automatizar o planeamento de produção. Esta opção é explicada pela sua associação a algoritmos matemáticos, com possível conversão em código *C* ou *C++*, e por se tratar de um instrumento de trabalho frequentemente eleito por engenheiros e cientistas, devido à sua facilidade de acesso e usabilidade, o que possibilita a análise e projeção de sistemas. Outro motivo é dado pela simplicidade da linguagem, que manipula apenas matrizes e recusa a declaração do tipo de variáveis, o que torna o código mais intuitivo e, por sua vez, a sua programação. Como dito, pode

até, mais tarde, ser transformado em C ou C++, com vista à sua execução em compiladores gratuitos e utilizáveis na empresa acolhedora.

#### 1.4. Estrutura do Documento

Este documento divide-se em seis capítulos, com a missão de proporcionar ao leitor a compreensão de todo o trabalho elaborado.

Logo no primeiro, são esclarecidos o âmbito e a motivação da dissertação, enquadrado o seu tema, reveladas as metas a atingir e os resultados daí ambicionados, e descrita a estratégia a seguir.

O segundo capítulo contém uma breve exposição da empresa que tornou possível todo o trabalho aqui relatado, evidenciando um pouco da sua história, do seu funcionamento global e do processo de fabrico dos seus produtos.

No terceiro capítulo é detalhado todo o problema que inspirou este estudo, a contornar a partir de um método de gestão faseada de processos de negócio, organizado e justificado com bases científicas. Ostenta ainda o início da referida metodologia, isto é, o reconhecimento e a representação gráfica das diversas atividades levadas a cabo no processo inerente ao problema, bem como a perspetiva crítica do mesmo, o apontamento das melhorias necessárias e o planeamento do desejado resultado, provocado por essas.

No quarto é esboçado o estratagema pensado para aperfeiçoar o processo. Para isso, classificou-se o problema à luz da literatura científica, para depois se pesquisar abordagens de solução existentes, válidas para a categoria atribuída à realidade em análise. Por fim, mostra-se então a tática escolhida, os seus pressupostos e as formas de medição do seu desempenho.

O penúltimo capítulo conta como se implementou a estratégia adotada e se executou, não só em termos do *software* selecionado e das razões que o apoiam, como também das instâncias de dados criadas, para testar o funcionamento do mecanismo de resolução do problema. De seguida, concentra todos os resultados provenientes desse teste e sua interpretação, a partir da qual se avalia a eficiência do sistema, de acordo com os indicadores de desempenho definidos previamente. Posteriormente, explicitam-se as duas últimas fases do método de gestão aplicado, nomeadamente a da análise geral do processo executado e identificação de falhas existentes, e a da recomendação de um guia que permita colmatá-las.

No último, encontram-se redigidas todas as conclusões obtidas, a opinião da autora e sugestões de trabalhos futuros, para que o presente possa ser potenciado.

## 2. Apresentação da Empresa

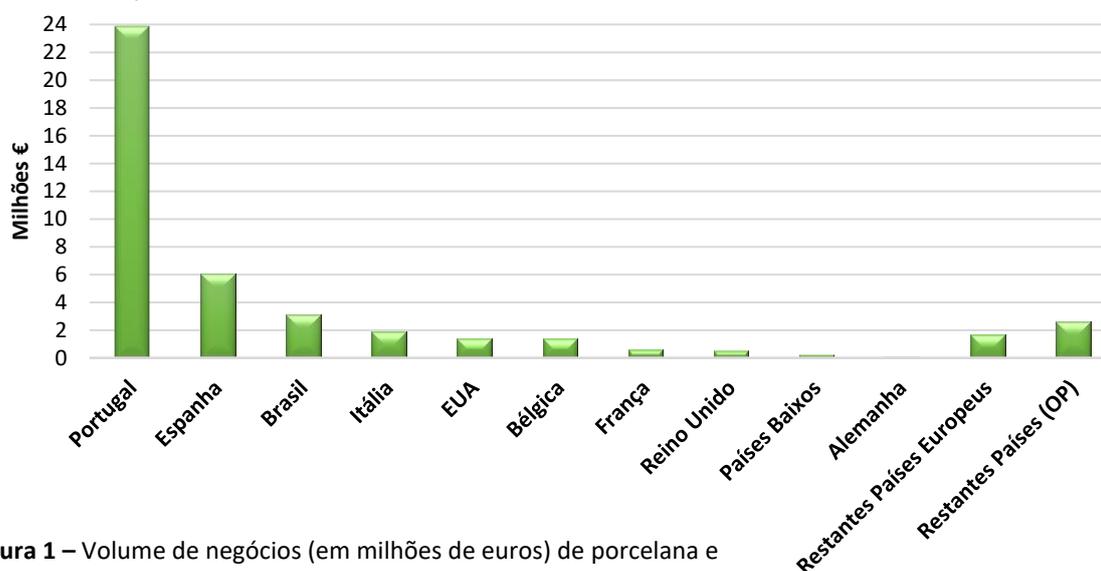
O presente capítulo retrata a entidade acolhedora que possibilitou a elaboração deste documento, expondo a sua missão, valores, tipos de produtos e mercado-alvo (secção 2.1), a sua história (secção 2.2) e uma breve explicação do processo produtivo inerente (secção 2.3).

### 2.1. Vista Alegre Atlantis, S.A.

Sediada na Quinta da Vista Alegre em Ílhavo, a unidade fabril da Vista Alegre centra a sua atividade na produção de peças de porcelana de gama média e alta, para uso doméstico, decorativo, de restauração e hotelaria, bem como na produção de louça de forno em porcelana, para fim também doméstico e de restauração (Vista Alegre Atlantis, 2017).

Como missão, procura ser reconhecida como uma marca de excelência e prestígio na indústria cerâmica e desenvolver produtos inovadores e serviços de qualidade, que permitam exceder as expectativas dos clientes, visando a sua total satisfação e lealdade. Da perspetiva estratégica, deseja melhorar o seu desempenho global, fortalecendo a internacionalização pelo investimento em novos mercados e estabelecendo parcerias com entidades de renome e prestígio internacional. Empreendedorismo, ambição, dinamismo, inovação, melhoria contínua e celeridade são os seus valores (Vista Alegre Atlantis, 2017).

A marca é uma das poucas insígnias portuguesas de luxo a nível mundial, que alia a tradição e modernidade, diferenciando-se pelos: (1) seus projetos artísticos, assinados por reputados criadores internacionais; (2) produtos de hotelaria, desenvolvidos em parceria com os melhores *chefs*; (3) qualidade indiscutível; (4) e edição de peças numeradas e limitadas, e personalizadas. A perceção de todos estes atributos coloca serviços da Vista Alegre à mesa de personalidades como a Rainha Isabel II de Inglaterra e o Rei Juan Carlos de Espanha, bem como na Casa Branca e na Presidência da República Portuguesa, e inúmeras embaixadas e outras instituições por todo o globo (Vista Alegre Atlantis, 2017). A figura 1 mostra a repartição do volume de negócios apenas da porcelana e complementares, por segmento geográfico, a 31 de dezembro de 2017 (Vista Alegre Atlantis, 2018).



**Figura 1** – Volume de negócios (em milhões de euros) de porcelana e complementares da Vista Alegre Atlantis, S.A., por zona geográfica.

## 2.2. História da VAA

A Fábrica de Porcelana da Vista Alegre é o primeiro empreendimento industrial português dedicado à produção de porcelana, fruto do sonho de José Ferreira Pinto Basto, seu fundador. Influenciado pelo sucesso da fábrica de vidro da Marinha Grande, apresentou, em 1824, uma petição ao Rei D. João VI para erigir uma unidade de produção de porcelanas, vidraria e processos químicos na sua quinta, anos antes formada. A sua autorização foi concedida pelo monarca a 1 de julho desse ano, data do alvará régio, que impulsionou a associação entre o fundador e os seus quinze filhos, originando a sociedade “Ferreira Pinto & Filhos”. Cinco anos mais tarde, a Vista Alegre recebeu o título de “Real Fábrica”, um reconhecimento pela sua arte e sucesso industrial (Vista Alegre Atlantis, 2017).

Durante o século XVIII, a empresa foi marcada por um grande desenvolvimento industrial, desde melhorias ao nível da qualidade das matérias-primas, progressos tecnológicos, até à especialização da mão-de-obra. Neste período, assinalou-se, em 1880, a cessação da produção do vidro e a concentração exclusivamente na porcelana (Vista Alegre Atlantis, 2017).

À passagem do seu centenário, a organização atravessou uma forte revitalização, sentida pela modernização das instalações, formação dos recursos humanos, renovação dos serviços, crescimento das exportações e cooperação com congéneres europeias, que transformou a empresa numa sociedade por quotas (Vista Alegre Atlantis, 2017).

Destacam-se, em 1964 e 1985, a inauguração, respetivamente, do Museu da Vista Alegre, local de exibição de peças representativas do percurso industrial, e do Centro de Arte de Desenvolvimento da Empresa, promotor da inovação dos modelos e decorações, e da formação na área da pintura e escultura. Ainda em 1985 foi instituído o Clube de Colecionadores, limitado na altura a 2500 sócios, refletindo o valor da Vista Alegre no mercado da arte (Vista Alegre Atlantis, 2017).

Nos finais da década de 80, registou-se a participação em exposições internacionais, que contribuiu decisivamente para a divulgação da marca, tornando inevitável a delineação de uma estratégia de expansão para novos mercados além-fronteiras. Foi então que em 1986, a criação da Vista Alegre Espanha abriu esse processo. Já no ano seguinte, a empresa passou a estar cotada nas Bolsas de Valores de Lisboa e Porto (Vista Alegre Atlantis, 2017).

Em 1997, o volume de negócios no estrangeiro quase duplicou devido à fusão com o grupo cerâmico Cerexport. Já em 2001, o grupo aumenta novamente com a entrada do grupo Atlantis, cruzando uma vez mais o vidro, e também o cristal, com a história da Vista Alegre. Esta união tornou o grupo no maior do país e no sexto maior do mundo, no setor da loiça de mesa, atuando na porcelana de mesa, decorativa e de hotel, faiança, louça de forno, cristal e vidro manual. Recentemente, apostou em redes de retalho e distribuição, sobretudo na cutelaria em aço inoxidável (Vista Alegre Atlantis, 2017).

Em 2009, a Vista Alegre Atlantis é alvo de uma oferta pública de aquisição pelo Grupo Visabeira, passando a integrar o seu portefólio de marcas (Vista Alegre Atlantis, 2017).

No ano seguinte, a Vista Alegre é distinguida como Marca de Excelência pela prestigiada *Superbrand*, título que assegura pelo sétimo ano consecutivo. Em 2017, o *design* dos seus produtos foi galardoado pelos *Red Dot Design Awards*, *German Design Awards* e pelos prémios *Fuera de Série*

e *Iconic Awards - Innovative Interior*, distinções de enorme renome na área (“Vista Alegre é Superbrand – Marca de Excelência | TerraNova,” 2017).

### 2.3. Sistema Geral de Funcionamento da VAA

Genericamente, o sistema operacional da VAA envolve uma série de processos interrelacionados. O seu princípio situa-se na colaboração entre os departamentos de *marketing* e de vendas, com o propósito de estudar o mercado, perceber os desejos do cliente e analisar a rentabilidade. Por conseguinte, o departamento de *design* ou artistas externos propõe o desenho do produto, que aguardará por amostras físicas obtidas pelo departamento de novos produtos (NPs), para efetivar uma apreciação estética. No entanto, o departamento de NPs primeiro constrói membranas e coberturas poliméricas, moldes-mãe (madres) e as consequentes formas de gesso, que recebem a pasta cerâmica e lhe conferem o aspeto da peça. À posteriori, o planeador agenda pré-produções para avaliar a viabilidade do fabrico em massa (aprovação técnica). Em situação afirmativa, a documentação de apoio é elaborada. Depois, o centro de desenvolvimento digital avança com a digitalização vetorial do decalque (ornamento da loiça impresso sobre um papel próprio e coberto por uma laca de proteção, que se destaca quando imerso em água), preparam-se as cores de impressão e executa-se um ensaio de decoração. Se dele advir um resultado positivo, o departamento de *design* trata do grafismo da embalagem e da reprodução de protótipos. Gradualmente, o departamento de dados mestre e custeio industrial codifica os vários elementos envolvidos (molde, peças de porcelana, decoração, embalagem, etc), a pedido do departamento de NPs.

Reunidas todas estas condições, o novo projeto é lançado e publicitado pelo departamento de *marketing*, e encomendas de porcelanas decoradas, ou em branco, são recebidas no serviço de atendimento ao cliente (departamento de logística). Posteriormente, o departamento de compras encarrega-se da aquisição das matérias-primas e embalagens. Caso necessário, são planeadas e produzidas as formas de gesso, seguindo-se o planeamento diário da produção de branco, com base na informação cedida pela gestão da procura, e a sua colocação em prática (secção 2.4). Os produtos originados são embalados ou encaminhados para o setor da estamperia. Aqui ocorre a produção de decalques e a decoração da loiça, por aplicação desses, de filagem e pintura manual ou à pistola. Em seguida, os objetos são submetidos a uma ou mais cozeduras de diferentes temperaturas, intercaladas com a aplicação dessas técnicas. Finalmente, toma lugar o embalamento e expedição.

Todas estas atividades são suportadas por outras, nomeadamente: (1) pela melhoria contínua, tempos e métodos; (2) recursos humanos; (3) *procurement/compras*; (4) manutenção (gestão de equipamentos e infraestruturas); (5) auditoria financeira interna e melhoria de processo; (6) sistemas de informação; (7) dados mestre e custeio industrial; (8) segurança e saúde no trabalho; (9) ambiente e gestão de energia; (10) tratamento de reclamações; (11) inovação, investigação e desenvolvimento.

## 2.4. Processo Produtivo do Branco

O fabrico de peças de porcelana em branco, sem decoração, respeita uma série de etapas de transformação de entradas em produto acabado, representadas na figura 2 (Vista Alegre Atlantis, 2017).

O ponto de partida da produção do branco situa-se na seleção rigorosa e na preparação da matéria-prima, uma mistura de argila, caulino, quartzo e feldspato, para satisfazer o planeamento relativo às peças e quantidades a obter em cada equipamento fabril. Adicionalmente, a percentagem de cada constituinte é alvo de variação, com vista a atingir as chamadas “pasta normal” (branca), “pasta extra branca” e “pasta chinesa” (tonalidade ligeiramente mais escura). O estado da matéria diverge entre o líquido, plástico e seco, tal como a tecnologia que o pode processar e o respetivo modo de funcionamento (Vista Alegre Atlantis, 2017).

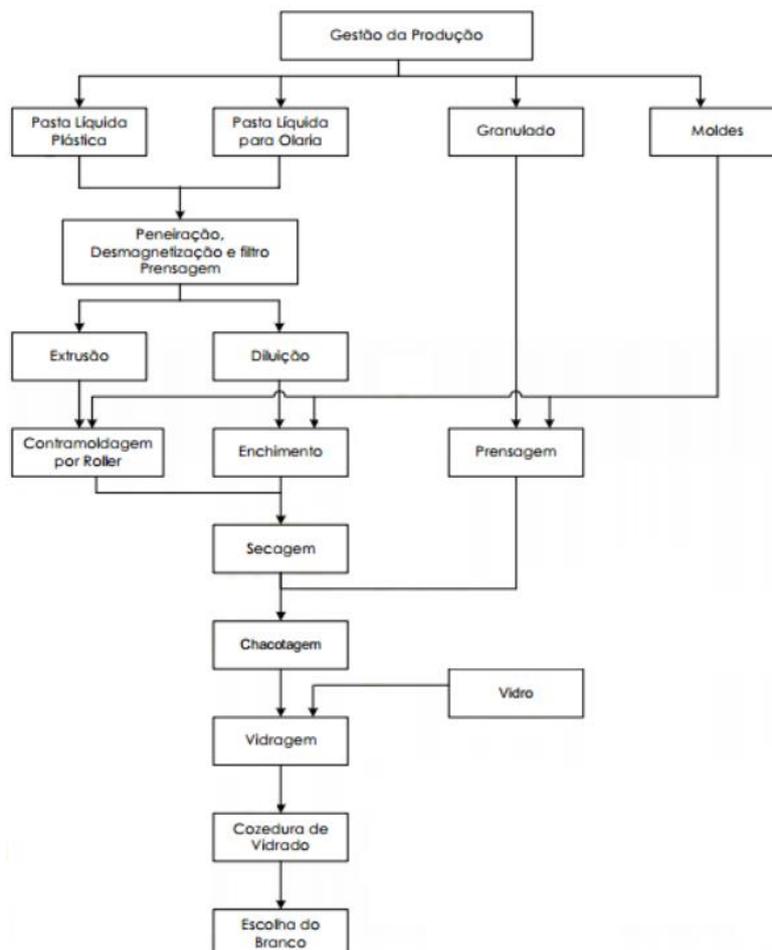


Figura 2 – Fluxograma do processo produtivo de peças em branco.

Assim, quando a suspensão de partículas sólidas é diluída em conteúdo aquoso, origina a barbotina, uma pasta líquida utilizada na conformação por enchimento à pressão atmosférica (em inglês, “*slip casting*”) de peças de olaria (de modo manual, semiautomático e automático) e noutra de pressão mais elevada. No primeiro caso, a pasta é vertida em moldes de gesso e a água absorvida por estes, com vista à obtenção de peças ocas (por exemplo, jarras e bules) e de estrutura irregular (figura 3). Em oposição, no segundo, a barbotina é injetada a alta pressão em moldes de resina

sintética e a água, obrigada a sair, para o fabrico de peças planas com formato irregular (figura 4) (Vista Alegre Atlantis, 2017).



**Figura 3** – Conformação de peças de olaria por enchimento à pressão atmosférica de formas de gesso.



**Figura 4** – Conformação por enchimento a alta pressão nas MEAP.

Para um menor teor de humidade, a suspensão é admitida como plástica, aglomerada em “chouriços” ou “tarulos” (figura 5.a) e estes, cortados em partes iguais. De seguida, são colocadas em formas de gesso, para que a cabeça metálica das máquinas *Roller* as pressione e ao rodar, conceda o perfil às peças (figura 5.b). Deste modo, resultam de conformação por contramoldagem (em inglês, “*jigging and jolleying*”) artigos de loiça com eixo de revolução, isto é, chávenas, pires, pratos e saladeiras (Vista Alegre Atlantis, 2017).



**Figura 5** – (a) “Tarulos” de pasta cerâmica plástica; (b) Conformação por contramoldagem numa máquina *Roller*.

Por último, a pasta seca ou pó granulado é utilizado na conformação por prensagem isostática (figura 6) e, portanto, injetado no interior de moldes e compactado a alta pressão, proporcionando uma elevada capacidade de produção de peças planas, como pratos e pires (Vista Alegre Atlantis, 2017).



**Figura 6** – Conformação por prensagem isostática.

O próximo passo diz respeito à secagem dos itens, para que, durante o seu manuseamento no acabamento manual (para artigos obtidos por enchimento manual e alta pressão) ou automático (apenas para as peças regulares), não se deformem. Tal consiste em rebarbar, esponjar, limpar e retocar os artigos, para eliminar excessos de pasta e imperfeições (Vista Alegre Atlantis, 2017).



**Figura 7** – Secagem das peças e posterior polimento e aperfeiçoamento.

Por sua vez, a loiça seca é colocada em “vagonas” (figura 8.a) e encaminhada para a primeira cozedura, denominada de chacotagem. Garante-se, então, a resistência mecânica do produto, característica essencial na operação subsequente da vidragem. Nesse sentido, a loiça é mergulhada (manual ou automaticamente) numa suspensão de vidro (figura 8.c e d.), o que lhe confere brancura e translucidez. É agora sujeita a uma segunda cozedura, para assegurar esse aspeto. Em contrapartida, o produto em porcelana não vidrado (em “biscuit”) é polido, já que se torna bastante áspero, após o seu cozimento. Àqueles com os dois tipos de aspeto, é aplicada uma cera antes da vidragem (figura 8.b), que protege da adesão do vidro à superfície (Vista Alegre Atlantis, 2017).



**Figura 8** – (a) “Vagona” com loiça para chacotar; (b) Prato com cera “anti-vidro”; (c) Vidragem manual; (d) Vidragem automática.

Finalmente, ocorre o controlo de qualidade/escolha do branco e a classificação em classes, de acordo com critérios bem definidos de conformidade, assegurando ao cliente a excelência de todos os artigos. São, depois, transportados para os armazéns, onde aguardam até à entrada em produção para decoração ou simplesmente o embalamento (Vista Alegre Atlantis, 2017).

### 3. Exposição do Estudo de Caso

Neste capítulo é relatado o sistema de planeamento da produção das MEAP, com enfoque no método adotado aquando da programação, e nas condições a atender (secção 3.1). Surge, depois, uma breve revisão da literatura alusiva à gestão de processos de negócio, para posterior aplicação no referido procedimento, mediante uma estratégia previamente equacionada (secção 3.2) e com início na definição dos seus objetivos (secção 3.3).

#### 3.1. Descrição do Problema

O planeamento das dez máquinas de enchimento a alta pressão começa com a análise de um mapa diário das necessidades de produção de referências/artigos em branco, quer de linha, quer de reposição (destinados a clientes específicos e com prazo de entrega até 30 dias). Nele consta, para cada um, as quantidades de: (1) saldo de carteira; (2) reforço extra (salvaguada para campanhas e picos de vendas); (3) *stock* mínimo a garantir; (4) *stock* em armazém; (5) necessidade total (valor do somatório das primeiras três quantidades); (6) necessidade de branco (resultado da subtração do *stock* em armazém (4) à necessidade total (5)); (7) peças em WIP conformadas, (8) em acabamento, (9) vidração e (10) para escolha. O papel deste estudo passa por: (1) reconhecer as novas referências com necessidade de branco, inexistentes no dia anterior; (2) classificar as diversas referências; e (3) estipular o tamanho dos lotes de fabrico.

Posto isto, a referida identificação requer do planeador uma boa memória para discernir o que é recente do que não o é, ou, em alternativa, a verificação da presença de cada uma das referências do mapa no plano produtivo. Este, relembra-se, é divulgado num documento de *Excel*, partilhado na rede da organização, com a calendarização das produções não e já concretizadas, acompanhada, respetivamente, das quantidades planeadas e reais (copiadas do sistema ERP).

A fase da triagem implica a exclusão das referências já em curso de fabrico e a posterior comparação entre o saldo de carteira e o *stock* armazenado, de modo a avaliar a capacidade de cobertura deste. Aquelas referências cujas encomendas não são asseguradas pelas reservas são consideradas urgentes, enquanto que as em oposição, necessidades de *stock* com inferior prioridade. No plano, a transmissão desta classificação é conseguida através de um sistema de cores, que corresponde às urgências, as referências inscritas a vermelho, às necessidades de *stock*, a preto, e aos extras, a azul. Assumem-se como extras as referências de maior venda, sem necessidade de branco, e cujo *stock* ainda não atinge o total de vendas do ano anterior. Esta informação é retirada de uma tabela com todas as referências e respetivas vendas do ano precedente, *stock* até ao momento e diferença entre estes dois. O sequenciamento dos lotes das referências procura obedecer à ordem pela qual se apresentou a classificação e respetivas cores, ao passo que a sua transformação em produtos acabados, tenta anteceder o prazo de conclusão da produção dos decalques. Todavia, se presentes os decalques em armazém, a produção das referências deverá deixar uma margem temporal, que permita efetivar as operações na estamperia, respeitando a data desejada de remessa. Por outro lado, se o cliente se tratar de uma grande superfície, dever-se-á evitar o atraso na obtenção das referências encomendadas, porque as violações dos prazos de entrega provocam avultadas penalizações.

Agora, o lote planejado deverá contemplar a necessidade de branco e uma percentagem de segurança e lixo (refugo), atender à tipologia das referências (de linha ou reposição) e ao número de cavidades das suas matrizes, podendo ser até aumentado para as de linha que no ano anterior somaram um elevado número de vendas, algo consultado na tabela acima mencionada.

Adicionalmente, examina-se o *e-mail* recebido do departamento de NPs, com os pedidos de fabrico de amostras e pré-produções, motivados pela melhoria de moldes ou ensaio de produtos inovadores. Todas as referências com pré-produção pretendida são logo colocadas no plano a cor encarnada, juntamente com a abreviatura “PP”. O mesmo não acontece com as amostras, pois não possuem um código no ERP, que permita o registo da sua conformação, exceto aquelas de referências existentes com modificações a testar. Quanto à quantidade planejada, esta é definida pela equipa de NPs, rondando habitualmente as 200 peças para as pré-produções e as 50, para as amostras.

No caso da iminência de lançamento de NPs, os departamentos de *marketing*, *design* e NPs assumem um papel preponderante no agendamento da sua produção em massa, no sentido de aglomerar um *stock* de segurança, que previna a organização das encomendas que surgirão. Quando a data de projeção no mercado de determinados produtos se aproxima, a gestão da procura incute a sua necessidade de fabrico no mapa diário de branco. Até essa altura, cabia ao planeador verificar, num ficheiro de *Excel* partilhado na rede, a aprovação da pré-produção de cada um dos NPs, detalhados num documento enviado via *e-mail* pelo *marketing*, e o seu *stock* em armazém, avaliando a sua necessidade, ou não, de produção. Por vezes, há a repetição de pré-produções no mapa diário, porque tratam-se de referências já lançadas e encomendadas, mas com o processo de fabrico ainda um pouco deficiente, o que as torna ainda mais urgentes.

Resta ainda a certificação da suficiência de *stock* de branco, para cobrir as encomendas personalizadas e de hotelaria não introduzidas no ERP, mas declaradas pelo SAC. Perceba-se que estes montantes não são contabilizados na coluna de saldo de carteira do mapa diário, obrigando à sua comparação individualizada com as existências em armazém. Na situação de carência, poder-se-á programar em extra a quantia em falta.

Quanto às características das MEAP, realça-se, desde logo, o funcionamento de 24 horas diárias, divididas por 3 turnos, durante 7 dias por semana, apenas inativado no período de férias e ainda, nalguma das máquinas, para a realização de manutenção. Contam-se também, das dez MEAP: quatro muito restritas em termos de referências que produzem; duas medianamente restritas; e quatro com pouca ou nenhuma limitação, logo mais sobrecarregadas e impulsionadoras de gargalos de estrangulamento, pelo que as referências devem ser planeadas sempre que possível nas seis primeiras máquinas. Depreende-se daqui a formação de praticamente três filas de espera, baseada na compatibilidade de cada grupo de processadores com os moldes. Assim, para as referências a planear é elegido um dos conjuntos e, dentro de cada um, a máquina mais apropriada de entre as que finalizarão lotes. A razão é dada, na verdade, pelo agrupamento dos equipamentos não significar a completa semelhança entre eles, já que se distinguem na velocidade de processamento por si só e por cada lote de trabalhos iguais de uma referência levado a cabo. Este é obtido unicamente numa máquina, salvo os destinados a encomendas de larga escala, para as quais a organização está precavida com mais de um molde, permitindo a produção síncrona em mais do que um equipamento. Sublinha-se que um trabalho é constituído unicamente por uma operação, a de encher o molde com as pressões adequadas, com vista à obtenção da peça.

Acrescenta-se o controlo da taxa de cadência, explicado pelo facto de, consoante a referência em questão, um equipamento conseguir produzir ao mesmo tempo entre uma a nove peças (valor correspondente às cavidades do molde), tornando-se essencial o equilíbrio aceitável da quantidade de *output*, sem prejuízo nem para os colaboradores, nem para a empresa. Caso contrário, as peças secas formam fila de espera para receberem o acabamento, ocupando cavaletes, no armazém local (espaço entre os equipamentos de secagem das MEAP e o forno de cozedura de chacote). Consequentemente, a taxa de *output* nos dias seguintes terá de ser menor, para que os operadores tratem da quantidade em atraso. Também, se elevada durante o fim-de-semana, levará igualmente ao entupimento desse armazém, porque, nesse intervalo, a velocidade de escoamento dos acabadores e forneiros é inferior à de conformação das MEAP. O cenário é repetido quando se obtém, num curto intervalo, uma enorme quantidade de peças em *biscuit*, uma vez que todas serão enceradas manualmente antes da chacotagem. Por conseguinte, só se conformarão novas referências em *biscuit*, quando a fila de espera para o enceramento for nula ou reduzida. A produção ao mesmo tempo de 2 ou mais referências desse tipo não está autorizada.

Excepcionalmente, referências de peças muito complexas, grandes ou pesadas só são conformadas ao longo de 1 ou 2 dias úteis ou até de 1 turno, forçando a realização de uma mudança de molde (*setup*) para a continuação do normal funcionamento dos próximos turnos. Entenda-se que estes objetos ou irão ocupar simplesmente o espaço limitado da prateleira do topo das vagonas, ou demandam um colaborador da secção da olaria para colagem de carapetas em tampas, para conseqüente secagem, ou influenciam negativamente na ergonomia dos operadores. O início do fabrico dessas tampas depende da antecedente obtenção na olaria das devidas carapetas. Já a produção de referências de peças em pasta chinesa, acontece apenas perante encomendas e inexistência de *stock*, devendo aguardar pela preparação da matéria. Caso se tratem de poucas referências nessa situação ou até de só uma, é necessário reunir outras em extra, de maneira a consumir o volume de pasta gerado por padrão.

Portanto, o ideal é o somatório do número de cavidades de molde em utilização em todo o sistema (nas 10 máquinas) rondar entre as 14 e as 18, somente excedendo esse valor aquando de demasiadas urgências que requerem moldes com muitas cavidades. No entanto, perante a lotação do armazém local, deve-se reduzir para entre as 11 e as 13. Este evento é de difícil previsão e só se conhece no próprio dia, mas sabe-se, à partida, que se desencadeado, manter-se-á durante, pelo menos, 2 dias. Estes correspondem ao tempo de resposta a esta situação, ou seja, ao tempo de os colaboradores finalizarem o acabamento das peças acumuladas nos cavaletes. Isto consegue-se pela redução do número total de cavidades em todo o sistema, através da substituição dos moldes em atividade com mais cavidades.

Além disso, verifica-se a exigência, para certas referências, de suporte por plataformas cerâmicas (lastras), durante a cozedura de chacote, ou refratárias (do tipo grande, média ou pequena), aquando da anterior e da secagem, demandando, portanto, a disponibilidade das mesmas. Deste modo, o planeador só poderá agendar no máximo 2 referências que cozam em placas refratárias, o que, juntamente com a dificuldade criada pelo peso das peças de algumas referências, conduz por vezes ao agendamento semanal dessas. Contudo, quando essas 2 referências usufruem das placas refratárias grandes, a hipótese de as fabricar na mesma altura é automaticamente barrada pelas reduzidas existências dessas placas em armazém, devendo a conformação de uma se iniciar após o término da outra. Vedado é também o planeamento de

referências que utilizem placas, cuja área total é superior à da prateleira do secador que as receberia. A garantia de existência de lastras, após a conformação da referência que as requer, dever-se-á concretizar. A prorrogação deve-se à secagem das peças da referência, ao invés da sua enfora imediata, surgindo uma folga para a obtenção desses suportes. O princípio da produção de ambos pode coincidir ou, preferencialmente, divergir em 1 dia. A regra é a mesma para o fabrico de lastras solicitadas para referências de olaria. Note-se que o número de cavidades dos moldes de lastras não entra no total de cavidades em utilização, já que não recebem acabamento, e nunca 2 ou mais desses moldes poderão estar em atividade num mesmo instante. Esta norma só se aplica, quando as lastras se destinam a referências obtidas nas MEAP, enquanto os lotes das reservadas à olaria são percebidos como normais e iguais a quaisquer outros de referências padrão. Atente-se que os moldes de lastras são compatíveis unicamente com as máquinas restritas e que sempre que solicitadas, se consideram urgentes, pois existem peças que as aguardam, para que possam ser cozidas.

Indispensável é confirmar a presença na empresa dos moldes relativos às referências a planejar, pois pode acontecer se encontrarem noutra fábrica do grupo, tendo o planeador de o pedir via *e-mail* a um responsável de lá. Eventualmente, poderão estar a ser melhorados ou até virem a ser substituídos por novos. Porém, quando chegam à VAA, necessitam de um tratamento específico, pintura, secagem da tinta e lavagem, conduzindo ao adiamento do fabrico do lote da referência associada. Repare-se também que para cada molde, há uma aparadeira que deverá se encontrar disponível. Quanto às matrizes de amostras, estão são tidas sempre como indisponíveis até se validar a sua operacionalidade, além do seu total de cavidades ser irrelevante para a monitorização do ritmo produtivo, devido à necessidade de um baixo lote de amostras.

No que toca à interrupção da produção de um lote, há permissão para tal em qualquer momento, desde que ocasionada pelo surgimento de encomendas prioritárias, escassez de placas refratárias, lastras e cavaletes, elevada taxa de cadência produtiva, conformação em atividade problemática/anormal, ou pela urgência na execução de determinadas amostras, face à inexistência de *setups* previstos para o dia, evento geralmente aproveitado para essa tarefa. Os *setups* são praticados até um máximo de 6 por dia e somente por um operador experiente, durante o seu turno das 8 às 17 horas, exceto aos feriados e fins-de-semana. Contudo, contabilizam-se 2 operadores responsáveis pela extração das peças dos moldes, remoção dos gitos e polimento antes da secagem, e outros 3 a 4, pelo seu acabamento após tal período. Para a última função, o ideal são 4, 2 dos quais de presença obrigatória, a fim de retirem a loiça do secador e rebarbem o excesso, e os restantes 2 para a esponjarem. Esta tarefa, por vezes, é desempenhada só por 1 colaborador, mas, em contrapartida, durante um longo intervalo, leva à acumulação de peças nos cavaletes. Face à não realização de mudanças de molde nos períodos indicados, é fundamental tentar planejar nas vésperas, os lotes em espera de maiores dimensões. Em contraste, defronte a necessidade, num qualquer dia, de um número de *setups* superior a 6, procede-se à escolha das 6 referências que sairão, com habitual preferência por aquelas em *biscuit*, ou obtidas dos moldes com mais cavidades.

No caso de inexistência para alguma máquina, de referências que atendam às condicionantes impostas, planeiam-se, em extra, as mais vendidas. Deste modo, evita-se a paragem dos equipamentos e assegura-se o *stock*.

Diariamente o plano produtivo é decidido com o responsável pelos *setups* das MEAP, para uma mais fácil combinação dos fatores expostos, e depois introduzido pelo planeador no ficheiro

de *Excel*. As datas programadas para amostras e pré-produções são enviadas por *e-mail*, bem como todas aquelas questionadas pelo SAC e pelo acompanhamento de encomendas.

### **3.2. Gestão do Processo Inerente ao Problema**

O processo descrito previamente pode ser gerido segundo uma metodologia própria, que facilita a compreensão e a tomada de decisões em relação ao mesmo. Nesta sequência, abaixo reúnem-se os conceitos básicos da gestão de processos de negócio, do seu ciclo de vida e da notação para os representar (secção 3.2.1). Na mesma linha, é delineado todo um raciocínio que comandará a colocação da teoria em prática (secção 3.2.2).

#### **3.2.1. Fundamentos Teóricos**

##### **3.2.1.1. Enquadramento da Gestão de Processos de Negócio (GPN)**

Ao longo dos últimos anos, a gestão e controlo de processos de negócio tem assumido maior importância, combinando através de um conjunto de princípios, métodos e ferramentas, o conhecimento das tecnologias de informação, da gestão e da engenharia industrial, a fim de melhorar os processos de negócio (PN) (Van Der Aalst et al., 2016). Estes possuem impacto na rentabilidade e sobrevivência das empresas, afetadas pela globalização, customização em massa e gestão de riscos (Claes et al., 2017). São, mais concretamente, influenciadas pelo aumento na frequência das encomendas, pela necessidade de maior rapidez na tomada de decisões e na transferência de informação, de adaptações às mudanças na procura e aos seus tempos de ciclo mais curtos, e pelo maior número de concorrentes internacionais (Alotaibi & Liu, 2017; Ko et al., 2009).

Portanto, os engenheiros industriais aplicam a gestão de processos de negócio (GPN) como uma técnica de otimização (Mohammadi, 2017) de alinhamento humano-máquina-capital. O objetivo passa por assegurar a capacidade da organização e, assim, o equilíbrio entre a sustentabilidade da sua operação e os benefícios oferecidos aos clientes (Rensburg, 2011), com os mais baixos custos, melhores eficiência e produtividade, e o mínimo de erros e riscos (Rachdi et al., 2016).

A solução assenta então no desenho e construção de modelos de processos de negócio reais e na sua compreensão (Rensburg, 2011). Esta descrição gráfica e informal das atividades (inclui pessoas, organizações, aplicações, documentos e outra informação relacionada) (Alotaibi & Liu, 2017), eventos e fluxos de dados concerne à modelação de processos de negócio – um ramo da gestão (Rachdi et al., 2016), que visa a melhoria do desempenho dos PN e o desenvolvimento ou alteração das estruturas organizacionais, sistemas de informação e serviços *web* (Alotaibi & Liu, 2017). Tal envolve diretamente os funcionários durante toda a modificação do PN, para que entendam e apoiem o seu redesenho, e permite a identificação de modelos erróneos (Alotaibi, 2016).

Em maio de 2004, o *Business Process Modeling Initiative* tornou pública uma notação gráfica (Ko et al., 2009) e baseada no controlo de fluxogramas (Ouyang et al., 2009) para representação esquemática dos PN, designada de *Business Process Model and Notation* (BPMN). Devido ao

crescente interesse gerado e ao apoio recebido pela academia, indústria e comércio (Rachdi et al., 2016), foi, em 2006, adotado como o padrão do OMG (*Object Management Group*) (Chinosi & Trombetta, 2012), com o intuito de alcançar a portabilidade e interoperabilidade entre diferentes ferramentas de modelação (Geiger et al., 2018). Deste modo, com apenas um modelo BPMN, ou melhor, um Diagrama de Processo de Negócio, constituído por nós ligados arbitrariamente através de arcos de fluxo de controlo (Ouyang et al., 2009), é possível descrever o problema e evitar a sua fragmentação, quando convertido noutras linguagens de modelação (por exemplo, UML) (Rachdi et al., 2016).

#### 3.2.1.1.1. Ciclo de Vida da GPN

Observar de perto o mundo real, revela toda a complexidade nele contido. No entanto, provou-se que no meio do caos, existem padrões suscetíveis de ser descritos de forma estruturada. Portanto, o responsável por solucionar um dado problema, deve ser capaz de capturar os aspetos importantes, com influência nos objetivos a atingir, e de os representar em modelos. O mesmo acontece nos PN, pois apresentam padrões organizados de atividades, pertencentes a sistemas maiores, o que possibilita o estabelecimento de princípios fundamentais para a sua modelação. Tal acontece a partir de metodologias e técnicas de desenho de diagramas do problema, com a aplicação nestes de métodos para o resolver. Nesse sentido, a definição dos referidos princípios para a modelação é sustentada pela combinação dos padrões do PN, apoiados pela teoria do caos, e pelo “pensamento de sistemas”. De acordo com o último, um sistema é considerado um *todo*, cujas características advêm da união de objetos interdependentes, ordenados segundo uma hierarquia. Embora seja necessário entender o modo de integração dos componentes do sistema num *todo*, a decomposição sequencial destes subsistemas interrelacionados noutros permite a análise individual de cada um e a posterior compreensão da complexidade existente. O sistema é também limitado por fronteiras, o que não impede a interação com o que se situa para lá delas. Tendo isto em conta, primeiramente descreve-se o problema e o propósito a alcançar, seguidos da definição da estrutura do problema, constituída por objetos (recursos, pessoas ou um conceito lógico) e respetivas posições/níveis de hierarquia, bem como pelas relações entre cada um, e finalmente, constrói-se o modelo (Rensburg, 2011).

O procedimento anterior é cíclico e inclusive detalhado na literatura a partir de diferentes perspetivas de PN (Alotaibi & Liu, 2017), tal como a próxima abaixo. Para uma melhor perceção, um PN expressa o comportamento de uma organização através de uma sequência de funções, tarefas ou operações (atividades) interligadas, destinada a converter entradas em saídas, com valor para o cliente, cujas metas podem ser influenciadas por eventos ocorridos noutros PN ou em ambiente externo (Damij, Damij, Grad, & Jelenc, 2008; Alotaibi, 2016). Os PN divergem em duas categorias: (1) nucleares ou primários, inicializados fora da empresa (por exemplo, o processo de entrega do produto ao cliente) e (2) de suporte ou secundários, propulsores dos anteriores pela criação das condições favoráveis (Alotaibi, 2016).

Portanto, segundo Damij et al. (2008), o ciclo de vida da GPN rege-se pela metodologia TAD (*Tabular Application Development*), dividindo-se em seis fases: (1) identificação, (2) modelação e (3) melhoria do PN, (4) desenvolvimento do modelo de objetos, (5) desenho e (6) implementação. O seu conceito primordial indica que qualquer empresa possui um determinado número de PN,

cada constituído por um conjunto de processos de trabalho e estes, por um grupo de procedimentos e atividades. O ciclo começa com a entrevista à gestão de diferentes níveis, para identificar e determinar os PN da empresa e os processos de trabalho, a fim de desenvolver uma tabela de processos. Então, a gestão estratégica é a primeira entrevistada, para esclarecer o plano estratégico e a estrutura da organização. Esta informação servirá para conhecer com quais os PN se relacionam, o que exige, agora, transformar a gestão ao nível tático, no alvo de entrevista. Consequentemente, daqui listam-se todos os PN e cria-se um plano de futuras entrevistas com a gestão ao nível operacional, com foco nos processos de trabalho realizados em cada área funcional da empresa, e na estrutura destes. Depois de reunidos esses dados, cada PN assinalado é ligado aos seus processos de trabalho dos distintos departamentos, através de uma tabela de processos (Damij & Damij, 2009).

A segunda etapa diz respeito à modelação do processo de negócio (ver secção 3.2.1.1). Aqui, os funcionários dos departamentos, cuja gestão ao nível tático foi questionada, são também entrevistados, para recolher e organizar em duas tabelas, as atividades de cada processo de trabalho e suas características. A terceira fase foca-se na melhoria contínua e interativa do PN, o que implica o reconhecimento e a implementação de mudanças no funcionamento da empresa. Nesse sentido, a metodologia TAD sugere que o analista, auxiliado por uma equipa de colaboradores experientes, examine o processo, mais precisamente, as tabelas de atividades e propriedades, para descobrir possíveis alterações. Estas são depois testadas durante uma simulação do processo e os cenários daí resultantes, avaliados em termos de melhorias promovidas. A quarta fase engloba o desenvolvimento do modelo de objetos do sistema, utilizando as tabelas, principalmente a das propriedades. O passo inicial centra-se na identificação das classes de objetos e no esboço de um primeiro modelo de objetos. As classes mencionadas dizem respeito a grupos de objetos com propriedades (atributos) similares e comportamento (operações), semântica e relações com outros objetos (associações) em comum. Por conseguinte, o modelo de objetos é criado com base na definição de hierarquias entre classes. A quinta etapa inclui a especificação das operações do modelo de objetos, o desenho do modelo do sistema e a escrita dos algoritmos necessários, que serão transformados em códigos de programação. Tal pertence ao último passo: a implementação do modelo de objetos num sistema adequado de gestão de base de dados (Damij et al., 2008).

Contrariamente à visão exposta, Lodhi et al. (2011) afirmam que o ciclo de vida da GPN possui sete fases: (1) planear, (2) desenhar, (3) implementar, (4) executar, (5) avaliar, (6) analisar pós-execução, e (7) recomendar. Além disso, é também recursivo, uma vez que cada fase pode ter fases similares durante o seu ciclo de vida. Então, inicialmente definem-se e concetualizam-se todos os PN necessários para alcançar os objetivos visados, enquadrando-se aqui a sua representação na notação BPMN. Detalham-se, também, os objetivos individuais e o *output* do PN, bem como, a um nível abstrato, as características do modelo TO-BE (mapeamento do estado futuro do PN alvo, após melhorias). Por sua vez, estas são transferidas para a etapa de desenho. Agora, várias perspetivas dos PN, como a funcional, comportamental, organizacional e informativa, são analisadas; elementos como entradas, operações, condições, fluxos do processo, e recursos são explicitamente envolvidos; e os valores alvo de cada objeto são definidos para a fase de avaliação. Daqui, organiza-se um meticoloso modelo para a fase de implementação. Nela ocorre a “promulgação” dos processos, onde os recursos são alocados às atividades desses processos, criando o ambiente de

execução. Nesta altura, os pedidos dos clientes do PN são satisfeitos, através de operações de transformação de entradas em saídas, desempenhadas por recursos com a ajuda de sistemas de informação. Estes sistemas servem para avaliar, analisar, controlar e gerir (inclui medir, monitorizar e analisar) os PN, executando alterações em tempo real. A seguir, para obter uma análise de desempenho, os PN são avaliados a partir de medições quantitativas e qualitativas, como estatísticas e *mining* do processo, com a comparação dos valores atuais e desejados daí resultantes. Os resultados desta avaliação permitem examinar, em contexto amplo, o desempenho dos PN, e a partir das perspetivas de desempenho destes, do cliente e da organização, o cumprimento pela empresa dos seus objetivos. Esta etapa de análise pós-execução corresponde ao estabelecimento de técnicas de melhoria dos PN, que marca a fase de construção do modelo AS-IS (mapeamento do estado atual do PN alvo). Finalmente, na fase de recomendação, o PN é melhorado, onde o conceito TO-BE é colocado em prática (Alotaibi & Liu, 2017).

#### **3.2.1.1.2. Business Process Model and Notation (BPMN)**

GPN pode ser concretizada com o BPMN, uma ferramenta rica em vantagens. Primeiramente, proporciona uma notação legível e compreensível a todas as partes interessadas, desde os analistas ao *staff* (František & Vrana, 2017), o que facilita a comunicação entre todos. Apoiar também a tomada de decisões, com base, por exemplo, na análise de custos e cenários e na simulação (Ouyang et al., 2009), e possibilita a visualização por linguagens XML, projetadas para sistemas de GPN (Object Management Group (OMG), 2011).

A notação é composta por cinco elementos básicos: (1) objetos de fluxo; (2) dados; (3) objetos de conexão; (4) *swim-lanes*; e (5) artefactos. Os primeiros são os elementos básicos (František & Vrana, 2017) associados a todas as ações ocorridas num PN, que determinam o seu comportamento (Chinosi & Trombetta, 2012). Compreendem (1) atividades, (2) eventos, e (3) pontos de decisão que representam, respetivamente, trabalhos a realizar, situações inesperadas ou resultados de um processo, e pontos de controlo do fluxo também de um processo. Por seu lado, os dados permitem clarificar os *inputs* que uma atividade necessita, ou os *outputs* que essa produz. Já os objetos de conexão, ligam diferentes objetos através de (1) fluxo de sequência, ou (2) fluxo de mensagem, ou (3) associação (František & Vrana, 2017). O fluxo de sequência denota a ordem de execução dos elementos que conecta, o de mensagem captura a interação (Dijkman et al., 2008) e a comunicação entre participantes/*pools* (por exemplo, entidades de negócio), e a associação une artefactos do BPMN a objetos de fluxo (František & Vrana, 2017). Relativamente às *swim-lanes*, estas agrupam os elementos de modelação básicos em “contentores” gráficos, denominados de *pools* e *lanes*. Por fim, os artefactos mostram, sem afetar o fluxo, informação adicional acerca do processo (Chinosi & Trombetta, 2012) que não pode ser modelada por outros elementos (František & Vrana, 2017). Apesar do número limitado de tipos de elementos de BPMN, a sua variedade é grande, o que aumenta a complexidade da modelação. Para uma descrição mais completa de todos eles e das suas características, poder-se-ão consultar os trabalhos de *Object Management Group* (OMG) (2011), Rachdi et al. (2016) e Ouyang et al. (2009).

Posto isto, através de *pools* e *swim-lanes* podem-se apresentar os processos com diferentes níveis de granularidade, ou seja, do tipo (1) privado (interno), (2) público (abstrato) ou (3) de colaboração (global) (Ko et al., 2009). Entenda-se como PN privado, aquele interno a uma

organização específica, geralmente designado por fluxo de trabalho. Em oposição, processos públicos representam as interações entre um PN privado e outros processos ou participantes, expondo apenas as atividades decorrentes da sua comunicação (Object Management Group (OMG), 2011). Quanto aos processos de colaboração, estes mostram as interações e os padrões de troca de mensagens entre dois ou mais PN (Chinosi & Trombetta, 2012).

Adicionalmente apontam-se algumas orientações para a GPN, úteis para melhorar a qualidade dos modelos, ao nível da sua compreensão pelas partes interessadas, e da eliminação dos seus erros sintáticos. Para começar, é essencial selecionar processos e técnicas de modelação pertinentes, reunir os participantes certos e desenvolver um modelo relevante e claro para o utilizador, que convirja com as propriedades formais, estruturais e comportamentais do sistema real. Necessário é também tomar atenção à correção estética, sintática e semântica dos modelos, para que a informação destes possa ser comparada (por exemplo, tipo de negócio, padrões, períodos, ...). Devem ainda ser definidas medidas e indicadores de monitorização do desempenho do processo, e aplicado um método de gestão de projeto apropriado (Pietrón, 2016).

Relativamente ao desenho do processo, o modelo deve conter o mínimo possível de elementos, pois quando muito extenso, a dificuldade e a probabilidade de erro aumentam. Pela mesma razão, cada um deve ter o menor número de rotas, isto é, de arcos de entrada e saída. Mais do que um evento de início e um de fim gera igualmente confusão, pelo que se aconselha apresentar só um nó de cada. Os modelos devem ainda ser estruturados e conter ligações do mesmo tipo. Para suprimir ambiguidades, os conetores “OR” devem ser evitados e substituídos por conetores “AND” ou “XOR” (Mendling et al., 2010). Recomenda-se legendar as atividades pelo estilo verbo-objeto, porque, como provado por Mendling et al. (2010), o formato possui efeito nas perceções do utilizador e o estilo apresentado garante um melhor entendimento dos modelos. Além disso, aqueles com mais de 50 elementos devem ser divididos em mais pequenos, devido à positiva correlação entre tamanho e erros. Por outras palavras, a probabilidade de erro tende a ser superior a 50% para modelos compostos por mais de 50 elementos (Mendling et al., 2010). Note-se que as relações entre as várias perspetivas modeladas, e pertencentes ao quadro geral do negócio, devem ser bem definidas. Para terminar, o conteúdo do modelo deve obedecer à sintaxe associada à linguagem de modelação de processos utilizada.

A aplicação desta notação na modelação de sistemas logísticos é encontrada em diversos trabalhos, como o de Khabbazi et al. (2014), Badura (2014), Khabbazi et al. (2013a) e Khabbazi et al. (2013b).

### **3.2.2. Planificação do Procedimento de Gestão do Processo de Planeamento das MEAP**

A gestão do processo de planeamento das MEAP obedecerá ao modelo de Lodhi et al. (2011), pela aplicação das suas sete etapas do ciclo de vida dos PNs, cuja narração se distribui ao longo dos próximos capítulos.

Deste modo, parte-se da identificação do processo e sua modelação, com recurso à linguagem BPMN, a fim de detetar as principais fontes de problemas e planear as características positivas que as deveriam substituir, ilustrando o modelo TO-BE desejado (secção 3.3.3).

Salta-se agora para a fase do desenho, na qual se convergem as alterações idealizadas com as estratégias que as concretizarão. As últimas devem atender às particularidades do processo e possuir medidas de desempenho, para mais tarde avaliar a sua eficiência (capítulo 4).

Posteriormente, avança-se para a implementação dessas estratégias, desenvolvendo todas as ferramentas necessárias (secção 5.1.1), para que se executem juntamente com o processo geral de planeamento (secção 5.1.2) e obtenham resultados. Decorre depois a sua avaliação pela utilização dos indicadores de desempenho e sua comparação com aqueles ambicionados (secção 5.2), seguida da análise geral e mapeamento AS-IS do processo melhorado (secção 5.3). Daqui extraem-se aspetos ainda deficientes e estipulam-se as suas devidas mudanças ou objetivos de melhoria (secção 5.3), dando o mote ao reinício do ciclo e constituindo as entradas da fase de planeamento.

### 3.3. Fase de Planeamento de Melhorias no Processo de Planeamento das MEAP

O atual subcapítulo foca-se na desmistificação do processo contido no problema do estudo de caso, através da sua representação esquemática em BPMN (secção 3.3.1). Tal facilita a descoberta de situações a corrigir e o estabelecimento dos produtos finais provenientes dessa retificação (secção 3.3.2), caminhando até ao encontro das metas de melhoria do processo traçadas (secção 3.3.3).

#### 3.3.1. Diagramas de Modelação do Processo em BPMN

A partir da observação do modelo da cadeia de valor (figura 9), rapidamente se percebe que o planeamento da produção está situado linearmente entre o SAC e a produção no chão-de-fábrica.

Globalmente, o processo da programação do branco (secções 1.1 e 3.1) segue o curso representado na figura 10, incorporando etapas que envolvem os consequentes subprocessos ilustrados nas restantes figuras.



Figura 9 – Modelo da cadeia de valor da VAA.

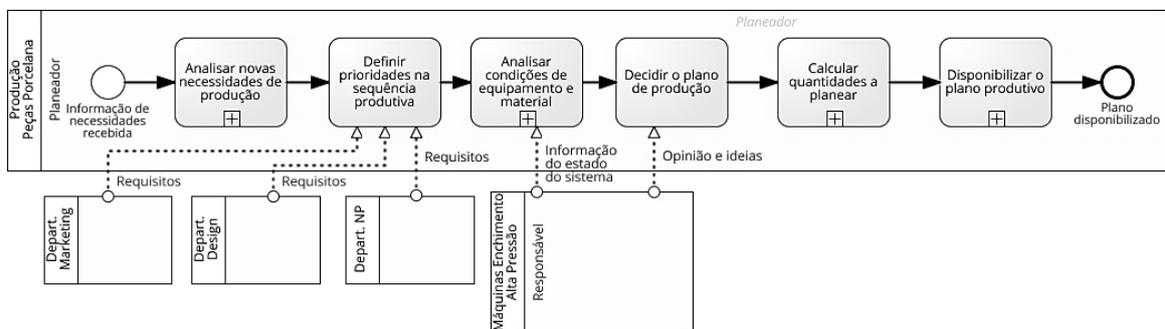


Figura 10 – Diagrama BPMN do processo de planeamento da produção de branco nas MEAP.

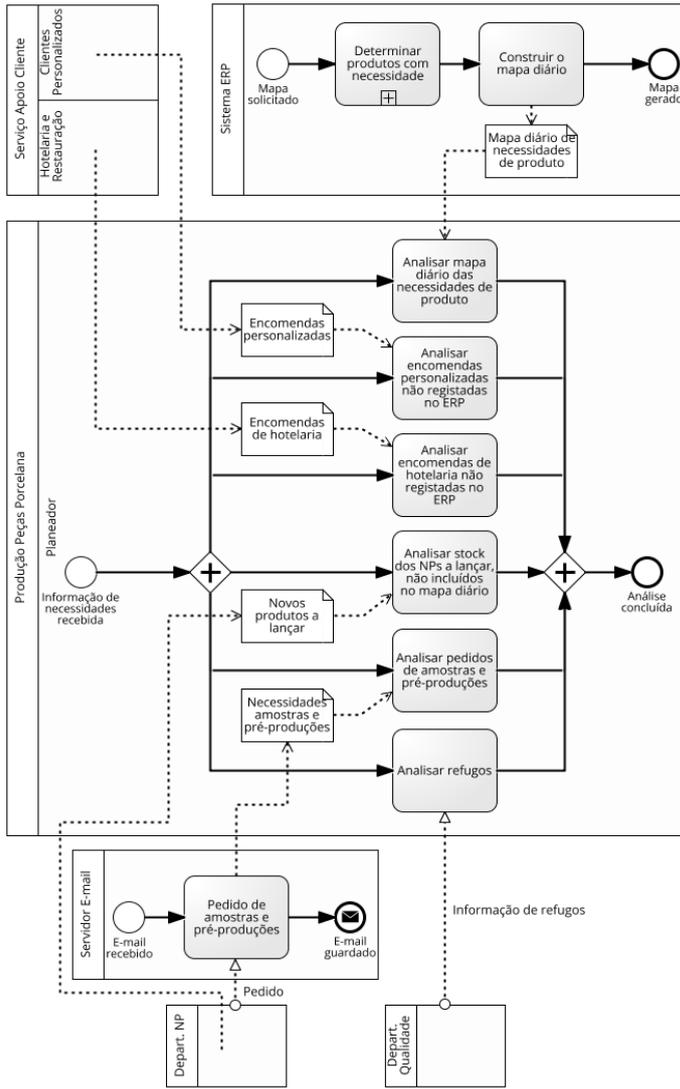


Figura 11 – Subprocesso expandido da figura 10: analisar novas necessidades de produção.

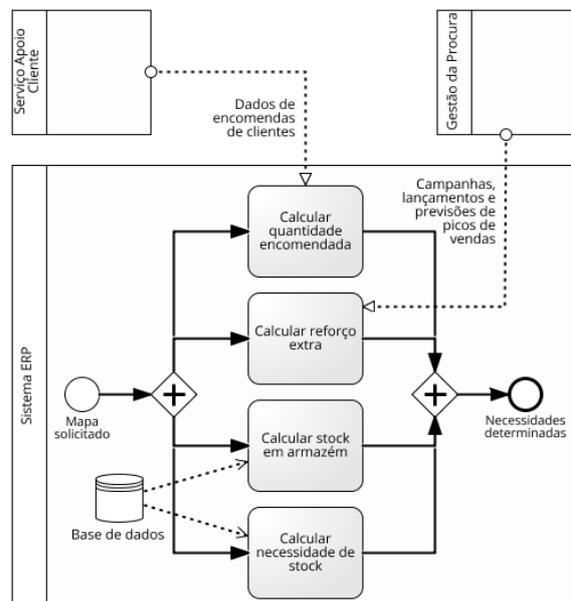


Figura 12 – Subprocesso expandido da figura 11: determinar produtos com necessidade.

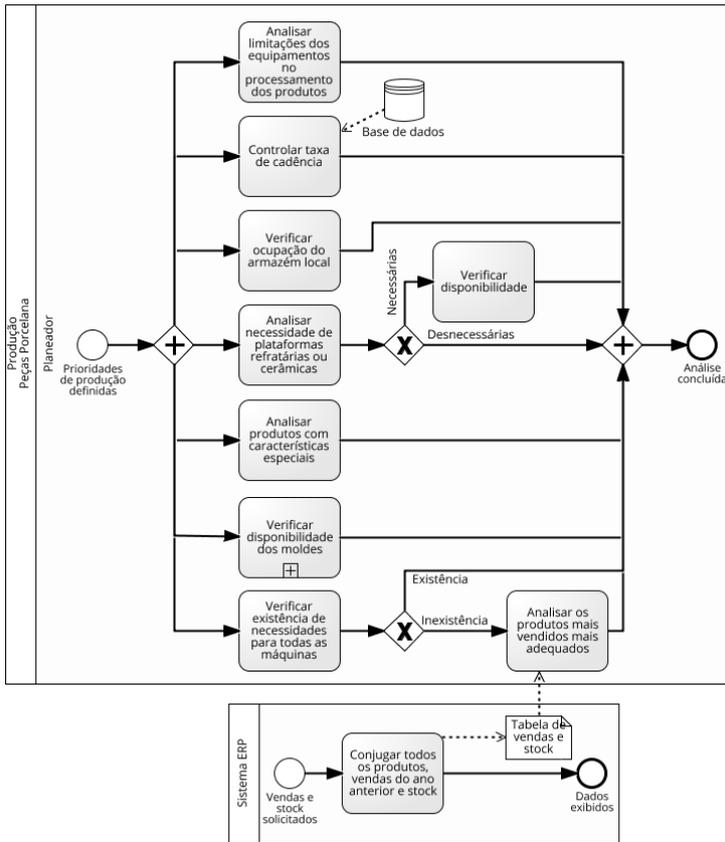


Figura 13 – Subprocesso expandido da figura 10: analisar condições de equipamento e material.

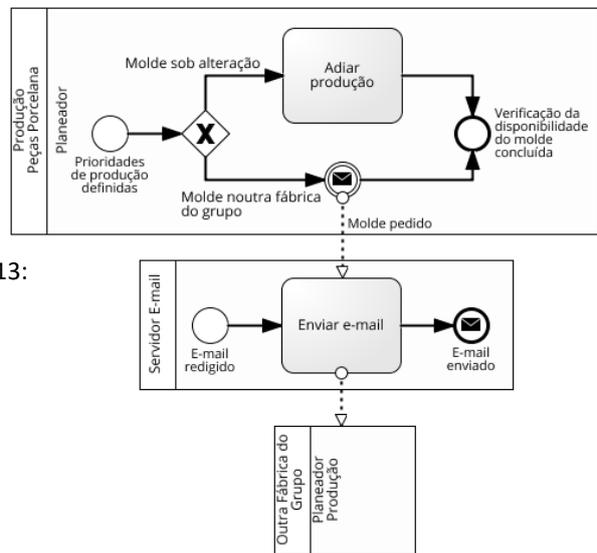


Figura 14 – Subprocesso expandido da figura 13: verificar disponibilidade dos moldes.

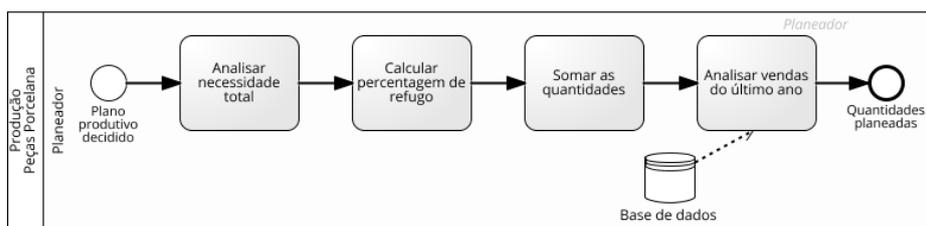
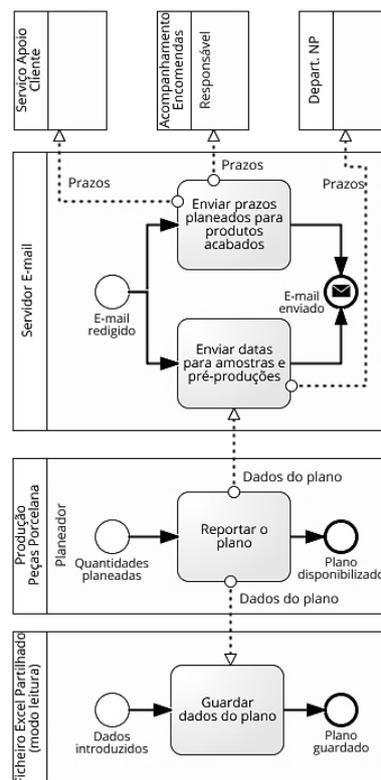


Figura 15 – Subprocesso expandido da figura 10: calcular quantidades a planear.

**Figura 16** – Subprocesso expandido da figura 10: disponibilizar o plano produtivo.



### 3.3.2. Análise Crítica do Processo

Pela aliança da observação dos diagramas de modelação com o conhecimento do estudo de caso (secção 3.1), apontou-se, na tabela 1, um conjunto de aspetos que deveriam ser modificados, com vista ao melhor funcionamento do processo em causa.

**Tabela 1** – Identificação no processo de inconvenientes, suas consequências e possíveis formas de os combater.

Inconveniente	Consequências	Possíveis Ações de Melhoria/Corretivas
1. <b>Deteção demorada de novas necessidades.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Observação diária de um mapa impresso;</li> <li>b. Memorização obrigatória das referências, para reconhecimento daquelas que surjam com necessidade, inexistente no dia anterior.</li> </ul>	Novas necessidades assinaladas automaticamente pelo sistema ERP.
2. <b>Apresentação de NPs a lançar, num documento enviado num e-mail, e dispersão de informação.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Deteção dos NPs não incluídos no mapa;</li> <li>b. Verificação da aprovação da pré-produção de cada um dos NPs num ficheiro de <i>Excel</i>;</li> <li>c. Procura no sistema ERP, do <i>stock</i> de cada um desses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. NPs introduzidos no ERP pelo departamento de NPs;</li> <li>b. <i>Stocks</i> e aprovações de pré-produções associados pelo ERP aos NPs;</li> <li>c. Necessidade de aumento dos <i>stocks</i> estudada na referida transação.</li> </ul>
3. <b>Apresentação num e-mail de amostras e pré-produções a obter.</b>	Possível perda do <i>e-mail</i> .	Amostras e pré-produções inseridas no sistema ERP.

4. Apresentação num <i>e-mail</i> do plano de produção de amostras e pré-produções.	Resposta à solicitação por <i>e-mail</i> , com as datas previstas para a sua obtenção.	Disponibilização do plano no sistema ERP.
5. Definição de prioridades na sequência produtiva, sem ferramentas de apoio.	Conjugação através de um processo lógico e mental dos requisitos dos departamentos de <i>marketing</i> , <i>design</i> , novos produtos e do próprio de logística/planeamento, com muitos deles dispersos pelas plataformas de informação, o que impede um planeamento de maior prazo.	Criação de um sistema de apoio à tomada de decisão.
6. Ausência no mapa da identificação das máquinas elegíveis para cada referência.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Memorização das relações de compatibilidade mencionadas;</li> <li>b. Questionamento dessas ao responsável pela secção;</li> <li>c. Consulta do histórico de registos de produção de branco no ERP.</li> </ul>	Referências separadas pelas máquinas compatíveis, atribuídas sempre que possível às seis mais restritas.
7. Ausência no mapa, para cada referência, do número de cavidades do respetivo molde.	Consulta frequente do total de cavidades no ERP, para a realização de um plano de produção, que proporcione uma taxa de cadência equilibrada e apropriada para o estado de entropia no setor das MEAP.	Inclusão de uma coluna com a referida informação no mapa diário de necessidades de branco.
8. Ausência no mapa e no sistema ERP da necessidade de placas refratárias de cada referência.	Consulta frequente de uma tabela com todos as referências que requerem placas refratárias, obtida pela fotocópia da existente no setor, para orientação dos colaboradores.	Inclusão da referida informação no sistema ERP, para posterior introdução no mapa diário de branco.
9. Necessidades insuficientes para ocupar todas as máquinas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Construção e impressão de uma tabela com vendas, <i>stock</i> e sua diferença para cada referência de linha;</li> <li>b. Seleção pelo planeador do mais apropriado a alocar no processador disponível.</li> </ul>	Dados analisados e referência escolhida pelo sistema de apoio à tomada de decisão.
10. Partilha ineficiente do estado de disponibilidade dos moldes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Registo da disponibilidade dos moldes, guardado somente no computador do responsável pelas MEAP;</li> <li>b. Dependência do colaborador no conhecimento desse estado.</li> </ul>	Disponibilização da referida informação no sistema ERP.
11. Partilha ineficiente do estado do sistema e das restrições das máquinas.	Dependência do responsável para o conhecimento dessa informação (estado de ocupação dos cavaletes, incompatibilidades na conjugação de determinadas referências e com certas máquinas, ...).	Partilha e armazenamento das referidas condições no sistema ERP.
12. Acesso ineficaz aos moldes presentes noutra fábrica do grupo.	Pedido de envio do molde ao planeador dessa fábrica, via <i>e-mail</i> .	Molde solicitado automaticamente pelo ERP ao interveniente nomeado.

<b>13. Construção do plano de produção sem qualquer automatização.</b>	Dependência total do planeador e do encarregado pela secção na determinação do plano, pela inexistência de um espaço que reúna todos os aspetos técnicos e de logística a considerar, e de um sistema que, mediante esses, ofereça uma solução prática.	Criação de um sistema de apoio à tomada de decisão.
<b>14. Dimensionamento de lotes pouco preciso.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Cálculo baseado na necessidade total de branco e nas vendas do ano anterior;</li> <li>b. Utilização de uma percentagem de segurança e lixo fixa e igual para todas as referências.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Cálculo baseado adicionalmente nas quantidades reais produzidas no passado (análise de dados);</li> <li>b. Utilização de uma percentagem de segurança e lixo variável com a referência em questão.</li> </ul>
<b>15. Plano de produção reportado num ficheiro de Excel, partilhado em modo de leitura.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Transcrição manual das quantidades conformadas no dia anterior, uma de cada vez;</li> <li>b. Inserção manual das referências programadas (designação, código e lote).</li> </ul>	Plano guardado no sistema ERP, com acesso facilitado a todas as partes interessadas.
<b>16. Falta de visão do programa de produção a curto prazo.</b>	Realização do plano de produção diariamente, sem qualquer perspectiva futura.	Planeamento diário complementado com uma previsão do programa para os próximos sete dias.

### 3.3.3. Alvos de Melhoria do Processo e Modelo TO-BE

Dada a longa lista sugerida de intervenções no processo, o trabalho foca-se somente nos inconvenientes 1., 5. a 9. e 13. a 16., aglutinando todas as ações arquitetadas numa única: a criação de um sistema de apoio à tomada de decisão no planeamento da produção das MEAP.

Para começar, o sistema deverá analisar o mapa diário de branco e reconhecer as novas referências, as urgências e as necessidades, e as solicitações de amostras e pré-produções, distribuindo-as, mediante uma ordem de prioridades, atempadamente definida, pelas filas de espera e em processamento, e calculando para as da última, a sua quantidade em WIP. Por conseguinte, deverá repartir as referências em espera pelas máquinas consigo compatíveis e atribuir-lhes um lote em conformidade com a sua necessidade total e a sua própria percentagem de segurança e lixo.

Deverá também ler diariamente os dados relativos a (1) datas de entrega, à (2) disponibilidade dos moldes e à (3) capacidade atual dos cavaletes, tal como outras restrições ao nível das (4) características das peças de cada referência e do (5) funcionamento da secção, inseridos pelo utilizador. A introdução dos dados relativos aos pontos (2) e (3) deverá suceder-se após o contacto com o responsável pelo setor fabril.

O sistema fica assim preparado para realizar um plano diário de produção, afetando as referências por cada equipamento fabril, de modo a: (1) equilibrar o número total de cavidades de molde em atividade em todas as MEAP; (2) garantir a utilização conjunta de plataformas refratárias e de lastras para um dado máximo de referências; (3) verificar o *stock* das lastras e se insuficientes, agendar a sua produção para o dia seguinte ao de início da referência que a requer; (4) alocar as referências mais apropriadas para as máquinas desocupadas, considerando as suas propriedades

físicas e técnicas; (5) respeitar as limitações dos *setups* dos processadores; e (6) assegurar o cumprimento das datas de entrega. Adicionalmente, deverá: (1) adiar as referências cujo molde se encontra indisponível; e (2) perante uma taxa de cadência excessiva, programar referências, de modo a que o total de cavidades em todo o sistema seja menor que o total assumido como equilibrado, para esvaziar os cavaletes. Por fim, deverá alargar a reprodução desta lógica aos 6 dias consecutivos que se seguem.

Torna-se, pois, clara a alteração da sequência do processo, pela deslocação do cálculo do tamanho dos lotes para a terceira posição, atrás da averiguação das condições no setor fabril. No entanto, é a ordem considerada mais adequada e aquela que regerá a fase de execução.

## **4. Fase de Desenho do Processo de Planeamento das MEAP**

Este quarto capítulo contém todo o desenvolvimento da abordagem que funcionará como o elo de ligação entre os inconvenientes do processo e o modelo TO-BE pensado. Nesse sentido, a materialização do sistema de apoio à decisão pressupõe o estudo aprofundado do problema de planeamento das MEAP, desde a sua classificação segundo a literatura científica (secção 4.1), até à investigação nela de abordagens de solução para situações pertencentes à mesma categoria ou semelhantes (secção 4.2.1). Este trabalho de pesquisa permite o desenho do sistema e a escolha das medidas de desempenho para avaliação desse e do processo como um todo, após a integração do anterior (secção 4.2.2).

### **4.1. Classificação do Problema**

#### **4.1.1. Fundamentos Teóricos**

Nesta secção são explorados os diversos elementos relevantes na caracterização dos problemas de escalonamento da produção e o modo como se relacionam e possibilitam a concretização de uma série de trabalhos, mediante um definido plano produtivo. Identificam-se alguns dos principais tipos dessas problemáticas, e minuciam-se quatro nomenclaturas a empregar na classificação clara e objetiva da situação das MEAP. O conteúdo está separado por tabelas, opção justificada pela maior facilidade na leitura e apreensão das várias categorias existentes.

##### **4.1.1.1. Problema de Escalonamento**

O crescimento do sucesso das empresas, a oferta de melhores serviços ao cliente e a conquista de maiores lucros, em muito se devem ao planeamento da produção (Varela & Carmo-Silva, 2008). Esta atividade está diretamente relacionada com a resolução de problemas de escalonamento, isto é, com a alocação de tarefas a recursos de produção disponíveis, ou vice-versa, ao longo do tempo, procurando satisfazer algum critério (Graves, 1981). Blazewics et al. (2007) acrescenta mesmo que planear significa atribuir processadores e (possivelmente) recursos adicionais, de diversos tipos, a tarefas a completar, mediante certas restrições. Daqui resulta um programa de produção, que pode ser perçecionado a vários níveis hierárquicos de decisão. Contudo, o presente trabalho direccionou-se para o escalonamento operacional, traduzido em programas detalhados ou de curta duração e ligado ao controlo da produção (Varela, 2007).

Portanto, um problema de escalonamento surge da necessidade de planear a execução de um conjunto de trabalhos num dado ambiente fabril, caracterizado pela sua diversidade de meios de produção principais (ou processadores) e auxiliares, de acordo com determinados objetivos de otimização, baseados em medidas de desempenho (Varela, 2007).

##### **4.1.1.2. Aspetos Representativos dos Ambientes de Produção**

Neste item é apresentada a informação relativa a trabalhos, processadores e meios auxiliares, ambientes de escalonamento e de produção, e a determinados casos especiais.

Para começar, a tabela 2 contém o tipo de trabalhos para quando individualizados, ou agrupados, enquanto que a tabela 3 mostra os casos particulares de produção por lotes de trabalhos (Varela, 2007).

**Tabela 2** – Caracterização de cada tipo de trabalho.

Tipo	Caracterização
<b>Trabalho simples</b>	Conjunto de operações de transformação de entradas em saídas.
<b>Trabalho composto</b>	Conjunto de 2 ou mais sub-trabalhos processados simultânea ou sequencialmente, em processadores diferentes ou similares.
<b>Lote</b>	Conjunto de trabalhos processados conjuntamente num mesmo processador ou num grupo deles (ver tabela 3).
<b>Família de trabalhos</b>	Conjunto de trabalhos simples e com semelhanças, cuja execução é ou não interdependente tecnologicamente.

**Tabela 3** – Caracterização da produção com cada tipo de lote de trabalhos.

Tipo						Caracterização
I	D	S	C	R	NR	
X		X			X	Produção de $x$ unidades da mesma peça ou produto (por exemplo, 10 pratos iguais), sem dependência tecnológica entre a execução de cada uma.
	X	X			X	Produção de $x$ unidades de diferentes peças ou produtos, sem dependência tecnológica entre a execução de cada uma; Vantagem: tecnologia de grupo em linhas ou células de fabrico.
	X		X	X		Produção de diferentes componentes, com dependência tecnológica entre a execução de cada um e cuja integração num todo (montagem) forma uma única peça.
X			X		X	Produção de $x$ unidades do mesmo produto (por exemplo, 10 terrinas do mesmo modelo), cada com diversos componentes (tampa, fundo, carapeta e asas), sem dependência tecnológica entre a execução de cada produto.

Lotes de trabalho do tipo: **I** – Iguais; **D** – Diferentes; **S** – Simples; **C** – Compostos; **R** – Relacionados; **NR** – Não Relacionados.

A tabela 4 exhibe os aspetos que permitem descrever um determinado trabalho a executar (Varela, 2007; Brucker, 2007; Błażewicz et al., 2001), ao passo que a tabela 5 detalha as classes do aspeto “interrupção” (Morton & Pentico, 1993).

**Tabela 4** – Caracterização dos diversos aspetos relativos a cada trabalho.

Aspeto	Caracterização
<b>Filosofia de chegadas</b>	Instantes de tempo, a partir dos quais os lotes ou trabalhos estão disponíveis para processamento no sistema produtivo.
<b>Data ou prazo de entrega</b>	Instante de tempo específico para a finalização de um lote, trabalho ou operação, que se ultrapassado pode incorrer numa penalização.
<b>Tempo de processamento</b>	Período de tempo, durante o qual uma máquina executa um trabalho.
<b>Restrições nos tempos de processamento</b>	Limitação do tempo de processamento de cada trabalho a um dado intervalo de valores.
<b>Interrupção</b>	Suspensão, em qualquer momento, do processamento de um lote, trabalho ou operação, com possível retoma mais tarde, no mesmo ou noutra processador (ver tabela 5).
<b>Paragem</b>	Indisponibilidade em certos períodos de uma máquina, devido, por exemplo, a turnos ou à realização da manutenção programada.
<b>Prioridade</b>	Indicador da urgência ou importância relativa de diferentes trabalhos ou lotes.

<b>Restrições de precedência</b>	Imposição da conclusão prévia de um conjunto de trabalhos ou operações, para que se inicie o próximo conjunto, cuja representação se obtém por meio de grafos, caminhos ou árvores.
<b>Operação multiprocessador</b>	Operação, cujo processamento requer mais do que um processador em simultâneo, ou outros recursos, denominados de auxiliares (ver tabela 6).

**Tabela 5** – Caracterização de cada tipo de interrupção.

<b>Tipo</b>	<b>Caracterização</b>
<b>“Interrupção complexa”</b>	Interrupção que provoca uma certa penalização, desde novamente desperdícios de tempo com <i>setups</i> , perdas de produtividade ou até danos de material, ferramentas ou equipamentos.
<b>“Interrupção livre”</b>	Interrupção associada à partição de lotes, pela permissão do processamento simultâneo de diferentes trabalhos em processadores diferentes.

A tabela 6 discrimina a complexidade inerente aos processadores e recursos indispensáveis na produção (Pinedo, 2016; Varela, 2007; Brucker, 2007; Błażewicz et al., 2001; Jordan, 1996; Morton & Pentico, 1993). Estes são ainda esmiuçados nas tabela 7 e 8, em termos de restrições e divisibilidade (Edis, Oguz, & Ozkarahan, 2013).

**Tabela 6** – Caracterização de cada tipo de processador e dos aspetos e elementos relacionados.

<b>Elemento</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Processador</b>	Recurso de produção principal para realização de trabalhos, correspondente a um posto de trabalho manual ou automático.
<b>Processador multifunção</b>	Processador capaz de realizar inúmeras operações de trabalhos distintos, ou até mesmo todas de todos, desde que provido das ferramentas adequadas.
<b>Processador multi-item</b>	Processador capaz de manipular ao mesmo tempo 2 ou mais lotes, trabalhos ou operações, sem que entre cada seja necessário prepará-lo devidamente.
<b>Processador crítico</b>	Processador entre os mais utilizados, logo sempre ou quase sempre congestionado, podendo originar gargalos de estrangulamento ou quiçá a paragem do sistema produtivo.
<b>Processadores agregados</b>	Grupo de 2 ou mais processadores visto como um só processador, com uma só fila de espera de trabalhos à entrada, cujo seu sequenciamento constitui a única decisão a tomar.
<b>Restrições de elegibilidade de máquina</b>	Limitações decorrentes em ambiente de máquinas em paralelo, das quais somente algumas são capazes de processar um determinado trabalho.
<b>Preparação</b>	Processo de alteração do estado do processador para executar um determinado trabalho, com custos, consumo de tempo e impacto na produtividade, e sem incremento de valor do produto.
<b>Tempos de preparação dependentes da sequência</b>	Atraso no processamento de um determinado trabalho, devido ao tempo de preparação provocado pela necessidade de colocação da máquina em moldes diferentes daqueles aos quais o trabalho anterior foi submetido; em oposição, os tempos de preparação são incluídos nos tempos de processamento, se independentes da sequência.
<b>Armazém local</b>	Espaço físico situado entre dois processadores contíguos, partilhado por ambos ou mais, ou dedicado a um só, que alberga trabalhos em espera pela persecução até ao próximo processador.
<b>Recurso auxiliar</b>	Recurso adicional (por exemplo, ferramentas, robôs, operadores, veículos de transporte) que, durante um certo espaço temporal, auxilia o processador a completar trabalhos.

<b>Disponibilidade dos processadores e recursos</b>	Aspeto temporal relativo à atividade dos processadores e recursos auxiliares, podendo ser ilimitada, condicionada ou inativada propositadamente (por exemplo, para o processamento imediato de trabalhos urgentes que cheguem ao sistema), durante um dado intervalo.
---	---

**Tabela 7** – Caracterização de cada tipo de restrição de recursos auxiliares.

<b>Tipo</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Renováveis</b>	Recursos totalmente restringidos quando utilizados num dado trabalho, durante um certo período, tornando-se, ao fim deste, novamente disponíveis para um outro trabalho.
<b>Não renováveis</b>	Recursos totalmente consumidos num dado trabalho, tornando-se, ao fim deste, indisponíveis para um outro.
<b>Duplamente restritos</b>	Recursos simultaneamente renováveis e não renováveis.

**Tabela 8** – Caracterização de cada tipo de divisibilidade de recursos auxiliares.

<b>Tipo</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Discretos</b>	Recursos afetados a trabalhos em unidades discretas a partir de um dado conjunto finito de possíveis alocações.
<b>Contínuos</b>	Recursos afetados a trabalhos em quantidades arbitrárias dentro de um intervalo.

Com base nos elementos atrás apresentados, é estudada a diversidade de ambientes de produção, já que se assumem como uma configuração organizacional do sistema produtivo, formada pela integração vinculada de trabalhos, processadores e eventuais recursos auxiliares, e respetivas características e restrições. Diferenciam-se, sobretudo, pelo número de fases/operações de um trabalho, isto é, de etapas de transformação, realizadas num posto de trabalho, que englobam operações simples ou elementares, algo revelado pela tabela 9 (Varela, 2007).

**Tabela 9** – Caracterização de cada tipo de ambiente produtivo segundo o número de fases/operações.

<b>Tipo</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Uni-operação/ Uni-fase</b>	Ambiente caracterizado pelo processamento de trabalhos com uma só operação, num posto de trabalho individual e autónomo.
<b>Multi-operação/ multi-fase</b>	Ambiente caracterizado pelo processamento de trabalhos com 2 ou mais operações, que poderão ser efetivadas no mesmo processador, após a sua preparação, ou no subsequente.

A tabela 10 realça os tipos de processadores possíveis de encontrar num sistema de produção uni-operação e a tabela 11 foca-se na ramificação de um desses tipos (Varela, 2007; Brucker, 2007; Błażewicz et al., 2001; Morton & Pentico, 1993).

**Tabela 10** – Caracterização de cada tipo de processadores típicos nos sistemas produtivos uni-operação.

<b>Tipo</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Único</b>	Sistema composto por um só processador disponível para concretizar trabalhos de uma só operação, que aguardam somente em uma fila de espera, e cuja ordenação é a única decisão a tomar.
<b>Paralelos</b>	Sistema composto por mais do que um processador com iguais funções, disponíveis para concretizar trabalhos de uma só operação, que aguardam somente em uma fila de espera, e cuja ordenação e afetação aos equipamentos constituem as decisões a tomar.

**Tabela 11** – Caracterização de cada tipo de processadores paralelos típicos nos sistemas produtivos uni-operação.

<b>Tipo</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Idênticos</b>	Conjunto de processadores com o mesmo tempo de processamento para cada trabalho ou operação.
<b>Uniformes</b>	Conjunto de processadores com diferentes velocidades de processamento para cada trabalho ou operação, mas a título individual, com velocidade constante e independente do trabalho em si.
<b>Não relacionados</b>	Conjunto de processadores com diferentes velocidades de processamento para um mesmo trabalho ou operação e a título individual, com velocidade dependente do trabalho, o que os torna mais especializados para uns do que para outros.

Em contradição, a tabela 12 aponta os cenários típicos dos sistemas de produção multi-operação, sem a admissão de restrições de precedência entre operações, isto é, dos sistemas gerais (logo, os sistemas uni-operação são não gerais) (Varela, 2007; Brucker, 2007; Morton & Pentico, 1993).

**Tabela 12** – Caracterização de cada tipo de sistemas gerais.

<b>Tipo</b>	<b>Caracterização</b>
<b>Oficina geral (general job shop)</b>	Sistema com processadores agrupados segundo as funções que desempenham, o que aufere diferentes fluxos de trabalho e permite uma produção relativamente diversificada e em quantidades variadas, mas menores que as de linhas de produção.
<b>Linha de produção (flow shop)</b>	Sistema de fluxo linear e uni-sentido, com cargas geralmente bem balanceadas, sujeitas a restrições de precedências e cuja ordenação constitui a decisão a tomar; incluem-se ainda as linhas com permissão de avanço de postos por parte dos trabalhos ou de revisita a postos anteriores com posterior ingresso no a seguir àquele onde estava antes da revisita.
<b>Sistema aberto</b>	Sistema com processamento de trabalhos com um número de operações igual a uma constante ou ao total de processadores, sem a imposição de quaisquer restrições de precedência entre elas e cuja decisão reside na ordenação da execução dessas operações num mesmo processador.

Acrescentam-se ainda os ambientes de produção flexíveis que designam os sistemas com, em cada posto de trabalho, mais do que um processador à escolha, capaz de realizar uma mesma operação, apesar de esta requerer somente um deles. Destes ambientes fazem parte, por exemplo, os sistemas flexíveis de processadores paralelos, ou seja, sistemas com processamento de trabalhos de uma só operação num dos processadores pertencentes a um subconjunto de processadores idênticos, uniformes ou não relacionados, que, por sua vez, pertence ao conjunto global de processadores existentes (Varela, 2007).

Há também ambientes de produção de trabalhos multi-processador, que dizem respeito a sistemas compostos por um conjunto de processadores disponíveis para concretizar trabalhos com uma ou mais operações, sujeitas ou não a relações de precedências, e processadas por 1 ou, em simultâneo, por 2 ou mais processadores pertencentes a um subconjunto do conjunto de processadores existentes (Varela, 2007).

Por fim, Varela (2007) indica que os dois últimos ambientes podem pertencer à classe dos gerais, originando no seu conjunto um novo tipo de sistemas, os gerais flexíveis de multiprocessador, que integram por completo as características de cada classe individual. Esta categoria inovadora divide-se nas seguintes outras: (1) na própria de gerais flexíveis de multiprocessador, (2) na de gerais flexíveis, (3) gerais de multiprocessador e (4) gerais. Por sua vez,

as anteriores decompõem-se noutras, como por exemplo a dos gerais flexíveis, que se separa nos ambientes (1) gerais flexíveis de fase múltipla e (2) flexíveis de fase única. No fundo, a cada ramificação detalha-se mais o sistema produtivo, colocando-o, alternativamente, ao nível de (1) processadores únicos, (2) paralelos, (3) oficinas, (4) linhas ou (5) sistemas abertos e de (6) uni ou (7) multi-fase. Apesar de a classe geral não abarcar os sistemas de fase única, ao divergir acaba por os abranger.

#### 4.1.1.3. Diversidade de Problemas de Escalonamento

O leque de problemas de escalonamento é vasto e o das suas possíveis resoluções, imenso, almejando-se, normalmente, alcançar soluções válidas. Assim, a tabela 13 demonstra alguns dos mais conhecidos problemas e a tabela 14 e 15, os tipos de ambientes de escalonamento (Varela, 2007; Jordan, 1996).

**Tabela 13** – Caracterização de alguns dos tipos de problemas de escalonamento mais estudados.

Tipo	Caracterização
<b>Clássico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Processadores e trabalhos com operações pré-definidas;</li> <li>b. Tempos baseados na filosofia de chegadas e disponibilidade dos processadores;</li> <li>c. Realização de cada operação num só processador de cada vez, com eventual utilização de recursos auxiliares;</li> <li>d. Realização em cada processador de no máximo uma operação de cada vez;</li> <li>e. Consideração de restrições de precedência e/ou de processadores.</li> </ul>
<b>Expandido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Todas as características do tipo clássico;</li> <li>b. Mudanças nas estratégias de planeamento da capacidade:               <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Alteração da quantidade de meios de produção (por exemplo, utilização de mais processadores e conseqüente redução do tempo de execução);</li> <li>ii. Reconfiguração interna dos meios de produção (por exemplo, utilização de tecnologias alternativas ou alteração do processo produtivo);</li> <li>iii. Reconfiguração externa dos meios de produção (por exemplo, renegociação dos prazos de entrega e custos de penalização, baseada na capacidade fabril).</li> </ul> </li> <li>c. Processamento de famílias, lotes ou trabalhos individuais.</li> </ul>

**Tabela 14** – Caracterização das envolvências dinâmica e estática dos ambientes de escalonamento, consideradas no estudo das tarefas e do sistema.

Tipo	Caracterização
<b>Dinâmico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Cenário mais frequente na indústria;</li> <li>(2) Trabalhos e sistemas produtivos mais ou menos complexos;</li> <li>(3) Eventos mais ou menos imprevisíveis e aleatórios que adicionam, removem ou atualizam restrições no tempo de processamento e ao nível dos trabalhos.</li> </ul>
<b>Estático</b>	Oposto do tipo dinâmico: sem ocorrência de eventos que alterem os dados ao longo do tempo.

**Tabela 15** – Caracterização das naturezas determinística e estocástica dos ambientes de escalonamento, consideradas na ponderação das variáveis para obtenção de soluções.

Tipo	Caracterização
<b>Determinístico</b>	Dados com valor bem definido, conhecido e fixo (por exemplo, a filosofia de chegadas).
<b>Não determinístico</b>	Dados com valor pouco definido e incerto (por exemplo, filosofia de chegadas aleatória e tempos de processamento com distribuição estocástica).

#### 4.1.1.4. Nomenclaturas Qualificativas de Problemas de Escalonamento

Em alternativa à especificação de um problema de escalonamento em especial, através da sua inserção nos vários tipos antes explicados, surgiram diversas nomenclaturas que visam a sua categorização simples e estruturada, bem como uma maior facilidade na pesquisa de situações semelhantes e dos respetivos métodos de resolução.

Graham et al. (1979), Brucker (2007), Blazewicz et al. (1983) e Pinedo (2016) são alguns dos autores que se interessaram por esta questão. Muito à semelhança uns dos outros, desenvolveram uma nomenclatura do tipo geral  $\alpha | \beta | \gamma$ , cujas duas primeiras classes concentram mais do que um parâmetro, cada referente a um dos aspetos aludidos na secção 4.1.1.2. Portanto, o conjunto  $\alpha$  diz respeito aos atributos do ambiente de produção (isto é, sistemas e máquinas disponíveis),  $\beta$  aos trabalhos, processadores, recursos e restrições de processamento, e  $\gamma$  ao critério de otimização/função-objetivo (indicador de eficiência de sistemas de produção).

Todavia, de acordo com Varela (2007), embora a nomenclatura dos últimos 3 investigadores referidos apresente uma boa clareza, objetividade, abrangência, detalhe e estrutura, e uma excelente facilidade de integração e utilização, não cobrem na sua plenitude a elevada diversidade de problemas produtivos da indústria. Neste âmbito, Varela & Carmo-Silva (2008) apoiaram-se nas nomenclaturas destes e de outros reconhecidos autores e propuseram uma mais alargada, com aplicação num número superior de casos académicos e reais de escalonamento. Essa nova nomenclatura está também configurada no tipo  $\alpha | \beta | \gamma$ , com classes divisíveis em parâmetros, instanciáveis a vários níveis, e com significado idêntico às das suas fontes, características sintetizadas na tabela 16.

**Tabela 16** – Caracterização de cada classe e respetivos parâmetros pertencentes à nomenclatura proposta por Varela & Carmo-Silva (2008).

Classe	Parâmetro		Caracterização
$\alpha$	$\alpha 1$	Ambiente de produção	Tipo de sistema de produção (gerais flexíveis de trabalhos multiprocessador, gerais flexíveis, gerais de multiprocessador e gerais).
	$\alpha 2$		Número de processadores no sistema (fixo e igual a inteiro positivo, ou variável, ou nulo, se o sistema é de processador único).
$\beta$	$\beta 1$	Trabalhos	Interrupção ou não.
	$\beta 2$		Relações de precedência entre trabalhos.
	$\beta 3$		Filosofia de chegadas.
	$\beta 4$		Restrições nos tempos de processamento.
	$\beta 5$		Existência ou não de datas ou prazos de entrega.
	$\beta 6$		Produção por lotes de trabalhos ou não (neste caso, $\beta 6$ pode ser omitido).
	$\beta 7$	Existência ou não de famílias de trabalhos.	
	$\beta 8$	Existência ou não de trabalhos compostos.	
	$\beta 9$	Quantidade de trabalhos, operações ou lotes.	
	$\beta 10$	Existência ou não de prioridades de trabalhos.	
	$\beta 11$	Existência ou não de trabalhos multiprocessador.	
	$\beta 12$	Processadores e recursos	Restrições ou não na elegibilidade de processadores/recursos.
	$\beta 13$		Disponibilidade contínua ou não dos processadores/recursos.
	$\beta 14$		Existência ou não de recursos auxiliares.
	$\beta 15$		Existência ou não de processadores/recursos críticos.

	$\beta_{16}$	Existência ou não de preparação nos processadores/recursos.
	$\beta_{17}$	Existência ou não de armazéns locais.
	$\beta_{18}$	Existência ou não de processadores flexíveis.
$\gamma$	$\gamma$	Critério de otimização do sistema.

#### 4.1.2. Categorização do Problema

Terminada a descrição dos aspetos habitualmente ligados aos problemas de escalonamento da produção, é possível agora utilizá-la como suporte na classificação da situação explicitada na secção 3.1.

Seguindo a ordem anterior dos elementos, as MEAP viabilizam a obtenção de **trabalhos simples e iguais** (mesma referência), agrupados em **lotes** para uma produção mais alargada, e sem que a consecução de um dependa tecnologicamente da de outro (**trabalhos não relacionados**). O tamanho dos lotes é variável e está de acordo, para produções efetivas, com as necessidades de branco, refugos e vendas, ao passo que, para amostras e pré-produções, vai ao encontro das indicações do departamento de NPs.

O **instante de chegada** de um lote ao sistema é reconhecido como o dia do surgimento da respetiva referência, nova no mapa diário de necessidades. Porém, a sua disponibilidade para processamento diverge entre imediata, dependente de processadores e/ou recursos, da complexidade da peça e do tipo de pasta cerâmica requerida. Por outro lado, a **data de entrega** do produto acabado deve preceder a conclusão da produção dos decalques, dar espaço de manobra na estamperia e respeitar o prazo de expedição para as grandes superfícies clientes, devido às penalizações provocadas por atrasos. Portanto, a saída das peças da fase de acabamento nas MEAP para o seu cliente interno, o forno de primeira cozedura, deverá ser ainda mais cedo, instante esse que constitui aqui o prazo de entrega. Quanto ao **tempo de processamento**, está sujeito a **limitações** relacionadas com a taxa de cadência produtiva, propriedades das peças de cada referência, capacidade de forno de chacote, ocupação do armazém local e utilização das plataformas de suporte.

A **interrupção** está autorizada em determinados casos (ver secção 3.1), todavia causa constrangimentos, desperdícios e custos. A juntar está a não obtenção de um lote simultaneamente em dois processadores distintos, dada a existência de um molde por cada referência (ignorando as escassas encomendas de enorme *makespan*, que usufruem de vários moldes), o que torna a interrupção no tipo **complexa**. Em termos de **paragem** na produção, apenas se verifica aquando de manutenção, mudança de turno, mudança de moldes e encerramento da fábrica para férias.

O sequenciamento das referências tem em atenção a **prioridade** das mesmas, pelo que a urgência decresce para aquelas cujo *stock* não cobre o saldo de carteira, seguidas daquelas com necessidade de *stock*, e por último, dos extras. A nível de **restrições de precedência de trabalhos**, verifica-se unicamente nas referências que partilham as mesmas placas refratárias, que nunca podem ser produzidas mais do que 2 sincronamente, pois rapidamente esgotariam todas as plataformas, nem mais do que 1 que utilize as placas de maior tamanho, uma vez que essas existem em baixa quantidade.

Qualquer **operação** é do tipo **multiprocessador**, porque requer ao mesmo tempo um dos 10 processadores, um molde, uma aparadeira e até as chamadas lastras ou placas refratárias. Esses 10 processadores são vistos como **processadores multifunção**, já que fabricam uma grande

diversidade de referências e 4 dos processadores, até mesmo todos, desde que neles esteja instalado o molde apropriado. Por essa razão, esses 4 processadores adquirem uma longa fila de espera e assumem-se como **críticos**. Integram ainda um de 3 grupos de processadores, cada com uma só fila de referências compatíveis, logo os 10 processadores são considerados **processadores agregados**. Essa aptidão traduz-se em **restrições de elegibilidade de máquina** e a mudança de moldes neles instalados, quer para produção efetiva, pré-produções e amostras, em **preparação**. O **tempo** desta fase é sempre **influenciado pela sequência de produção** planeada, uma vez que diferentes referências exigem diferentes moldes, contudo é praticamente constante (cerca de 20 a 30 minutos), podendo ser incluído no tempo de processamento.

Existe **armazém local** para lastras e peças conformadas secas já ou não acabadas, representado pelos cavaletes, e **recursos auxiliares discretos renováveis e não renováveis**. Os renováveis englobam: (1) os moldes para enchimento com a pasta cerâmica líquida e (2) as respetivas aparadeiras; (3) placas refratárias; (4) 5 a 6 operadores por turno e (5) 1 operador encarregue pelos *setups*. Nos não renováveis incluem-se as lastras.

Os **processadores** encontram-se sempre **disponíveis**, mas nunca são inativados para que, antecipadamente, se encontrem prontos a executar trabalhos urgentes, mas sim perante as condições compreendidas pelas interrupções e paragens. No entanto, a **indisponibilidade** dos **recursos auxiliares** é mais frequente, devido: (1) à ausência dos moldes na fábrica; (2) à carência de alguma aparadeira; (3) à inexistência ou não de lastras suficientes conformadas; (4) à utilização total das placas refratárias; (5) à falta de algum dos operadores para esponjar as peças secas e/ou (6) do operador que efetua a preparação das máquinas.

Além disso, os equipamentos processam somente trabalhos, com uma só operação, a de fabricar a peça, através do enchimento do molde, intitulado-os de **trabalhos multiprocessador**, o **ambiente de produção de uni-operação ou uni-fase** e, conseqüentemente, de **sistema não geral** (impossibilidade de restrições de precedência entre operações de um trabalho). Esta propriedade aliada ao facto de as MEAP serem processadores agregados justifica a atribuição da classificação de **processadores paralelos**. Recebem, por sua vez, a menção de **não relacionados**, dado que a sua velocidade de processamento difere para uma mesma referência e a de cada um, para distintas referências, vocacionando-se mais para umas do que para outras (especialização). Como os lotes de trabalhos uni-fase são distribuídos pelos 3 grupos de máquinas, segundo a sua capacidade para os concretizar, e como cada um desses grupos contém mais do que uma máquina potencial para efetuar um dado lote, embora só uma o faça, o sistema é também **flexível**.

No global, o **problema** assemelha-se mais aos dos tipos **estático e determinístico**, atendendo à complexidade e limitações do sistema e ao não registo de eventos imprevisíveis, mas sim de dados de definição conhecida, fatores acima refletidos. Quanto à sua **função-objetivo**, passa por minimizar o atraso total, para o cumprimento das datas de entrega ao forno de chacote.

Toda esta caracterização pode-se resumir utilizando as nomenclatura de Varela & Carmo-Silva (2008). Portanto, o problema é classificado como  $F/f1/PN; 10|comp - pmtn; prec; r_{jl}; d_i; batch; n_l = k; w_{jl}; mpt_j; eleg_k; avail_k; aux_k; crt_k; buffer_k; mpm_k | \sum T_j$ , que se traduz na calendarização de 10 processadores paralelos não relacionados, de um sistema flexível de fase única ( $F/f1/PN$ ), com interrupção complexa ( $comp - pmtn$ ), restrições gerais de precedência ( $prec$ ) e todos os lotes ( $batch$ ) disponíveis para obtenção, num mesmo instante inicial ( $\emptyset$ ), cujos tempos de processamento são arbitrários ( $\emptyset$ ) e as datas de entrega são

variáveis ( $d_l$ ). Os lotes a processar possuem de tamanho um valor inteiro positivo ( $n_l = k$ ), podem ser prioritários ( $w_{jl}$ ) e multiprocessador ( $mpt_j$ ). Já os processadores/recursos têm elegibilidade ( $eleg_k$ ) e disponibilidade ( $avail_k$ ) condicionadas, existindo recursos auxiliares ( $aux_k$ ), processadores críticos ( $crt_k$ ), a inclusão da preparação dos processadores no tempo de processamento, armazéns locais de capacidade limitada entre estágios ( $buffer_k$ ) e processadores flexíveis ( $mpm_k$ ). Pretende-se, finalmente, minimizar o atraso total ( $\sum T_j$ ).

## 4.2. Proposta de Desenho da Estratégia de Melhoria do Processo

### 4.2.1. Fundamentos Teóricos

Nas subsecções seguintes são espelhados os diversos desenvolvimentos efetuados quanto ao problema de máquinas paralelas não relacionadas (MPNR). Cada recebe como título a conjunção do objetivo almejado com as restrições a atender.

#### 4.2.1.1. Minimização do *Makespan* com Restrições de Equipamentos Auxiliares

Chen (2005) criou uma heurística para, num tempo razoável, obter uma solução de minimização do *makespan*, de  $n$  trabalhos, num conjunto de  $m$  máquinas paralelas não relacionadas (MPNR), com restrições de recursos auxiliares.

No caso concreto estudado, o autor assumiu que cada trabalho está disponível no instante zero e requer apenas uma operação, a ser executada numa das máquinas já equipadas com o molde necessário. A troca deste ocorre quando o tipo de trabalho planeado para um processador é diferente do último realizado por esse processador. Acresce ainda a limitação no número de moldes disponíveis por cada tipo de trabalho, ou seja, de recursos secundários. O tempo de processamento de cada trabalho depende ainda da máquina que o concretiza, além de que alguns deles só podem ser obtidos em determinadas máquinas.

No global, o problema é do tipo *NP-difícil* e o modelo heurístico procura, sobretudo: (1) diminuir ao máximo o tempo de processamento total, pela atribuição de cada trabalho à máquina que o realiza com maior eficiência; (2) reduzir a frequência dos *setups* pela execução sucessiva dos trabalhos que requerem o mesmo tipo de molde; e (3) equilibrar a ocupação das máquinas da forma mais igualitária possível. Todavia, o último objetivo origina conflito entre os anteriores, algo evitado pela alocação primária segundo os dois primeiros objetivos e posterior aplicação de métodos de ajuste. Um desses métodos consiste em “empurrar” diretamente, em cada repetição, um trabalho, subgrupo ou grupo (conjunto de trabalhos associados ao mesmo tipo de molde e atribuídos ao mesmo processador) de uma máquina muito utilizada, para outra que é pouco. Porém, esta mudança no plano não é permitida quando essa diferença de utilização é demasiado acentuada, já que não conduz a um menor *makespan*. Para o colmatar, a alternativa consta no “empurrar” indiretamente, isto é, “empurrar”, em cada repetição, um trabalho, subgrupo ou grupo de uma máquina  $A$  para outra intermédia,  $B$ , e desta, “empurrar” um outro trabalho, subgrupo ou grupo para uma outra máquina  $C$ . Posto isto, o autor recorreu à metodologia “*record-to-record travel*” de Dueck (1993), para impedir a circunscrição a ótimos locais. Então, definiu duas variáveis, uma para guardar a melhor solução atual e outra, a variação entre essa e a solução proveniente do método

de ajuste, devendo a soma dos valores das duas variáveis ser superior ao da solução ajustada, para que esta seja aceite pela heurística. Adicionalmente, para evitar soluções cíclicas, decorrentes do regresso àquelas já antes visitadas, socorreu-se de listas *tabu*. Estas armazenam os aspetos que classificam certos movimentos de uma posterior pesquisa como *tabu*. Essas características provêm de soluções alcançadas nas últimas  $s$  iterações. Logo, um movimento será admissível se os seus atributos não forem *tabu* ou obedecer a critérios de aspiração, responsáveis por libertar soluções *tabu*, se melhores que a melhor solução conhecida.

O modelo foi comparado empiricamente com soluções ótimas e com o método de “*simulated annealing*” (SA) de Tamaki et al. (1993), desenhado também para o problema de MPNR, com um número limitado de equipamentos auxiliares. Através de experimentos computacionais, verificou-se que as soluções eram melhores e obtidas mais rapidamente pela abordagem de Chen (2005), assim como quando os problemas envolviam mais trabalhos ou máquinas paralelas, ou quando os recursos eram altamente restringidos, além de proporcionar soluções próximas do ótimo para problemas de pequena escala.

#### 4.2.1.2. Minimização do Atraso Total com Restrições de Equipamentos Auxiliares

Chen & Wu (2006) concentraram-se, mais tarde, novamente na questão anterior, mas optaram como medida de desempenho pelo atraso total, com a finalidade de o minimizar. Acrescentaram, claro, o atributo de data de entrega a cada trabalho e ainda o pressuposto de que o tempo de *setup* depende do tipo de molde e da máquina que o receberá. Note-se que o problema pertence igualmente à classe *NP-difícil*. Nesta sequência, os investigadores formularam uma heurística que combina o método de aceitação de limites (em inglês, “*threshold-accepting*”, TA), listas *tabu*, conseguidas a partir do método de pesquisa *tabu*, e metodologias de melhoramento. O TA é semelhante ao SA, contudo só aceita uma nova solução vizinha, se o seu valor não for pior que a soma do da solução atual com um limite gradualmente reduzido. Em oposição, o SA aceita soluções vizinhas piores, com probabilidade cada vez menor. Como o TA aceita soluções que não trazem qualquer melhoria, é possível a ocorrência de soluções cíclicas, prevenidas pela utilização de listas *tabu*.

A heurística começa por gerar uma solução inicial, dada pela afetação dos trabalhos às máquinas que os processam com maior eficiência, seguida do seu agendamento, em cada uma delas, mediante a regra da data mais cedo de entrega (EDD) e um método de ajuste. Sempre que os trabalhos são reescalados, deve-se aplicar um procedimento de melhoria, dado pela reprogramação de cada equipamento. Deste modo, é da realocação dos trabalhos de uma máquina que os colocará em prática mais tarde, para uma que os porá mais cedo, que advém a geração de soluções vizinhas. Tal respeita os mesmos princípios de “empurrar” diretamente e indiretamente, descritos por Chen (2005) e abrangidos pelo método TA. Quando um trabalho com processamento mais tardio é reafetado noutra máquina não equipada com o molde exigido, esse trabalho deve ser realizado ou mais cedo ou mais tarde, dependendo da disponibilidade desse molde. O arranjo selecionado será o que causar o menor atraso total. Para terminar, durante a exploração do espaço de pesquisa, os movimentos *tabu* devem ser descartados (a menos que provoquem melhorias) e imediatamente após a aceitação de uma solução vizinha melhor, dever-se-á reescalonar e atualizar a solução atual, bem como a melhor solução atual, caso aponte melhorias no atraso total.

Os testes computacionais permitiram concluir que o modelo consegue oferecer soluções ótimas para problemas de pequenas dimensões e com qualidade superior e em menor tempo do que o método SA de Tamaki et al. (1993). Quando comparadas com as do procedimento de custo aparente de atraso com *setup* (em inglês, “*apparent-tardiness-cost-with-setup procedure*”, ATCS), de Lee & Pinedo (1997), os resultados são melhores, mas requerem mais tempo.

#### **4.2.1.3. Minimização do *Makespan* com Restrições de Recursos e de Elegibilidade de Máquina**

Edis (2009) defendeu a sua tese de doutoramento no âmbito dos problemas de planeamento de máquinas paralelas com restrições de elegibilidade e de recursos, a partir da qual, em anos seguintes, publicou diversos artigos científicos.

Nessa sequência, Edis & Ozkarahan (2012) descreveram um sistema de planeamento que recebe, no início de cada semana, os pedidos resultantes do plano de requisições de material (ou *materials requirements planning* - MRP) e que executa o escalonamento das máquinas e o sequenciamento dos trabalhos, com o objetivo de minimizar o *makespan*. O projeto foi motivado pelo problema de planeamento de máquinas paralelas com restrições de recursos, presente num departamento de moldação por injeção de componentes plásticos de uma empresa que os fornece para montagem de aparelhos eletrónicos. Este conta, em simultâneo, com restrições de elegibilidade de máquina (caso especial do ambiente de MPNR) (Edis et al., 2013) e dois tipos de recursos adicionais – moldes e operários, sendo o segundo partilhado pelos trabalhos.

Portanto, cada trabalho está associado a um molde, com produção completa do lote numa única máquina, enquanto que o molde pode estar associado a vários trabalhos, desde que compostos por diferentes materiais. No entanto, só existe um molde de cada tipo, o que impede a produção coincidente de trabalhos que utilizem o mesmo. Além disso, a montagem das matrizes apenas é possível quando compatíveis com as máquinas, surgindo daqui as restrições de elegibilidade da máquina. Por sua vez, um número fixo de operadores inspeciona as peças, trata do seu acabamento e monitoriza as máquinas, sem a exigência por cada máquina de um colaborador. O ideal é terminar o fabrico das quantidades solicitadas atuais, de maneira a restar tempo e capacidade de recursos para os novos pedidos que chegarão ainda nessa semana, ou seja, minimizar o *makespan*.

Para reduzir o número de tipos de recursos adicionais, os autores assumiram os trabalhos que partilham moldes como “constituintes de sequências de trabalho”. Também as matrizes deixaram de ser vistas como recursos restritos para receberem essa designação, passando a serem elas as alocadas às máquinas durante um dado período, uma de cada vez. A interrupção das sequências não é permitida e os seus tempos de processamento são determinísticos e independentes dos equipamentos. Com base nessas considerações, os autores desenvolveram um modelo de programação inteira para representar todo o problema de escalonamento, de maneira a minimizar o respetivo *makespan*.

Por conseguinte, o problema foi dividido em dois, um relativo à afetação trabalhos-máquinas e outro ao agendamento nas máquinas. Para o primeiro criaram um modelo de programação inteira (*afetação-PI*) que afeta as sequências de trabalho aos processadores, com base na sua compatibilidade com as matrizes e nas condições acima mencionadas. Pretende-se aqui minimizar

a ocupação máxima das máquinas e dos operadores, tratando-se então do limite inferior do *makespan*. Já com os trabalhos dedicados a cada máquina, para a questão do agendamento apresentaram duas abordagens distintas, uma de programação inteira (*agendamento-PI*) e outra de programação por restrições (*agendamento-PR*), com vista à minimização do *makespan*. O modelo PR foi modelado num *software*, onde (1) os trabalhos foram considerados variáveis de decisão com três atributos (instante de início, de fim e duração do intervalo), (2) as máquinas paralelas, vistas como recursos unários (impossibilidade de partilha de recursos por dois trabalhos ao mesmo tempo) e (3) os operários, como recursos discretos (possibilidade de partilha por vários trabalhos), que no total não podiam exceder o número fixo de colaboradores disponíveis. Portanto, a combinação dos modelos origina as soluções *afetação-PI/agendamento-PI* e *afetação-PI/agendamento-PR*.

Finalmente, os resultados computacionais mostraram que os métodos propostos melhoraram os valores de *makespan* em quase todos os problemas testados, com distâncias do ótimo muito curtas, dentro de intervalos de tempo razoáveis. Em particular, o modelo *afetação-PI/agendamento-PI* é melhor para problemas com um grande número de operadores, ao passo que, quando em menor número, o *afetação-PI/agendamento-PR* oferece valores de *makespan* relativamente mais eficientes. Também, para quase todos os testes, os resultados do *afetação-PI/agendamento-PR* são rápidos e práticos.

O modelo de programação inteira global permitiu o desenvolvimento de uma outra abordagem designada de "*lagrangian-based solution approach*" (LSA), detalhada em Edis et al. (2008) e Edis (2009). Esta é sustentada pela relaxação lagrangeana, uma técnica de programação matemática aplicada na otimização com restrições. Como a facilidade de resolução da "*relaxação langrangeana de um problema*" (RLP) é maior, alguns grupos de restrições difíceis são dualizadas. Neste estudo, a restrição que garante que a utilização cumulativa, em cada período, de recursos adicionais não excede o número de unidades de recursos disponível, foi removida e dualizada, transformando o problema num problema de escalonamento mais simples.

O próximo passo foi determinar os valores dos multiplicadores langrangeanos que tornam o limite inferior o mais perto possível do valor ótimo, ou seja, que o maximizam, através do "*programa dual langrangeano*". O cálculo dos multiplicadores ótimos é efetuado pelo "*procedimento de otimização de subgradiente*", que permite resolver RLPs pela atualização desses coeficientes, mas requer um limite superior inicial admissível conseguido por uma "*heurística inicial*". No entanto, muitas vezes o RLP gera planos não admissíveis (utilização cumulativa de recursos adicionais superior à quantidade de recursos disponível), que deverão ser convertidos no oposto, por uma "*heurística langrangeana*". Por sua vez, esta concede um limite superior para o problema original e que é devidamente utilizado para atualizar o limite superior atual. Já o "*procedimento de otimização de subgradiente*" tenciona aproximar iterativamente os limites inferior e superior atualizados.

Em alternativa, construíram uma "*heurística específica do problema*" (HEP) independente, para encontrar soluções perto do ótimo – limites superiores.

Os testes computacionais em instâncias geradas aleatoriamente revelaram que os algoritmos obtêm limites inferiores muito próximos do ótimo, em particular, o LSA produz melhores resultados em ambientes de máquinas pouco flexíveis e o HEP, relativamente melhores nas mais flexíveis.

#### 4.2.1.4. Minimização do *Makespan* e Maximização da Produtividade, com Restrições de Recursos, de Elegibilidade de Máquina e da Dependência dos Tempos de *Setup* às Máquinas e ao Sequenciamento

Bitar et al. (2016) centraram-se no planeamento da operação de fotolitografia de uma fábrica de semicondutores, muitas vezes tida como um estrangulamento no fluxo fabril. O problema caracteriza-se pelo (1) processamento dos trabalhos em MPNR, com (2) restrições de recursos auxiliares e (3) de elegibilidade de máquinas, (4) tempos de *setup* dependentes dessas máquinas e da sequência produtiva com (5) configuração por lotes. Posto isto, criaram uma meta-heurística e consideraram separadamente duas funções-objetivo: (1) a maximização do número de trabalhos processados (proporcional ao tempo decorrido) e (2) a minimização do *makespan* (está relacionado com as prioridades dos clientes e dos trabalhos em fila de espera).

Novamente, um trabalho é processado por completo e sem interrupção, somente uma vez numa máquina elegível. Todas as máquinas estão disponíveis no instante zero e cada só concretiza um trabalho de cada vez. Aqueles trabalhos que utilizem os mesmos recursos auxiliares não poderão ser executados, em simultâneo, em máquinas distintas. Sempre que esses recursos não se encontrem montados nos processadores, ocorre a sua movimentação até eles, o que exige uma unidade de tempo de transporte. O processamento só é iniciado assim que, tanto o trabalho, como o recurso adicional, esteja disponível.

A referida meta-heurística é denominada de algoritmo memético, um algoritmo evolucionário, através do qual iterativamente um grupo de soluções (*população* de *indivíduos*) é *seleccionado*, *cruzado* e sofre *mutação* (aquisição de soluções vizinhas pelo método de pesquisa local), para as melhorar segundo um dado critério. Já o critério de paragem, quando satisfeito, provocará o término desse processo. Neste caso, o algoritmo integra a codificação de algumas propriedades ligadas à estrutura e especificidades do problema real, mencionadas no parágrafo anterior. Tal deve-se ao facto de, neste tipo de algoritmos, as operações se realizarem sob uma *população*, que habitualmente representa os elementos do espaço de soluções. A partir de cada indivíduo é construída uma solução, pela aplicação de um algoritmo de descodificação.

Portanto, após a codificação, vem o algoritmo propriamente dito, que se ocupa de uma *população* de tamanho constante. Primeiramente, separa-a de acordo com o *fitness* (aptidão) de cada *indivíduo*, isto é, com o custo da solução correspondente ao *indivíduo*, obtida pelo algoritmo de descodificação, em relação à função-objetivo considerada. Depois sucede-se a inicialização do algoritmo memético, com base, quer num algoritmo aleatório que origina indivíduos, quer na subsequente geração aleatória de sequências de trabalhos, efetuada pela seleção iterativa de indivíduos, atendendo a uma regra uniforme. Para cada trabalho é ainda escolhida aleatoriamente uma máquina elegível. Em seguida, entra-se em ciclo, que para no momento em que se atinge um dado número de iterações sem qualquer melhoria. A primeira etapa do ciclo diz respeito à *seleção*, também abrangida pela inicialização. Posteriormente, uma certa percentagem da *população* é gerada por *cruzamento* e nela são incutidas *mutações*, que iterativamente melhoram os seus *indivíduos*. Apenas os *indivíduos* com melhor *fitness* são mantidos, decrescendo a probabilidade de manter os com pior. O *indivíduo* devolvido pelo modelo é o melhor alguma vez obtido. Contudo, essa escolha é decidida pelo método de pesquisa local, que procura soluções vizinhas, ou seja,

soluções com trabalhos que requeiram o mesmo recurso auxiliar, ou que sejam processados na mesma máquina.

Do ponto de vista experimental, os investigadores concluíram que: (1) a estrutura de codificação oferece a vantagem de representar um subconjunto de soluções dominante para ambas as funções objetivo; (2) o método de pesquisa local, com os seus operadores de vizinhança, garante a obtenção de uma solução ótima; e (3) algumas propriedades permitem alcançar boas soluções para grandes instâncias, e dentro de um tempo computacional razoável.

#### 4.2.1.5. Minimização do *Makespan* com Restrições de Recursos Adicionais

Zheng & Wang (2016) estudaram o problema *NP-difícil* de planeamento de MPNR, com restrições de recursos renováveis adicionais, limitados e partilhados, cuja disponibilidade afeta o início da operação e não o tempo de processamento. Nesse sentido, apresentaram um modelo de programação linear inteira mista e analisaram algumas propriedades, com o intuito de minimizar o *makespan*. Propuseram ainda um algoritmo com duas fases, adaptado do de otimização relativo ao comportamento das moscas da fruta na busca por comida (em inglês, “*two-stage adaptive fruit fly optimization algorithm*”, TAFOA).

Para começar, o modelo obedece às seguintes condições: cada máquina processa um trabalho de cada vez, o qual requer uma unidade de recurso por unidade de tempo e a garantia da disponibilidade desse recurso e da máquina, para o trabalho ser iniciado; cada trabalho é processado, sem permissão de interrupção, uma vez em qualquer máquina e o total destas máquinas é superior ao total de recursos disponíveis, ao longo de todo o horizonte temporal. Os autores estabeleceram depois três propriedades específicas do problema e úteis para a pesquisa do TAFOA. A primeira serve de orientação na seleção dos operadores de redistribuição dos trabalhos às máquinas (procura de novas regiões promissoras, quando o ótimo local já foi alcançado), e de ajustamento da sequência de trabalhos (exploração da região local). A segunda propriedade é aplicada na estimativa do limite inferior do problema (valor máximo do *makespan*). A última corresponde ao critério de paragem pela avaliação do ótimo global.

Quanto ao TAFOA, este é uma versão discreta do “*fruit fly optimization algorithm*” (FOA) de Pan (2012), uma técnica inteligente, baseada na procura de alimento pelas moscas da fruta. Estas detetam pelo olfato as possíveis localizações das fontes nutritivas e dirigem-se, em enxames, para aquela mais vezes eleita como a localização, por outras palavras, para aquela com maior “concentração de cheiro”. Atingida uma certa proximidade, as moscas encontram esse preciso sítio pela sua visão superior. Deste modo, os locais correspondem ao ótimo e o procedimento de busca, à procura iterativa pelo ótimo.

Então, antes mais, tornou-se necessário o estabelecimento de uma representação baseada na permutação e de um esquema de descodificação, ao nível da notação das diversas variáveis e parâmetros e das regras para a alocação e sequenciamento dos trabalhos. Por conseguinte, o primeiro passo do TAFOA assenta numa heurística de inicialização, que consiste na atribuição dos trabalhos às máquinas que mais eficazmente os concretizam e no seu sequenciamento em cada máquina pela regra de maior tempo de processamento, a fim de obter o ponto central para todos os enxames. A seguir, sucede-se a pesquisa baseada no olfato, que concede soluções em redor desse lugar, através de dois operadores: um altera o plano de escalonamento (isto é, a região

vizinha) e o outro modifica a ordem de processamento num determinado equipamento (procura boas soluções numa região local). Ambos os operadores são apoiados pela implementação do conhecimento específico do problema como uma condição de paragem, sustentada pelas três propriedades antes explicitadas. À *posteriori*, o enxame voa até à melhor localização, atualizando-se o seu ponto central pela aplicação de uma estratégia “*greedy*”: caso a nova solução melhore o *makespan*, substituirá o dito ponto central, mas se não, permanecerá o original.

Resta agora mencionar que o efeito do número de enxames e o respetivo tamanho foi investigado a partir do método ANOVA de fator duplo. Geraram-se ainda instâncias de referência a partir de instâncias bastante utilizadas no problema de planeamento de MPNR. As comparações demonstraram a eficiência da heurística desenvolvida e da pesquisa guiada pelo conhecimento. Já as comparações realizadas com o CPLEX (*software* de otimização e resolução de problemas de programação) e o algoritmo genético destacaram o TAFOA como uma ferramenta eficaz e eficiente para resolver o problema de MPNR, com restrições de recursos adicionais.

#### 4.2.1.6. Minimização do *Makespan* com Um Número de Recursos Adicionais Escassos

Fanjul-Peyro et al. (2017) procuraram minimizar o *makespan* associado à variante dinâmica e não especificada do problema de MPNR, com a adição de um número fixo de recursos. A não especificação deve-se à inexistência de uma atribuição pré-determinada de trabalhos às máquinas, enquanto que o dinamismo, à ausência da necessidade de uma alocação fixa de recursos às máquinas, ao longo de todo o horizonte temporal. Salienta-se que os recursos são: (1) renováveis, porque se tornam disponíveis logo após a sua utilização no processamento de um dado trabalho; (2) discretos, pois o total de recursos requeridos é inteiro positivo; e (3) de processamento, já que a sua necessidade somente se verifica ao longo da concretização do trabalho. Acrescem ainda as seguintes restrições a satisfazer: (1) uma máquina não processa ao mesmo tempo mais do que um trabalho, (2) cada trabalho é realizado por exatamente uma máquina, (3) sem que aconteça qualquer interrupção antes da sua completa concretização, e (4) sem utilizar, num dado momento, mais recursos do que a quantidade máxima de recursos existente.

A investigação consistiu na formulação de dois modelos matemáticos de programação linear inteira mista (PLIM). O primeiro veio da adaptação dos apresentados por Edis et al. (2013) e Edis & Oguz (2012). O modelo dos últimos autores assume que o número de recursos em utilização afeta os tempos de processamento, ao passo que o de Fanjul-Peyro et al. (2017) considera que a execução de um trabalho requer uma quantidade fixa e inalterável de recursos. No fundo, o algoritmo de Fanjul-Peyro et al. (2017) invoca esta e as quatro condições acima mencionadas, em forma de inequações, bem como a função-objetivo de redução do *makespan*.

O segundo contributo está relacionado com o problema bidimensional de empacotamento em faixa (em inglês, “*strip packing problem*”), cujo objetivo é colocar um conjunto de retângulos no interior de uma caixa retangular, com largura fixa, de maneira a minimizar o comprimento. Como se assemelha bastante aos diagramas de *Gantt* dos problemas de planeamento, os autores representaram, respetivamente, o número fixo máximo de recursos e o *makespan* a diminuir, pela largura fixa e pelo comprimento da caixa, e os trabalhos a atribuir aos equipamentos, pelos itens nela a empacotar, sem sobreposição. Contrariamente ao modelo PLIM já explicado, este não

depende do tempo, pelo que a quantidade de variáveis decresce, o que lhe confere uma enorme vantagem.

Para cada um dos dois modelos matemáticos foram propostas três estratégias meta-heurísticas, denominadas de (1) “*machine-assignment fixing*” (MAF), (2) “*job-machine reduction*” (JMR) e (3) “*greedy-based fixing*” (GBF). O MAF primeiramente minimiza o *makespan* do problema de MPNR, sem restrições de recursos, efetuando a alocação trabalho-máquina, ignorando a indicação dos instantes de início do processamento dos vários trabalhos. Essa distribuição é fixada e a partir dela, soluciona-se o problema especificado de MPNR com restrições de recursos. Repare-se que a resolução dos dois problemas é bem mais rápida do que unicamente o problema completo, isto é, o problema não especificado de MPNR com restrições de recursos. Já o JMR escolhe para cada trabalho a máquina que o processa em menos tempo e, portanto, que potencializa o escalonamento da produção. Finalmente, o GBF é tratado sequencialmente, visto que a cada iteração é resolvido o problema de MPNR com restrições de recursos para um grupo de trabalhos por agendar. Por sua vez, as soluções encontradas nas iterações antecedentes são fixadas e tidas em conta na iteração seguinte, dando continuidade ao processo até que todos os trabalhos estejam afetos.

Os resultados experimentais demonstram que, à medida que a dimensão do problema aumenta, o desempenho do modelo baseado no problema de empacotamento é cada vez melhor do que o do modelo adaptado dos de Edis et al. (2013) e Edis & Oguz (2012). Porém, nenhum dos dois modelos é capaz de cobrir instâncias de tamanho médio, enquanto que as meta-heurísticas o são, além de competitivas também para as instâncias de pequeno tamanho. A eficiência das meta-heurísticas obtidas a partir do modelo de empacotamento é ainda superior à daquelas baseadas no modelo adaptado.

Fanjul et al. (2015) publicaram um modelo de programação linear inteira, também ele adaptado do de Edis & Oguz (2012). A diferença para o de 2017 reside no facto de integrar mais uma variável, a de tempo de conclusão de um trabalho, que implicou mais uma restrição, a de definição desse tempo, a partir da qual o *makespan* é determinado. Contudo, torna-se óbvio que as propostas são equivalentes.

À semelhança das meta-heurísticas, mostraram ainda uma abordagem de dupla fase, chamada de “algoritmo de fixação”, que primeiro resolve o problema de MPNR, fixando a afetação dos trabalhos às máquinas, e a partir dessa afetação, resolve esse problema de MPNR, mas agora respeitando as restrições de recursos adicionais. Deste modo, se a primeira solução obedecer a essas restrições, é considerada ótima. Em oposição, o problema de MPNR com restrições de recursos é respondido, impondo a atribuição dos trabalhos aos processadores no problema de MPNR.

Finalmente, os testes revelaram falhas do modelo de programação face à descoberta de soluções admissíveis para instâncias de tamanho médio, algo que não acontece no “algoritmo de fixação”. Além desse algoritmo conseguir soluções mais rapidamente, possui também melhor desempenho quando o número de trabalhos aumenta, mas pior quando é o número de máquinas disponíveis a aumentar. Perante maiores tempos de processamento, o modelo de programação colapsa, porém não se verifica nenhum efeito decorrente da alteração das necessidades de recursos.

#### 4.2.1.7. Minimização do *Makespan* com Restrições de Recursos e de Elegibilidade de Máquina

Afzalirad & Shafipour (2018) voltaram a sua atenção para o problema de MPNR com restrições de recursos renováveis e de elegibilidade de máquinas, com a meta de minimização do *makespan*. Consideraram que: (1) todos os processadores e trabalhos estão disponíveis logo no início do planejamento; (2) cada equipamento processa um trabalho de cada vez, (3) sem interrupção, (4) durante um tempo específico, (5) que já engloba o tempo de *setup*; (6) cada trabalho só pode ser realizado num subconjunto de máquinas. Tal serviu de suporte à elaboração de um modelo matemático de programação inteira.

Uma vez que esse modelo é pouco adequado para problemas de maiores dimensões, apostaram ainda nos algoritmos genéticos, nomeadamente num genético puro e na conjugação de um desse tipo com um procedimento heurístico. Assim como o algoritmo memético (ver secção 4.2.1.4), também o genético é fundamentado pela evolução natural. Geralmente começa com uma *população* de *indivíduos* (cromossomas) que evolui, em cada geração, por *cruzamento* (origem de descendentes pela troca de genes entre cromossomas), *mutação* (troca inesperada de valores dos genes de um cromossoma), *avaliação da aptidão* ao meio envolvente (*fitness*) e *seleção* (escolha dos cromossomas com maior *fitness*, logo maior probabilidade de sobrevivência na próxima geração).

Portanto, o algoritmo genético puro (GA) parte da representação do cromossoma, a fim de codificar a solução do problema. Essa representação abrange simultaneamente três faixas de dados: (1) permutação de trabalhos, (2) afetação destes às máquinas capazes de os executar, e (3) prioridade dos trabalhos na sua atribuição a outros recursos. Depois é criada a população inicial, que engloba um grupo de cromossomas admissíveis, gerados de forma aleatória. Entretanto, dá-se a seleção aleatória de um certo número de cromossomas-pais na população atual e a consequente escolha do mais apto (melhor *makespan*), para que quando cruzado com outro, resultante da mesma estratégia, deixe herança para a seguinte geração. Ocorre, então, esse cruzamento segundo um novo operador, pensado por estes investigadores. Por fim, um cromossoma aleatório da população sofre mutação, de acordo com um operador também da sua autoria.

Com vista à comparação da eficiência deste método e pela falta de literatura que o possibilitasse, os autores sugeriram um algoritmo genético híbrido (HGA) que utiliza a representação dos cromossomas acima sem a terceira faixa de dados (prioridade dos trabalhos na sua afetação a outros recursos, que não máquinas). O cálculo do *makespan* de cada cromossoma atende à sequência de trabalhos nas máquinas e é obtido pela determinação dos instantes de início e conclusão dos trabalhos, assumindo as máquinas como os únicos recursos restritos. Já a ordem de alocação dos trabalhos a outros recursos, que não máquinas, é definida pelos seus instantes de início. Torna-se agora possível a quantificação do *makespan* global. Além disso, todo o procedimento e operadores adotados no GA são repetidos no HGA.

À *posteriori*, a análise do efeito de diferentes níveis dos números de iterações e populações e das taxas de cruzamento e mutação acontece através da aplicação da “*metodologia de superfície de resposta*” (RSM) à abordagem de “*desenho de experiências*” (DOE). A RSM é uma técnica para determinar e representar a relação de causa-efeito entre respostas médias verdadeiras e variáveis

de controlo de entrada, que influenciam as respostas como uma hiper-superfície de duas ou três dimensões (Montgomery, 1991).

Para finalizar, demonstraram que o GA possui melhor desempenho que o HGA. Além disso, o HGA mostra-se eficiente em problemas de pequena e grande dimensões e, embora ofereça boas soluções, a qualidade destas não supera a das soluções obtidas pelo GA, mas, pelo menos, há um menor consumo de tempo de CPU.

#### 4.2.1.8. Minimização do *Makespan* com Um Recurso Adicional Escasso

Villa et al. (2018) dedicaram-se ao estudo do problema de  $m$  MPNR, com um recurso adicional renovável, discreto e de processamento (ver secção 4.2.1.6), divulgando várias heurísticas de minimização do *makespan*. Os tempos de processamento e o consumo de recursos pelos  $n$  trabalhos diferem com a máquina que os acolhe, esperando-se distinções evidentes entre máquinas novas e antigas. Pressupuseram ainda que cada trabalho necessita de uma certa quantidade de recursos adicionais durante a sua realização, e que é efetuado por exatamente um equipamento, que executa um trabalho de cada vez. Estipularam também a não permissão da interrupção de trabalhos. Quanto à solução ou sequência, esta consiste numa lista de trabalhos para cada máquina, que os processa segundo a ordem pela qual estão dispostos e ao longo do intervalo calculado com os instantes de início e fim de processamento. Podem existir períodos com processadores vazios, devido à sua dependência pela disponibilidade dos recursos. Entenda-se por restrições dos recursos, a utilização em todo o sistema, num dado período, de um total de recursos adicionais inferior ao total máximo de recursos disponíveis.

Atendendo às condições acima, os autores apresentam uma primeira abordagem heurística, iniciada pelo (1) sequenciamento dos trabalhos, ao qual se seguem a (2) construção e (3) melhoria da solução, ambas baseadas na restrição de igualdade ou inferioridade do consumo total de recursos num determinado momento, face à disponibilidade máxima desses. Na primeira etapa, a ordenação é obtida mediante ou o tempo de processamento, ou o consumo de recursos, ou as máquinas, e de regras de desempate. A segunda fase é aplicada por um dos dois próximos procedimentos. Na primeira hipótese, cada trabalho da lista ordenada é selecionado e inserido, com base nas restrições dos recursos, em todas as posições possíveis de cada máquina, permanecendo naquela que causar o mínimo *makespan*. Já na segunda hipótese, cada trabalho é selecionado da dita lista, colocado na última posição de cada máquina, considerando as restrições dos recursos, e depois dessa operação, calculados os *makespans* em todas as máquinas. A máquina que somar o menor valor de *makespan*, será aquela que abraçará o trabalho. Este pode, posteriormente, ser trocado com os últimos trabalhos já colocados nas restantes outras máquinas. No entanto, uma troca só acontece se o *makespan* de cada uma das máquinas envolvidas nessa troca diminuir, ou se a soma dos seus *makespans*, obtidos depois dessa permutação, for menor do que a soma dos seus *makespans* iniciais. Finalmente, a solução admissível é melhorada com o método de pesquisa local, permutando todos os trabalhos do processador com o maior *makespan* com todos os outros dos outros equipamentos.

A segunda abordagem diz respeito à atribuição dos trabalhos às máquinas, sem levar em conta as restrições dos recursos, mas, se no que toca a esses recursos, se verificar a não admissibilidade da afetação encontrada, dever-se-á submetê-la a mecanismos de reparação. O

escalonamento sucede-se de acordo com a aplicação de regras associadas em simultâneo aos tempos de processamento e ao consumo de recursos. Já na retificação, os trabalhos da solução de afetação inadmissível, com os maiores consumos de recursos, são movidos para um conjunto de trabalhos pendentes, até tornar aceitável a alocação parcial (isto é, até respeitar as restrições de recursos adicionais). Depois, se existirem recursos suficientes, os trabalhos pendentes são realocados no início das máquinas que originalmente os acolheram. Caso contrário, passam para o fim dessas ou para aquela com o mínimo tempo de conclusão, sempre atendendo às restrições dos recursos. Quando se dá a reafetação de um trabalho pendente, este deve ser trocado, sempre que possível e mantendo o plano admissível, com o que lhe antecede, se o consumo de recursos deste trabalho for inferior ao do pendente agendado, e se não existirem tempos de vazio. Por sua vez, a solução é melhorada através de metodologias de pesquisa local, com a consideração dos recursos, se submetida antes ao mecanismo de reparação, ou sem essa consideração, se admissível logo após o primeiro escalonamento. No entanto, todas as metodologias são implementadas, a princípio, no processador com o máximo *makespan* e depois aos restantes, incluindo novamente o anterior, reiniciando sempre que aconteça um movimento. Este conjunto de passos integra a fase construtiva comum às cinco heurísticas de múltipla passagem publicadas. Cada uma combina, então, todos os elementos anteriores e é executada para cada regra de agendamento, originando várias soluções, de entre as quais se seleciona a melhor.

Como conclusão, as heurísticas explicitadas resolvem com eficiência (em termos de tempo de CPU) instâncias com diversas dimensões, principalmente as maiores, algo, segundo os investigadores, atualmente inexistente na literatura. Além disso, os resultados provenientes da segunda estratégia são iguais ou melhores que os alcançados pela primeira (considera sempre as restrições de recursos) e com uma utilização bem menor de tempo de CPU. Os modelos de Villa et al. (2018) melhoram também os modelos matemáticos e as meta-heurísticas sugeridas por Fanjul-Peyro et al. (2017), os únicos métodos, até ao momento da publicação, para o mesmo problema.

#### **4.2.2. Abordagem de Solução para o Problema de Planeamento nas MEAP**

Pela secção precedente, ficou claro que o problema de programação de MPNR, com recursos adicionais, ainda se encontra pouco explorado, apresentando-se como uma área de investigação de enorme potencialidade. Acresce ainda que, a função-objetivo com maior incidência é a da minimização do *makespan*, o que desafia à aventura do estudo de outras.

##### **4.2.2.1. Considerações Iniciais**

Em primeira instância, importa recordar que, tal como patente na secção 4.1.2., o problema de planeamento inerente às MEAP pertence, no global, à classe dos de produção por lotes variáveis, num sistema de máquinas paralelas, flexíveis e não relacionadas, com restrições ao nível da elegibilidade e número diário de *setups* de máquinas, recursos adicionais, armazém local e prazos de entrega.

Na tentativa de o resolver, sugere-se, no ponto seguinte, um modelo matemático, com o propósito de otimizar a atribuição das diversas referências às MEAP, atendendo à complexidade no seu planeamento, que, no entanto, sofreu algumas simplificações, expostas abaixo. O alvo cinge-se

ao cumprimento das datas de entrega ao forno de chacote. Por sua vez, o máximo entre zero e a diferença entre o período de conclusão do processamento de uma certa referência e a respetiva data de entrega resultará no seu atraso. Por conseguinte, o somatório desses valores encontrados dará o atraso total, o qual se pretende minimizar. A técnica mais acessível para a definição do prazo de entrega de cada referência concentra-se no cálculo da fração de dias entre o seu dia de remessa e o momento da realização do programa de produção. A complementar está uma heurística construtiva, que, com a mesma função-objetivo, tenciona oferecer uma solução admissível de planeamento para uma semana.

No que toca aos equipamentos fabris, pressupõe-se a sua permanente disponibilidade para albergar uma só matriz, com um certo total de cavidades, ao longo de um determinado intervalo temporal, dividido em dias (períodos), e que deverá terminar antes ou até à data de entrega das referências ao referido forno. Em contrapartida, a disponibilidade dos moldes (inclui a das aparadeiras) é variável e a dos operadores não é considerada, exceto a do responsável pelas mudanças desses moldes. A disponibilidade dos moldes de amostras é omissa e o seu número de cavidades, ignorado, porque a operacionalidade dessas matrizes ainda será testada, ação essa de curta duração. Destaca-se que o somatório de cavidades de moldes em funcionamento, em todas as 10 MEAP, afeta a cadência produtiva, taxa essa controlada pela sua dependência do estado de ocupação dos cavaletes (ou armazém local). Consequentemente, quando esses se encontram completos, o somatório aludido deverá oscilar entre os valores 11 e 13, enquanto que, quando livres, entre 14 e 18. Esse estado dos cavaletes é, porém, um pouco imprevisível, pois depende também do esforço total empregue na fase de acabamentos, imposto pelas referências em fabrico. Note-se que um baixo esforço não possui uma acentuada influência na ocupação dos cavaletes. Depreende-se, então, que o conhecimento desta condição advém diariamente e, habitualmente, no caso desfavorável, poder-se-á prolongar para o dia seguinte.

Para complementar, cada processador ou se encontra a processar uma quantidade estipulada de peças de uma dada referência, ou em preparação para receber um molde distinto do anteriormente instalado. Contudo, apesar da permissão na interrupção de lotes, assumiu-se, nesta etapa, a sua interdição. Note-se que as matrizes não são compatíveis com todos os 3 grupos de máquinas, distribuindo-se pelas respetivas 3 filas de espera. O cenário deste parágrafo é tomado quer pela heurística, quer pelo modelo matemático, mas o último conta também com o panorama de máquinas paradas.

Quanto aos *setups*, estão confinados aos dias úteis e em cada dia útil, limitados até um máximo fixado de 6. Os tempos que exigem estão contidos nos de processamento das referências, uma vez que para cada *setup*, o tempo necessário é aproximadamente constante, equivalendo a cerca de 30 minutos. Em vésperas de fins-de-semana ou feriados, é preferível o seu consumo na afetação de referências com lotes de maior tamanho, para não instigar produções muito superiores ao realmente necessário, dada a impossibilidade de troca de moldes nos posteriores dias não úteis. Contudo, quando é possível realizar mudanças e se ultrapassa as 6 permitidas, dever-se-á optar pelas relativas a referências com aspeto *biscuit* e/ou “nascidos” dos moldes com mais cavidades.

Também as propriedades físicas e técnicas das referências marcam presença no momento de planear, já que, em qualquer período, apenas 1 máquina poderá originar referências em *biscuit*, a fim de evitar a sua acumulação a montante do posto de enceramento. Adicionalmente, nunca mais de 2 referências com requisição de placas refratárias, nem mais de 1 com requisição das do

tipo grande, nem mais de 1 lastra, poderão ser conformadas num mesmo período. Representam-se aqui as restrições de precedência de referências que partilham as mesmas placas refratárias, principalmente as de maiores proporções, visto que existem em menor quantidade. Salienta-se ainda o impedimento na alocação de referências que exijam lastras em mais de 1 equipamento, para prevenir a origem, no dia seguinte, da necessidade de fabrico de 2 ou mais lastras distintas. Tal só acontece nas máquinas restritas.

Genericamente, as referências integram as amostras, pré-produções, referências de linha e reposição e as lastras. O motivo das últimas se incluírem é explicado pelo facto de igualmente se conformarem no setor em estudo, mediante um lote definido. Todavia, serão sempre recursos auxiliares consumíveis, sem necessidade de acabamento e, portanto, sem a abrangência das cavidades do respetivo molde pelo somatório de cavidades em utilização em todo o sistema. Perante a eficácia na produção de lastras, há preferência em obtê-las um dia após o início da concretização das referências de alta pressão que as utilizarão, em quantidade igual, ou inferior, se há algum *stock* dessas lastras. Porém, quando as lastras concernem à olaria, descarta-se a obrigatoriedade dessa diferença cronológica, tornando a obtenção desses recursos, uma mera execução de um lote.

O dimensionamento de lotes é praticado de acordo com as necessidades totais de branco, acrescidas de uma percentagem de segurança e lixo, variável com a referência em questão, com a tipologia (de linha ou reposição) e com as cavidades do molde dessa referência. A razão prende-se com a obrigatoriedade de laboração de uma mesma referência durante pelo menos 1 dia. Esta implicação verifica-se em determinadas referências, cujas necessidades são bastante inferiores à cadência média diária respeitante, devendo-se aí forçar o aumento do lote. Entenda-se que o mapa diário de branco é o pilar de todo o planeamento e a “fonte” de praticamente todas as referências a obter. Já o lote das amostras e das pré-produções é fixo e igual a 50 e 200, respetivamente. Apesar da sua solicitação vir do departamento de NPs, por vezes, algumas referências com pré-produções, aparecem no mapa diário, porque já se deu o seu lançamento e a receção das consequentes encomendas, o que as torna ainda mais urgentes.

Adicionalmente, as referências são classificadas em (1) urgências, (2) necessidades, (3) extras, (4) pré-produções e (5) amostras. As urgências e as necessidades provêm do mapa de branco; os extras, de uma tabela com os *stocks* e vendas do ano anterior, de todas as referências geradas nas MEAP; e as pré-produções e amostras, do documento enviado pelo departamento de NPs. As urgências decorrem de *stocks* inferiores aos saldos de carteira, e categorizam sempre as lastras; as necessidades, de *stocks* maiores ou iguais aos saldos de carteira, e inferiores ao limite mínimo; e os extras, de *stocks* mínimos completos (sem necessidades de branco), mas com *stocks* baixos em comparação com as suas elevadas vendas. Note-se que os extras permitem o funcionamento permanente das máquinas sem qualquer compatibilidade com as referências do mapa. Repare-se, ainda, que as pré-produções podem-se incorporar nas urgências ou necessidades e incorrer nas contagens ao nível de referências com requisição de placas refratárias ou lastras, dado que os seus lotes têm um tamanho considerável. Quanto às amostras, estas são compreendidas de um modo diferente, porque o seu tempo de processamento abrange só parte de um turno, e a sua obtenção ocorre só após o *setup* de um equipamento compatível, atendendo, claro, ao máximo diário de *setups*. Mediante a classificação anterior, a priorização das referências obedece à seguinte ordem decrescente de importância: urgências, necessidades e extras. Perceba-

se que, na otimização, as cinco designações explanadas se fundem numa só, a das referências, que se diferenciam apenas pela data de entrega.

Resta, agora, compreender que a ligação entre lotes produtivos e tempos de processamento é estabelecida através de médias de produção por dia, associadas a cada molde, e que todos os dias, as quantidades de quaisquer referências são atualizadas, devido à receção de dados dos novos mapas diários. Por conseguinte, a abordagem não considera os instantes de chegada das referências ao sistema (dia do surgimento da respetiva necessidade, nova no mapa diário).

Conquanto se mencione em 3.1. referências (1) pertencentes a encomendas de larga escala (com mais de um molde associado), (2) encomendas não introduzidas no sistema ERP, e (3) de referências de peças muito complexas, grandes, pesadas ou em pasta chinesa, estas foram ignoradas.

#### 4.2.2.2. Medidas de Desempenho

Perante os pressupostos divulgados e o modelo TO-BE (secção 3.3.3), torna-se indispensável o ajuste de indicadores que permitam medir o desempenho do sistema de apoio à decisão e do processo inteiro, já com o anterior englobado. Essas tarefas acontecem, respetivamente, durante as fases de avaliação e de análise pós-execução (secção 5.3) do processo de planeamento da produção das MEAP.

Na avaliação, interessa conhecer os (1) atrasos total, (2) máximo e (3) médio, e o (4) número de referências com atraso. Mais concretamente para a heurística, são pertinentes os números de referências com atraso, quer daquelas com término a decorrer no intervalo estudado, quer daquelas que continuem na fila e já falhem o seu compromisso. No algoritmo de otimização não há esta distinção, dado que todas as referências são alocadas ao longo do horizonte temporal. Importa também saber, para o conjunto de todas as máquinas e para o dia em estudo, o (5) somatório de cavidades de molde em utilização, de (6) *setups*, de (7) referências em *biscuit*, de (8) lastras e que (9) requerem as próprias lastras, solicitam (10) placas refratárias e exigem das (11) do tipo grande.

Adiciona-se a relevância do número de referências (1) alocadas ao longo de todo o horizonte temporal, quer do tipo (2) urgente, (3) necessidade, (4) extra e (5) amostra, e o número daquelas ainda (6) em fila de espera, inclusive (7) as urgentes entre essas. No entanto, excluem-se as amostras e as lastras das contabilizações (6) e (7), porque as amostras se podem intercalar entre mudanças de molde, e as lastras, porque, apesar de entendidas como referências, podem pertencer à fila de espera mais que uma vez. Isto é, após a finalização de um lote de lastras específicas para uma certa referência, podem decorrer alguns dias sem a necessidade de um outro lote e depois novamente essa necessidade surgir, causada por outra referência, o que implica uma reentrada na fila. Este paradigma quase que sugere que a fila continha duas referências de lastras, mas, na verdade, só tinha uma, daí esta decisão de exclusão.

Os tempos de execução das duas abordagens de solução devem também ser medidos, considerando o tamanho do grupo de referências (instância) a ler.

Pretende-se, assim, que todos os indicadores de desempenho, submetidos a intervalos limitados, assumam um valor pertencente aos mesmos, que os atrasos total, máximo, médio e o número de referências concluídas dentro do espaço temporal, e que o possuem, sejam nulos, bem

como o total de referências extra alocadas. Igualmente se deseja que nenhuma das referências, que no fim continuem em espera, se encontre já a falhar com os prazos de entrega.

Em relação à análise pós-execução, a mensuração da eficiência do processo de planeamento das MEAP é qualitativa. Por outras palavras: através de um paralelo entre os inconvenientes assinalados inicialmente (tabela 1) e os efeitos ocasionados da execução do processo melhorado, reportam-se, numa lista de verificação, quais foram os problemas solucionados, ou não, e quais foram os parcialmente resolvidos. Além disso, com recurso aos diagramas construídos em BPMN, identificam-se as atividades que receberam automatização e a percentagem dessas face ao total de atividades representadas nesses esquemas. Idealmente, a taxa deve ser de 100%, tal como a de resolução de todos problemas a tentar eliminar, a partir do sistema de apoio pensado.

#### 4.2.2.3. Modelo de Programação Linear Inteira Mista

O modelo de programação linear inteira mista representa parte dos aspetos descritos na secção 4.2.2.1, por forma a ceder uma solução ótima de programação da produção. A tabela 17 revela quais as condições atendidas pelo modelo de otimização.

**Tabela 17** – Verificação da inclusão de cada consideração inicial no modelo matemático.

<b>Lista de verificação das considerações iniciais no modelo PLIM:</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Minimização do atraso total;	<input checked="" type="checkbox"/> Disponibilidade dos moldes;
<input checked="" type="checkbox"/> Datas de entrega ao forno de chacote;	<input checked="" type="checkbox"/> Total de cavidades de moldes em utilização em todo o sistema;
<input checked="" type="checkbox"/> Disponibilidade permanente das máquinas;	<input checked="" type="checkbox"/> Estado de ocupação dos cavaletes;
<input checked="" type="checkbox"/> Máquinas paradas ou em atividade;	<input checked="" type="checkbox"/> Relação entre cavidades de molde e ocupação dos cavaletes;
<input checked="" type="checkbox"/> Elegibilidade de máquinas;	<input checked="" type="checkbox"/> Seleção de referências particular para vésperas de feriados e fins-de-semana;
<input checked="" type="checkbox"/> Ininterruptção de lotes;	<input checked="" type="checkbox"/> Total de referências em <i>biscuit</i> , em processamento em todo o sistema;
<input checked="" type="checkbox"/> Total diário de <i>setups</i> em todo o sistema;	<input checked="" type="checkbox"/> Total de referências com requisição de placas refratárias, em processamento em todo o sistema;
<input checked="" type="checkbox"/> Relação entre <i>setups</i> e dias úteis e não úteis;	<input checked="" type="checkbox"/> Total de referências com requisição de placas refratárias do tipo grande, em processamento em todo o sistema;
<input checked="" type="checkbox"/> Alocação de referências urgentes, com prazo de entrega inferior à dimensão do horizonte temporal;	<input checked="" type="checkbox"/> Total de referências de lastras, em processamento em todo o sistema;
<input checked="" type="checkbox"/> Alocação de referências com necessidade, com prazo de entrega superior à dimensão do horizonte temporal;	<input checked="" type="checkbox"/> Total de referências com requisição de lastras, em processamento em todo o sistema;
<input checked="" type="checkbox"/> Alocação de amostras e pré-produções.	<input checked="" type="checkbox"/> Precedência de 1 dia no processamento de referências com requisição de lastras e as próprias lastras;
	<input checked="" type="checkbox"/> Dimensionamento de lotes;
	<input checked="" type="checkbox"/> Alocação de referências extras.

Trata-se, assim, de uma variante mais simplificada de representação do problema, apresentada com as seguintes notações:

- **Índices:**

$N$  – Número de referências a agendar.  $i = 1, 2, \dots, N$

$M$  – Número de máquinas paralelas não relacionadas.  $j = 1, 2, \dots, M$

$T$  – Número de períodos (dias) do horizonte temporal.  $t = 0, 1, \dots, T$

$U$  – Limite superior do total, em todo o sistema, de *setups* de máquinas praticados num dia.

- **Parâmetros:**

$E_i$  – Número de períodos (dias) entre o período  $t = 0$  e o período correspondente à data de entrega da referência  $i$  ao forno de chacote.

$P_{ij}$  – Número de períodos (dias) de processamento da referência  $i$  na máquina  $j$ .

$Me_{ij}$  – Conjunto de máquinas  $j$  elegíveis de cada referência  $i$ : {1, se a máquina  $j$  é compatível com o molde da referência  $i$ ; 0, em caso contrário}.

$r_j$  – Conjunto de referências em processamento no período  $t = 0$ , nas máquinas  $j$ .

$Dia_t$  {1, se o período  $t$  corresponde a um dia útil; 0, se o período  $t$  corresponde a um sábado, domingo ou feriado}.

- **Variáveis de Decisão:**

$x_{ijt}$  {1, se a máquina  $j$  inicia o processamento da referência  $i$  no período  $t$ ; 0, caso contrário}.

$y_{ijt}$  {1, se o processamento da referência  $i$ , na máquina  $j$ , se conserva do período  $t$  para  $(t + 1)$ ; 0, caso contrário}.

$C_i$  – Período de conclusão do processamento da referência  $i$ .

$A_i$  – Atraso na conclusão do processamento da referência  $i$ , atendendo ao período correspondente à sua data de entrega.

O modelo de programação linear inteira mista pode ser formulado tal como se segue:

$$\text{Min} \sum_i (A_i + C_i) \quad (1)$$

$$C_i - \sum_{j: Me_{ij}=1} [(t - 1 + P_{ij}) \cdot x_{ijt}] \geq 0, \forall i, t: t \geq 1 \quad (2)$$

$$(C_i - E_i) \leq A_i, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i: Me_{ij}=1} x_{ijt} \leq 1, \forall j, t: t \geq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j: Me_{ij}=1} \sum_{t=1}^T x_{ijt} = 1, \forall i: i \neq r_j \quad (5)$$

$$y_{ijv} \geq x_{ijt}, \forall i, j: Me_{ij} = 1, \forall t, v: (t \geq 1) \wedge (v \geq t) \wedge (v < (t - 1 + P_{ij})) \quad (6)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_j y_{ijt} \leq (P_{ij} - 1), \forall i \quad (7)$$

$$x_{ijt} + x_{zjv} \leq 1, \forall j, i, z: (z \neq i) \wedge (Me_{ij} = 1) \wedge (Me_{zj} = 1), \forall t, v: (t \geq 1) \wedge (v \geq t) \wedge (v \leq (t - 1 + P_{ij})) \quad (8)$$

$$x_{ijt} + y_{zjv} \leq 1, \forall j, i, z: (z \neq i) \wedge (Me_{ij} = 1) \wedge (Me_{zj} = 1), \forall t, v: (t \geq 1) \wedge (v \geq t) \wedge (v \leq (t - 1 + P_{ij})) \quad (9)$$

$$x_{ijt} + y_{zj(t-1)} \leq 1, \forall j, i, z: (z \neq i) \wedge (Me_{ij} = 1) \wedge (Me_{zj} = 1), \forall t: t \geq 1 \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_{j: Me_{ij}=1} x_{ijt} \leq U, \forall t: (Dia_t = 1) \wedge (t \geq 1) \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_{j: Me_{ij}=1} x_{ijt} = 0, \forall t: (Dia_t = 0) \wedge (t \geq 1) \quad (12)$$

$$x_{ij0} = 0, \forall i, j \quad (13)$$

$$x_{r_jjt} = 0, \forall j, t \quad (14)$$

$$\sum_{t=0}^{P_{r_jj}-1} y_{r_jjt} = (P_{r_jj} - 1), \forall j \quad (15)$$

$$C_{r_j} = (P_{r_jj} - 1), \forall j \quad (16)$$

$$x_{ijt} \wedge y_{ijt} \in \{0, 1\}, \forall i, j, t \quad (17)$$

$$C_i \wedge A_i \in N^+, \forall i \quad (18)$$

A função-objetivo (1) procura antecipar, para todas as referências, a conclusão dos seus processamentos, minimizando o atraso entre as suas datas de entrega ao forno de chacote e os respetivos períodos de finalização, obtidos através da restrição (2). O cálculo do atraso, para qualquer referência, é efetuado a partir da restrição (3), isto é, da diferença entre o seu período de conclusão e a sua data de entrega. Caso resulte num valor negativo, o atraso é considerado zero, pois trata-se de uma variável que toma apenas valores inteiros positivos.

Na restrição (4) é indicado que em qualquer máquina, em qualquer período, esta encontra-se ou parada, ou a processar uma referência com ela compatível. Por outro lado, a restrição (5) garante que cada referência inicia certamente o seu processamento numa das suas máquinas elegíveis, exceto aquelas que, no período 0, estão já em produção em ambiente fabril. Note-se que o programa produtivo, em real funcionamento, nesse período, é um dado adquirido, que constitui a base da construção da solução concedida pelo modelo PLIM.

A restrição (6) permite assegurar que as referências conservam o seu processamento de um período para o outro, numa dada máquina, atendendo ao período no qual foram iniciadas. A complementar está a restrição (7), que relaciona o número de períodos associado à conservação de uma dada referência, com a duração do seu processamento.

A restrição (8) assegura que, enquanto não terminar o processamento de uma determinada referência, já iniciado numa dada máquina, não se poderá iniciar o de outra, nessa mesma máquina. Em contrapartida, a restrição (9) garante que, enquanto não terminar o processamento de uma dada referência, iniciado numa determinada máquina, não se poderá conservar o processamento de outra, nessa máquina. Quanto à restrição (10), esta certifica-se que o início do processamento de uma referência, numa certa máquina, só acontece se o processamento da referência em atividade nessa máquina, no período anterior, não for conservado no período atual.

As restrições (11) e (12) limitam o número de *setups* realizados num dia, em todo o sistema, com a consideração adicional dos fins-de-semana e feriados. Por outras palavras, a restrição (11) possibilita, para dias úteis, o planeamento de *setups* até um limite superior do total de *setups* diários, ao passo que, para fins-de-semana e feriados, proíbe completamente quaisquer *setups*, logo o início do processamento de novas referências.

A restrição (13) veda a possibilidade de iniciar a produção de novas referências no período 0, pois este está associado unicamente ao plano em ação no chão-de-fábrica, a partir do qual se descobrirá uma solução de agendamento para os próximos períodos. Consequentemente, as referências que estão em processamento no período 0 nunca iniciarão processamento em nenhum período do horizonte temporal, tal como demonstrado pela restrição (14). Contudo, poderão conservá-lo durante o intervalo de períodos ainda necessário para a sua conclusão (restrição (15)), que decorrerá no último período desse intervalo (restrição (16)).

Por fim, a restrição (17) afirma que as variáveis  $x_{ijt}$  e  $y_{ijt}$  só tomam valores binários, enquanto que a (18) garante que o período de conclusão e o atraso das referências admitem apenas valores inteiros positivos.

#### 4.2.2.4. Heurística Construtiva

A heurística construtiva, sujeita a todas as considerações iniciais (secção 4.2.2.1) e baseada no trabalho desenvolvido por Villa et al. (2018), presenteia uma solução admissível de agendamento da produção nas MEAP, para uma semana, com vista à minimização do atraso total. Essa é a meta primordial, ainda que, durante a revisão bibliográfica, se tenha encontrado com maior frequência o estudo do *makespan*, para os problemas de planeamento de MPNR com recursos adicionais, e só uma publicação que partilha do mesmo objetivo da empresa acolhedora, a de Chen & Wu (2006).

Para um melhor reconhecimento da fonte de inspiração, ao longo da explicação da abordagem, reaviva-se a memória para o segundo dos dois métodos heurísticos de Villa et al. (2018). Este tem como princípio a decisão das referências a elaborar em cada máquina, mediante os seus tempos de processamento e consumos de recursos adicionais, visando a minimização do *makespan*. Só depois se consideram as restrições desses recursos, ou seja, a utilização em todo o sistema e num dado período, de um total de recursos inferior ao total máximo de recursos disponíveis. Para as soluções que se afastam das “fronteiras”, é ativado um mecanismo de reparação, que move todas as referências com maiores consumos de recursos, para uma lista de referências pendentes, enquanto a admissibilidade da solução parcial não se verificar. De seguida, centra-se na reatribuição dessas referências pendentes, de acordo com as regras dos recursos adicionais, e na sua melhoria por pesquisa local, finalizando com a aplicação de heurísticas de múltipla passagem, cujas soluções são comparadas para a escolha da melhor. No Anexo C encontra-se simplificada a comparação desta abordagem com a proposta deste trabalho, devendo-se, preferencialmente, analisar após a assimilação do que se segue.

A ordem do raciocínio exposto foi incorporada no desenvolvimento da heurística. A partir da última, são alocadas referências primeiramente com foco nas (1) datas de entrega, (2) elegibilidade de máquinas, (3) total diário de *setups*, (4) aspeto *biscuit* e (5) necessidade de lastras (recursos não renováveis), sem nunca considerar os recursos adicionais renováveis (placas refratárias e moldes). Decorre, depois, a validação da solução, baseada no respeito das restrições dos recursos renováveis, pois houve já a consideração dos 5 primeiros pontos. Uma vez desobedecidas, corrige-se a solução por um mecanismo de reparação, que se concentra nesses recursos renováveis. Este mecanismo consiste em retirar referências do plano até o tornar parcialmente admissível. Já a seleção dessas referências acontece por provocarem o desencontro com as restrições dos recursos renováveis, isto é, lançarem para fora do aceitável o total de referências com requisição de placas, em processamento simultâneo, e o total de cavidades em utilização em todo o sistema, face ao estado dos cavaletes. As referências excluídas devem ser transferidas para um conjunto de referências pendentes, para evitar que no dia em análise, se as volte a realocar, já que não são “boas” para o plano em construção. A seguir, procede-se à reafetação de novas referências, escolhidas da lista de espera (que não contém as referências pendentes), com maior prioridade, atendendo às restrições das placas. Novamente, verifica-se o respeito de todas as restrições de recursos renováveis. No caso negativo, resta só resolver a questão do total de cavidades em utilização em todo o sistema. Assim, deslocam-se as referências “piores” a esse nível para o conjunto das pendentes, e reocupam-se as máquinas, com foco nas restrições de cavidades de molde. Como se tratam de tarefas iterativas, a solução de cada passo é fixada, para apenas se

corrigir aquilo que diverge das restrições. Ainda, como o plano é semanal, todas as referências pendentes voltam a reintegrar a fila de espera, podendo ser selecionadas para o novo plano, do dia a seguir.

Então, seis é o número de passos que compõem a heurística, e variável, é o número de etapas de cada um. Este é o tema que ocupará os próximos parágrafos, apoiado pela sua visão geral no fluxograma do Anexo A, e pelo formato detalhado de quase “pseudocódigo”, no Anexo B.

Deste modo, a abordagem começa com a definição do horizonte temporal e a concentração dos dados associados à procura dos produtos de cada referência. Por outras palavras, no que toca ao estabelecimento do calendário, cabe ao utilizador: (1) informar a data do período zero; (2) estender o horizonte até ao oitavo dia; (3) classificar cada período em fim-de-semana ou não; e (4) revelar a disponibilidade diária do armazém local (cavaletes). Ressalta-se que o oitavo dia serve para reconhecer o anterior como sexta-feira ou véspera de feriado (ver 2º passo). Em relação às necessidades de fabrico, é fundamental: (1) comunicar o plano exercido no instante zero (que corresponde ao último período do plano de escalonamento anterior mais recente); (2) divulgar todas as referências a produzir, os seus *stocks*, saldos de carteira, necessidades totais de branco, quantidades em WIP e prazos de entrega ao forno de chacote; e (3) formar o conjunto dos extras, com todas as referências com possível concretização nas MEAP, os seus atributos físicos e técnicos, *stocks* e vendas no ano anterior, bem como (4) o conjunto das referências de lastras possivelmente requeridas, descritas pelos seus *stocks* e elegíveis somente pelas máquinas restritas. Acresce ainda o cálculo, para cada referência, do intervalo entre a data do período zero (ou da elaboração do plano) e a data de entrega ao forno de chacote (dias de trabalho).

O segundo passo diz respeito à decisão dos valores caracterizadores do ambiente fabril, isto é: (1) demarcar o número de processadores paralelos, não relacionados, do sistema; (2) distribuí-los pelos grupos de máquinas críticas, medianamente restritas e restritas; (3) fixar o total máximo permitido de *setups* diários, (4) os extremos do total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, tanto aquando de cavaletes livres, (5) como completos, os máximos para os totais de referências, em processamento simultâneo, dos (6) tipos *biscuit* e (7) lastra e (8) que requerem placas refratárias, (9) placas das do tipo grande (obrigatório pelo seu baixo *stock*) e (10) lastras. Também aqui se identificam os feriados do espaço temporal.

Já o terceiro passo impulsiona a entrada de todos os dados explicitados atrás, no programa heurístico, a contagem das referências em fila de espera no instante inicial, e dessas, as urgentes, salvo as amostras e lastras. Sublinha-se o aproveitamento de mudanças de máquinas compatíveis com as amostras para a sua obtenção e a possibilidade de múltiplas reentradas de lastras na fila, causadas por diferentes referências, fatores que explicam a rejeição destas referências na contagem mencionada (ver justificação mais detalhada em 4.2.2.2). Agora, contabiliza-se o número de amostras em espera. Além disso, como a heurística parte do período um, é necessário atualizar os dados que utilizará, através da adição da média do número de peças produzidas num dia à quantidade em WIP e da subtração de um dia aos dias de trabalho.

A quarta fase concerne à realização propriamente dita do planeamento para os sete dias. Parte, então, da (1) confirmação do tipo de dia em análise (sexta-feira e/ou véspera de feriado, ou nenhum); do conhecimento do (2) estado de ocupação dos cavaletes, do (3) número de máquinas que sofrerão *setup* e da (3) possível existência, e conseqüente continuidade, no processamento de referências que requerem lastras, bem como a (4) verificação de se essas lastras se encontram

também em *WIP*; da (5) identificação de lastras que permanecerão em curso de fabrico; e (6) da classificação de todas as referências em urgentes, necessidades, extras, ou nenhum (amostras).

Em seguida, inicia-se a construção do programa para o dia em questão, pela alteração do anterior. Isto é, os planos são igualados e no atual, são libertadas todas as máquinas que receberem *setup*, atendendo ao máximo permitido de *setups* diários e de lastras com produção exigida neste período (processamento das respectivas referências já iniciado no dia anterior, enquanto que as lastras associadas, não). Esta atividade só está autorizada nos dias úteis, pelo que, nos remanescentes dias, o plano conservar-se-á exatamente igual ao do período antecedente e sem a realização de amostras. Além disso, se necessários mais *setups* do que o suposto, escolhem-se com cuidado aqueles a realizar. Para informação mais detalhada, recomenda-se a consulta do Anexo B.

Posteriormente, dimensionam-se os lotes das referências que aguardam laboração, mediante: (1) a adição de uma percentagem de segurança e lixo à sua necessidade total de branco; (2) as cavidades do molde associado; e (3) a categorização em amostras, pré-produções ou referências padrão (4) de linha ou reposição. Dos tamanhos de lotes obtidos, calculam-se as durações do seu processamento.

A próxima etapa reside na priorização das referências em fila de espera, onde as urgentes ultrapassam as necessidades e se ordenam pela data de entrega mais cedo (regra EDD – *Earliest Due Date*). As necessidades organizam-se por ordem decrescente de totais de necessidade real de branco. No entanto, todas as referências ordenadas submetem-se a uma segunda filtração, na qual se excluem todas cujos moldes estão indisponíveis e aquelas que requerem lastras, caso exista uma lastra a entrar em processamento já no dia em causa. Eliminam-se também dos extras, aquelas que se repetem na fila de espera e no plano do dia anterior. Ainda deste plano, é imprescindível a contabilização das referências em *biscuit* presentes.

Posto isto, trata-se da afetação das referências aos equipamentos livres e da sua subsequente remoção da fila de espera. A afetação obedece às prioridades das referências e aos limites decorrentes das suas especificidades, quer em termos de aspeto *biscuit*, quer de solicitação de lastras. As lastras são aqui envolvidas, pois, embora constituam recursos auxiliares, entendem-se como referências com utilização única, à semelhança daquelas já cativas em encomendas. Em oposição, as placas refratárias e as cavidades de molde (logo, a lotação do armazém local) pertencem aos recursos auxiliares renováveis e não descrevem diretamente as referências.

Portanto, as máquinas suscetíveis a gargalos de estrangulamento são as primeiras a preencher. Nesse âmbito e dada a sua elegibilidade por praticamente todas as referências, deve-se tentar, numa fase inicial, nomear aquelas somente compatíveis com estes processadores. À falta destas, “abrem-se as portas” para aquelas conciliáveis tanto com as máquinas críticas, como com as medianamente restritas. Obviamente, as referências no topo da lista de espera ordenada são sempre prioritárias. Outro ponto a ter em conta, reside na atenção às referências que permaneceram em cada equipamento, designadamente aos totais delas em *biscuit*, daquelas que acarretam a elaboração de lastras no presente dia e que correspondem a lastras.

Findo o exercício anterior, o foco direciona-se para as máquinas medianamente restritas e desocupadas. Para cada uma, deve-se percorrer a fila ordenada e optar pela primeira referência capaz de ser obtida nesses equipamentos. Perante a sua inexistência, pode-se partir para os extras, escolhendo, de entre eles, a primeira referência com o maior valor, superior a 600, da subtração do seu *stock* à sua venda anual, com somente possível concretização nos processadores

medianamente restritos, a partir de um molde disponível com 1 ou 2 cavidades, e sem requisição de placas refratárias. Estas características servem para minimizar o impacto no sistema, uma vez que estas referências não são propriamente precisas, e, pelo menos, produzem-se as dos artigos mais vendidos. Mais uma vez, quantifica-se o lote, segundo o resultado da diferença mencionada e o número de cavidades do molde do extra.

O término da ação precedente conduz ao agendamento do último grupo de máquinas, o das restritas. Aqui, deve-se, imediatamente, examinar a necessidade de produção de lastras no dia em análise, e na sua ausência, a presença de lastras em curso de fabrico nas MEAP, e de referências que as exijam, alocadas simplesmente nesse dia em análise. Novamente, face ao desprovimento pela fila de espera de referências adequadas, está outorgado o recurso a extras, obedecendo exatamente a todas as imposições espelhadas no parágrafo anterior.

Repare-se, por fim, que o procedimento de agendamento acima detalhado difere ligeiramente das sextas-feiras e vésperas de feriado, para os restantes dias úteis. Contudo, a única dissemelhança é detetada na seleção de referências da fila de espera, que além do cumprimento das orientações já indicadas, deve, para os dois tipos de dias úteis salientados, restringir-se, ao máximo, àquelas com maiores lotes. Deste modo, não se instigam produções muito superiores ao realmente necessário, dada a impossibilidade de troca de moldes nos dias subseqüentes (dias não úteis).

Antes de qualquer validação do plano gerado, dá-se a certificação da hipótese de execução de amostras. A sua aprovação depende da prática de um número de *setups* abaixo do teto limite e da sua compatibilidade dos processadores a tais sujeitos com as amostras. No entanto, o total de *setups* inutilizados nunca poderá ser ultrapassado pela quantidade de amostras que se aproveita a alocar.

Chega, agora, o momento da avaliação do programa de produção desenhado para o período estudado. Nesse sentido, torna-se primordial o somatório: das (1) cavidades de molde a usufruir em todo o sistema, das (2) referências a laborar em paralelo que exigem placas refratárias, e destas, (3) as urgentes, bem como (4) das referências que carecem de placas do tipo grande (ou 3), e destas, (5) também as urgentes. Concluídos os cálculos, comparam-se os valores de (2) e (4) com os respetivos máximos tabelados. Se respeitados, observa-se a pertença, ou não, do valor de (1), ao intervalo pré-estabelecido, conforme o estado dos cavaletes declarado inicialmente. Caso estas condições se confirmem, o plano produtivo para o dia foi alcançado com sucesso, enquanto que na situação contrária, a solução precisa de uma série de ajustes.

A correção do programa produtivo acontece pela compilação de um mecanismo de reparação, cuja função passa por consertar o resultado provido pela afetação das referências, considerando agora os recursos auxiliares renováveis. Estes abrangem as restrições dos totais de referências com necessidade de placas refratárias, de placas do tipo grande e de cavidades de molde, em processamento simultâneo em todas as MEAP, na data em alvo. A alocação das lastras, vistas como auxiliares e não renováveis, deve manter-se imutável, algo explicado pela perpetuação do seu pedido, efetuado por uma certa referência, desde o dia anterior. Também as referências que as requerem deverão prevalecer, dado o prévio cuidado tido em alocá-las. Todas as outras referências podem ser substituídas, mas com a certeza da não superação do máximo daquelas em *biscuit*, com execução coincidente. Assim, as referências que cedem o seu lugar, devem ser aquelas

que incorporaram o plano, apenas do dia em análise (logo, sem qualquer quantidade em WIP), devendo ser ainda transferidas para um conjunto de referências pendentes (RP).

A principal vantagem da aplicação do mecanismo de reparação, após a atribuição das referências às máquinas, cinge-se à transformação dessa solução que, de momento, é inadmissível, em admissível. No meio desse percurso, o recurso ao conjunto RP permite tornar a solução parcialmente admissível, já que fica despojada das referências que menos contribuem para a sua aceitação, quer em termos de placas refratárias, quer de cavidades de molde e cavaletes. No entanto, a solução terá de reter novas referências que lhe confirmam admissibilidade. Contudo, a seleção dessas é bastante rigorosa, para que os cuidados já tidos na afetação inicial, relativos ao aspeto *biscuit* e às lastras, não tenham sido em vão. Isto é, a garantia dessas restrições mantém-se, evitando a sua constante consideração na afetação das novas referências e a frequente verificação do seu cumprimento. Deste modo, o foco passa para as restrições de recursos adicionais renováveis. Como há esta separação e a inexistência da necessidade de verificação de todas as restrições ao mesmo tempo, o esforço computacional é potencialmente reduzido e, por sua vez, o consumo de tempo de CPU, o que motivou esta divisão.

Portanto, a reformulação do programa enceta com o confronto dos totais de referências urgentes associadas a placas refratárias, e àquelas do tipo 3, com os correspondentes máximos estipulados. Se excedidos, as urgências com prazo de entrega mais alargado e que utilizam placas devem ser removidas uma a uma do plano, para que a cada iteração se verifique o já cumprimento ou não dos limites de placas. Quando obdecidos, comparam-se, de igual modo, os totais de referências com ligação a placas refratárias e às do tipo grande, com os máximos que os circunscrevem. Diante o seu desrespeito, transferem-se primeiramente para RP, as assumidas como necessidades ou extras, e afetadas simplesmente no dia em estudo. Se porventura não for suficiente, torna-se inevitável a deslocação adicional de urgências. Olhando em concreto para os extras, estes devem ser movidos em duplicado, isto é, para RP e para o conjunto de extras pendentes (EP), impedindo a repetição da sua alocação ainda nesse dia. Além disso, no caso de desobediência dos máximos de referências com placas e placas grandes, deve-se, em primeiro lugar, remover do plano as referências que requerem as placas grandes e só depois, as dependentes das outras. O motivo desta ordem prende-se pelo facto de a exclusão das referências relativas a placas grandes poder, por si só, baixar o total global de referências com uso de placas, para o mais alto patamar autorizado. Perceba-se, ainda, que a tática aqui subjacente assenta na priorização das referências urgentes, de entre todas aquelas relacionadas com placas refratárias.

Nesta sequência, regressa novamente o encargo de reatribuir referências aos equipamentos. Consequentemente, retoma-se a primeira lista de espera estruturada e do topo para o fundo, adota-se, para cada máquina liberta, a referência, que logo surja, compatível, sem exigir nenhuma placa ou lastra e que assevere a restrição dedicada ao aspeto *biscuit*. Na ausência de referências adequadas, predestinam-se extras sob a alçada das condições atrás averiguadas, salvo a plena exclusividade a um grupo de processadores. Espera-se agora, que a solução já corrigida, em termos de plataformas refratárias, responda afirmativamente aos parâmetros de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, refletindo a realidade “vívida” no armazém local. A sua objeção encaminha o procedimento heurístico para um novo ciclo de alterações, ao passo que o oposto se traduz na origem de um plano favorável. Normalmente, ou (1) se excedem os máximos para

cavaletes saturados, ou (2) para praticamente vazios, ou se (3) carece de cavidades que perfaçam, pelo menos, o mínimo obrigatório para cavaletes livres.

A negação das regras de validação convoca o método de retificação do total global de cavidades de molde. Por esta via, deslocam-se para RP, e se extras, também para EP, todas as referências planeadas, não correspondentes a lastras, livres destas e de placas, e com as datas de entrega mais tarde. Tal deverá ocorrer até se satisfazer um dos seguintes critérios de paragem: (1) finalização da transferência de todas as referências com as características descritas, (2) desocupação de todos os processadores com *setup* previsto, ou (3) total de cavidades menor que o limite mínimo pré-definido. Atente-se que o terceiro se aplica apenas quando o total de cavidades é superior ao máximo desejado, independentemente da capacidade reconhecida aos cavaletes. Esta decisão é alicerçada pela redundância em garantir a veneração a um outro valor, abaixo do mínimo em vigor, quando o total de cavidades já está abaixo desse mínimo.

A partir deste momento, calcula-se o número máximo de cavidades de molde que cada máquina, entretanto disponível, pode albergar. Há probabilidade que resulte em zero, o que implica a expulsão de outras referências do plano, com vista a torná-lo num inteiro positivo. Quando atingido, procede-se, uma vez mais, ao agendamento das MEAP, procurando fazê-lo inicialmente para as restritas, seguidas das medianamente restritas e, por fim, as críticas. Esta inversão da ordem baseia-se na frequente atualização do valor máximo de cavidades a determinar, à medida que se preenchem as máquinas, já que estas nem sempre fruem desse máximo de cavidades delineado, entrando as cavidades que sobram novamente na conta. Para além desse limite, as referências selecionadas da fila de espera devem: (1) consentir um prazo de entrega curto e (2) uma elevada necessidade real de branco; (3) não requer placas refratárias ou (4) lastras; e (5) ser comportáveis pelas máquinas vazias. Assim como na primeira parte do mecanismo de reparação, pode-se também recorrer a extras.

Finalmente, chega a averiguação da admissibilidade da proposta de planeamento, que se espera ver assumida. Como se alterou toda a estrutura do plano de referências, é necessário reformular o das amostras, segundo as orientações iniciais.

Resta, assim, copiar as soluções para o período análogo no programa semanal e para cada referência a obter, adicionar o montante estimado de peças produzidas durante esse período, e à fração de dias de trabalho entre esse e a data de entrega, subtrair-lhe um dia. Esta tarefa é escusada para as amostras, porque se efetuam numa ou duas horas, nunca continuando para o dia seguinte. Da lista de extras, eliminam-se os extras presentes no plano, para impedir a sua repetição ao longo da calendarização. Indispensável é também a transcrição do recente programa para o do dia anterior, para que a heurística possa partir dele.

Posto isto, reinicia-se toda a rotina descrita, repetindo-a para todos os períodos do horizonte temporal. Por fim, apresentam-se todos os resultados relativos às medidas de desempenho, de formas gráfica e tabular, bem como o plano semanal de referências, num gráfico de barras sobrepostas horizontais.



## **5. Fases de Implementação e Avaliação do Desenho do Processo de Planeamento das MEAP**

Após o planeamento do processo global ideal de agendamento das MEAP, seguido do desenho dos meios para o atingir, chega a altura de os implementar, com recurso às ferramentas mais adequadas, e de os integrar na execução do processo global. Por sua vez, avalia-se o desempenho de cada meio e analisa-se a eficiência do processo global, com posterior recomendação de novas melhorias.

Os meios seleccionados e desenhados convergem na criação de um sistema de apoio à tomada de decisão, baseado em abordagens de solução, que sugira planos de produção aceitáveis para as MEAP.

### **5.1. Fases de Implementação e Execução do Desenho do Processo de Planeamento das MEAP**

O presente subcapítulo inicia-se com a descrição da etapa de implementação do sistema desenhado de apoio à decisão, quer em termos das especificações dos instrumentos utilizados, quer da agregação do sistema ao processo como um todo (secção 5.1.1). O assunto que se lhe segue comporta toda a execução, desde a definição de duas instâncias de diferentes dimensões, baseadas no problema real, e dos seus parâmetros de entrada, até ao exercício do processo de planeamento das MEAP na sua plenitude (secção 5.1.2).

#### **5.1.1. Implementação do Desenho do Processo**

Indireta ou até instantaneamente, nas secções 4.2.2.3 e 4.2.2.4, o leitor é remetido para o presumível caminho até à meta: o da “tradução”, numa linguagem informática, do sistema de apoio à tomada de decisão (modelo PLIM e heurística construtiva).

Num primeiro momento, com o intuito de testar as abordagens de solução desenvolvidas, tornou-se essencial conceber, no *Microsoft Excel*, um documento padronizado, que albergue as instâncias e os seus parâmetros de entrada, comum para as duas vertentes de solução.

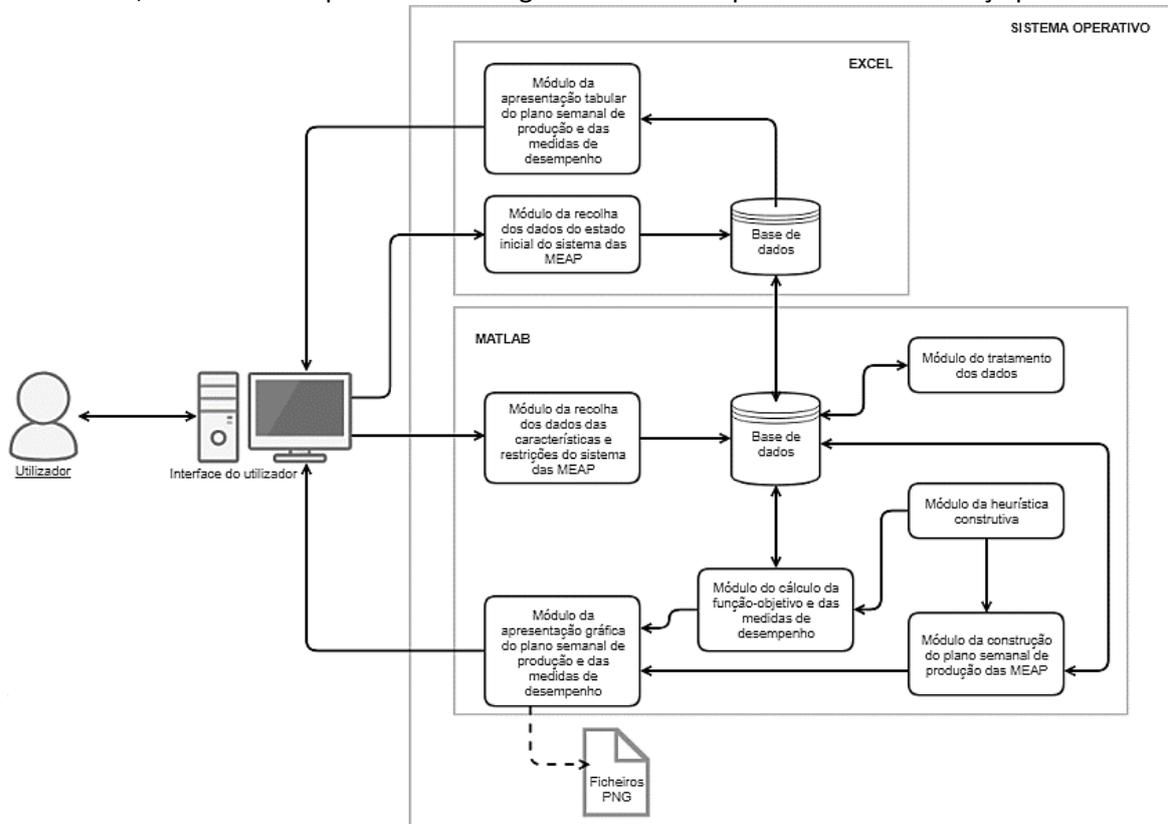
A aplicação, em ambiente informático, do modelo matemático acontece através da versão 12.8 do *software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio*. A sua eleição recaiu na rápida construção de modelos de otimização, e na alargada gama proporcionada de aplicações de exemplos de problemas de planeamento e agendamento. Assim, a função-objetivo e todos os parâmetros e restrições são inscritos num ficheiro próprio para a modelação destas declarações. Um outro deve conter as instâncias importadas da folha de *Excel* acima indicada, enquanto que o ficheiro que armazena o modelo compilado deve-se apresentar sob a linguagem de programação linear (variáveis numéricas combinadas em restrições lineares e administradas por uma função-objetivo linear e por limites nas variáveis). Por último, os resultados são exportados para um outro documento de *Excel*.

Relativamente à heurística construtiva, optou-se pela sua transformação em “código” no *software* da *The MathWorks, Inc.*: o *MATLAB*, no formato R2014a (versão 8.3.0.532) para 64 bits. Tal como a sua preferência por milhões de engenheiros e cientistas, para a análise e projeção de sistemas, também aqui ele foi escolhido. A partir da sua linguagem baseada em matrizes, permite

naturalmente expressar matemática computacional, desde manipulações matriciais, criação de gráficos, implementação de algoritmos, conceção de interfaces com o utilizador e integração de código *MATLAB* com outras linguagens (por exemplo, *C*, *C++*, *C#*, *Java*, *Fortran* e *Python*), possibilitando a concretização de aplicações em sistemas de produção e *web* (Wikipedia, 2018). Além disso, o *software* possui um codificador que converte código de *MATLAB* em código legível e portátil de *C* e *C++*. Estes podem depois ser compilados em compiladores de *C/C++* gratuitos, como o *Windows SDK 7.1* (The MathWorks, 2016) e o *MinGW 5.3 C/C++ para 64 bits* (The MathWorks, 2017). Esta possibilidade assume-se, pois, como uma mais-valia, porque, apesar de o *MATLAB* ser pago, há a hipótese de utilizar o programa nele gerado na organização, bastando prepará-lo corretamente, para que satisfaça os requisitos do compilador e seja usufruído pela empresa. Nesse sentido, deve-se (1) declarar o tipo de variáveis; (2) definir entradas, saídas e variáveis locais, em funções, para a representação de dados com tamanho mutável durante a execução; (3) decidir entre a alocação de memória estática ou dinâmica; e (4) conferir velocidade ao código (mais esclarecimentos em The MathWorks, n.d.).

Como nota final, a heurística é “alimentada” com os dados característicos das MEAP, inseridos no *MATLAB*, e com as instâncias introduzidas em *Excel*, sendo os seus frutos transcritos para um ficheiro distinto, também nesse último suporte. Este ficheiro repercutirá a formatação de um documento de *Excel* estandardizado, previamente originado. Os valores do desempenho medido serão ainda ilustrados em gráficos esboçados em *MATLAB* e estes, exportados para ficheiros PNG, que automaticamente se conectarão, por hiperligações, aos resultados em *Excel*.

Deste modo, a arquitetura do sistema de apoio à tomada de decisões, baseado na heurística construtiva, encontra-se representada na figura 17. É visível que o utilizador começa por introduzir



**Figura 17** – Arquitetura do sistema de apoio à tomada de decisão, baseado na heurística construtiva proposta.

os dados relativos ao estado inicial do sistema das MEAP. Estes são armazenados num ficheiro de *Excel* e daí exportados para a memória do *MATLAB*. O utilizador insere ainda as características e restrições das MEAP, guardadas diretamente no *MATLAB*. Também aqui é tratado o conjunto de dados formado e a informação resultante, armazenada. A partir da combinação dessa informação com o algoritmo heurístico, contido no módulo da heurística do *MATLAB*, é construído o plano semanal de produção para o setor em estudo. Este plano é guardado na base de dados, para posterior utilização no cálculo dos valores correspondentes à função-objetivo e ao desempenho do plano, segundo as instruções dadas pela heurística. Tal como o programa produtivo, estes resultados do desempenho são guardados também na base de dados do *MATLAB*. Ambos são exportados para *Excel* e nesse suporte, apresentados, através da interface do utilizador, sob a forma tabular. Igualmente, são exibidos diretamente do *MATLAB* para a interface do utilizador, em gráficos, e estes gráficos, exportados para ficheiros PNG.

### 5.1.2. Execução do Desenho do Processo

A finalização da implementação do sistema de apoio desenhado transporta-nos para a sua incorporação no processo genérico de planeamento das MEAP, e posterior experimentação do último. A dita inclusão do sistema deve entrar em conformidade com alguns princípios primados na hora de decidir o agendamento das MEAP. Esses princípios provêm da combinação da regulamentação auferida do departamento de logística e do da produção (secção 4.2.2.1), que por uma questão de coerência, se mantiveram durante o teste do processo global.

Da junção das normas das duas repartições indicadas, aliada à colaboração com os responsáveis pelo planeamento da produção de branco e ao acesso às plataformas de informação da empresa acolhedora, geraram-se duas instâncias reais diferentes (ver Anexo E). Cada uma destas é composta por um conjunto de referências discriminadas ao nível de: (1) categorização em amostras, pré-produções, ou referências padrão de linha, ou reposição; (2) tipologia (em *biscuit*, ou não, e da família, ou não, das lastras); (3) disponibilidade e (4) número de cavidades do respetivo molde, (5) compatibilidade deste com os vários grupos de máquinas, (6) quantidade média de peças obtidas num dia de trabalho e (7) percentagem de segurança e lixo (refugo) respeitante; (8) exigência ou não de cada um dos três tipos de placas refratárias e (9) de lastras; (10) *stocks*; (11) saldos de carteira; (12) necessidades totais de branco; (13) quantidades já produzidas; e (14) datas de entrega. Adicionalmente, formou-se uma lista de extras (ver Tabela E. 2), com referências padrão de linha, detalhadas de igual modo, salvo em relação aos quatros últimos pontos. Estes foram trocados pelos totais de vendas no ano anterior e a sua diferença com as existências em armazém.

Realça-se que todos os dados agregam os compromissos reais da organização a 18 de abril de 2018, o marco do começo do horizonte temporal, ao qual se associa o estado diário de ocupação dos cavaletes. Inclusive, a saturação destes foi prevista nessa data para os próximos dois dias, algo que à posteriori se confirmou. O espaço temporal termina a 26 de abril de 2018, pelo que abrange um fim-de-semana e o feriado nacional do Dia da Liberdade. Durante este intervalo, registaram-se 1 pedido de pré-produção e 4 de amostras de referências existentes, motivadas pela melhoria dos seus moldes, daí se encontrarem referenciadas por um código, algo que não acontece com as de NPs. Evoca-se ainda para o facto de que a informação mencionada foi guardada em suporte de *Excel*. Quanto aos restantes parâmetros que restringem o funcionamento da divisão em estudo,

relembra-se a construção, no programa heurístico, de uma interface humano-computador (ver Anexo F) para os receber. Contrariamente, no modelo matemático, espelharam-se os parâmetros num ficheiro de dados criado na própria aplicação da *IBM*. Salienta-se que se extraíram dos resultados ocasionados pela heurística, os dados relativos aos lotes de produção e os respetivos tempos de processamento, utilizados pelo modelo, para que as abordagens partam de instâncias uniformizadas. Ainda para o modelo, os tempos de processamento das necessidades são superiores em 1 unidade ao tamanho do horizonte temporal, decidido para cada instância.

Para uma maior noção dos valores citados, resume-se na tabela 18 o cenário típico do setor das MEAP e alguns aspetos globais que caracterizam cada lista de dados, empregues na heurística. Em oposição, a tabela 19 generaliza os dados tratados pelo modelo matemático. Ambas as abordagens trabalham com iguais números, quer de máquinas de cada tipo, quer de *setups* diários, e ainda com as mesmas instâncias. Porém, como o algoritmo de otimização não considera a disponibilidade dos moldes, houve a necessidade de impedir a leitura, por parte do modelo, das referências com moldes indisponíveis (inclui os das amostras, cuja operacionalidade está em fase de testes). Como também não atende à requisição de lastras, acrescentaram-se, às instâncias, as referências de lastras solicitadas por outras referências presentes nessas instâncias. Consequentemente, a dimensão dessas instâncias aumentou 2 unidades. Note-se que nas instâncias utilizadas pela heurística não constam as referências de lastras, pois estas são automaticamente adicionadas às instâncias, aquando da sua requisição.

Por fim, acionou-se o processo global de planeamento da produção das MEAP e, por consequência, a compilação de ambas as abordagens nos *softwares* em 5.1. Os testes destas foram levados a cabo num computador com processador *Intel(R) Core(TM) i5-6200U*, 6 *gigabytes* de memória *RAM* e 2.30 *gigahertz*, podendo atingir os 2.80 *gigahertz*. Possui ainda, um sistema operativo de 64 *bits* e a edição *Windows 10 Home*. Em cada ensaio, só estava no computador aberto o programa necessário. Chama-se também a atenção para a execução do processo de planeamento das MEAP de acordo com a modificação da sua ordem, abrangida pelo modelo TO-BE (secção 3.3.3).

**Tabela 18** – Panorama identificado na área das MEAP e selecionado para o planeamento da produção, durante os períodos de 1 a 7, pela afetação, através da heurística, das referências da instância pequena ou grande, complementada pela dos extras.

HEURÍSTICA		Parâmetros de Entrada		Total	Instâncias		
					Pequena	Grande	
Máquinas	Paralelas não relacionadas			10	Nº de referências	52	99
	Críticas			4			
	Medianamente restritas			2	Nº de extras	118	118
	Restritas			4			
	Máximo diário de <i>setups</i>	Dia útil		6			
Dia não útil		0					
Cavaletes	Livres	Cavidades de molde em utilização	Mínimo	14	Nº de referências com molde indisponível	7	7
			Máximo	18			
	Saturados		Mínimo	11			
			Máximo	13			
Máximo de referências de cada tipo em processamento simultâneo	Aspeto em <i>biscuit</i>			1	Necessidade total de branco média (peças)	715	505
	Requisição de recursos auxiliares	Placas Refratárias	Tipo indiferente	2			
			Lastras			1	Prazo médio de entrega (dias)
	Pertença à família das lastras			1			

**Tabela 19** – Panorama identificado na área das MEAP e selecionado para o planeamento da produção para todo o horizonte temporal, pela afetação, através do modelo PLIM, das referências da instância pequena ou grande.

MODELO PLIM		Instâncias		Parâmetros de Entrada		Total		
		Pequena	Grande					
Nº de referências	Com molde disponível	Referências padrão	45	92	Máquinas	Paralelas não relacionadas	10	
		Referências padrão com requisição de lastras	2	3		Críticas	4	
		Referências de lastras	2	2		Medianamente restritas	2	
	<b>Subtotal</b>		<b>47</b>	<b>94</b>		Restritas	4	
	Sem molde disponível	Nº de referências de amostras	4	4		Máximo diário de <i>setups</i>	Dia útil Dia não útil	6 0
		Nº de referências dos restantes tipos	3	3				
		<b>Subtotal</b>		<b>7</b>		<b>7</b>		
	<b>Total de Referências</b>		<b>54</b>	<b>101</b>				
	<b>Necessidade total de branco média (peças)</b>		715	505				
	<b>Prazo médio de entrega (dias)</b>		7.50	8.97				
<b>Dimensão do horizonte temporal (dias)</b>		40	65					

## 5.2. Fase de Avaliação da Execução do Desenho do Processo de Planeamento das MEAP

Este subcapítulo abarca toda a base de comparação dos resultados específicos do sistema de apoio à decisão, oriundos da execução do processo completo de planeamento, com as medidas de desempenho previamente estabelecidas (secção 4.2.2.2). Daqui emerge uma discussão, da qual germinarão conclusões pertinentes, para a fase da análise pós-execução que se avizinha.

### 5.2.1. Modelo de Programação Linear Inteira Mista

O algoritmo de otimização, como é sabido, não tem em conta as restrições do (1) armazém local, do (2) total diário de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, da (3) disponibilidade de moldes, dos (4) recursos adicionais e das (5) propriedades físicas e técnicas das peças de cada referência. Contudo, tem como objetivo primordial a atribuição de referências a cada máquina compatível, de acordo com o máximo diário de *setups* permitidos, dependente do tipo de dia (útil ou não), de maneira a cumprir os seus prazos de entrega ao forno de chacote e a minimizar o atraso total.

A tabela 20 expõe o plano produtivo ótimo originado pela execução do modelo, onde os códigos a vermelho dizem respeito a referências urgentes, ao passo que aqueles a preto correspondem a necessidades.

De uma perspetiva geral, percebe-se que o *makespan* é de 23 dias e que as urgências se concentram nos primeiros dias do programa, tal como desejado. Verifica-se também que nos períodos correspondentes a dias úteis e não úteis, os limites superiores de 6 e 0 *setups* diários, respetivamente, não foram ultrapassados.

Após a satisfação dos lotes de algumas das referências, visualiza-se a paragem de máquinas nos períodos seguintes, uma vez que estes se tratam de fins-de-semana e feriados, durante os quais não estão autorizados *setups*. No entanto, em contexto real, mesmo depois de atingir o tamanho dos lotes necessário, a produção desses lotes prolongar-se-ia até o dia útil mais próximo.

**Tabela 20** – Programa de produção nas MEAP, de todas referências da instância pequena, originado pelo modelo PLIM, para um horizonte temporal de 40 períodos.

INSTÂNCIA PEQUENA																				
Períodos	Data	Dia Útil?	Cavaletes saturados?	Críticas				Medianamente Restritas		Restritas				Total Setups	Total Ref. Biscuit	Total Ref. c/Placa	Total Ref. c/Placa 3	Total Ref. de Lastras	Total Ref. c/Lastras	Total Cavidades
				Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3	Máquina 4	Máquina 5	Máquina 6	Máquina 7	Máquina 8	Máquina 9	Máquina 10							
0	18/04/2018	1	0		1004235		1000319	1002116	1004606		1003791	1001494		0	0	1	0	0	1	16
1	19/04/2018	1	1	1005316	1004584		1004350	1004000	36000256				36000674	5	1	0	0	1	1	18
2	20/04/2018	1	1		1005315	1004580							58001988	6	1	2	1	2	2	12
3	21/04/2018	0	0	-----			1004573	1004382	1004682		1003893		58002055	0	1	2	1	2	1	8
4	22/04/2018	0	0	-----										0	1	1	1	0	0	4
5	23/04/2018	1	0	1002029	1003406	1002248		-----	1005963					6	0	0	0	0	0	22
6	24/04/2018	1	0		1003379	1005870	1003529	1002247	1004644		36000425			5	2	1	0	0	0	13
7	25/04/2018	0	0		1004972									0	2	1	0	0	0	12
8	26/04/2018	1	0											6	2	2	1	0	0	12
9	27/04/2018	1	0					1004378	1001363					0	2	2	1	0	0	11
10	28/04/2018	0	0		1005466	1005893	1003779							0	2	2	1	0	0	10
11	29/04/2018	0	0	36000546										0	2	1	1	0	0	9
12	30/04/2018	1	0											3	1	4	2	0	0	8
13	01/05/2018	0	0		1004501	-----			1003752	1004771				0	0	4	2	0	0	6
14	02/05/2018	1	0											3	1	2	1	0	0	7
15	03/05/2018	1	0					1005074						1	1	1	0	0	0	9
16	04/05/2018	1	0				1003987							1	1	0	0	0	0	9
17	05/05/2018	0	0											0	1	0	0	0	0	8
18	06/05/2018	0	0		1003778	1005869								0	1	0	0	0	0	8
19	07/05/2018	1	0											1	1	0	0	0	0	11
20	08/05/2018	1	0											0	1	0	0	0	0	11
21	09/05/2018	1	0				1003396							0	1	0	0	0	0	8
22	10/05/2018	1	0											0	0	0	0	0	0	6
23	11/05/2018	1	0											0	0	0	0	0	0	6

**Tabela 21** – Referências da instância pequena, programadas pelo modelo PLIM, com atraso face às datas de entrega.

Referências com Atraso	Atraso
1004573	2
1004580	4
1005316	4
58001988	5
36000546	10

**Tabela 22** – Quadro-resumo dos atrasos das referências da instância pequena.

Atraso no Cumprimento das Datas de Entrega das Referências da Instância Pequena					
Nº Referências com Atraso	Atraso Total	Tempo Médio de Atraso	Atraso Máximo		
			Conclusão em t	Referência	Atraso
5	26	5.2	14	36000546	10

Recorde-se que a condição relativa ao intervalo de 1 dia entre o início do processamento de uma lastra e da referência que a requer não foi espelhada no modelo. Contudo, as referências 1005316 e 58001988 (lastras) possuem essa diferença temporal, contrariamente às referências 1005315 e 58002055 (lastras) que se iniciam no mesmo período. Contudo, a produção das 2 referências de lastras coincide em 2 períodos consecutivos, quando no máximo somente se pode obter 1 referência de lastra por período. Repare-se ainda que os totais de referências, em processamento simultâneo, em *biscuit*, com requisição de lastras, placas refratárias e das do tipo grande (ou 3), e o total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, face ao estado de ocupação dos cavaletes não são respeitados durante todo o horizonte temporal, pois não constituem restrições no modelo. Na tabela 20 destacam-se a vermelho os períodos onde tal acontece.

No que concerne ao atraso, 5 referências não obedecem ao seu prazo de entrega, de entre as quais se encontra a referência de lastras 58001988. Esta é apenas concluída no período seguinte ao do término da referência 1005316, que as solicita. Como a cozedura das peças desta referência só se efetua depois de obtidas todas as lastras necessárias, implica a que esta referência não tenha 4, mas sim 5 dias de atraso. Deste modo, embora o modelo indique um atraso total de 25 dias, 26 é na verdade o seu valor real, pelo que o tempo médio de atraso é de 5.2 dias. O maior atraso é de 10 dias e pertence à referência 36000546.

Já a execução do modelo PLIM para a instância pequena despendeu aproximadamente 78 segundos.

Tal como na heurística construtiva, as amostras são unicamente alocadas aquando de *setups* de máquinas compatíveis, sem nunca exceder o limite superior de *setups* diários. Esta regra é explicada pelo facto de as máquinas nunca pararem, não existindo folgas que possam ser reservadas para a obtenção das amostras. Dado que o modelo matemático não é capaz de aplicar, devido à não consideração das amostras, motivada pela indisponibilidade dos seus moldes, tentou-se manualmente colocar em prática este princípio, procurando causar o menor impacto possível no atraso total, mas afetando-as o mais cedo possível (ver tabela 23).

Nesse sentido, a referência 1001814 foi agendada no período 2, pois trata-se do 1º dia útil com menos de 6 *setups*, e na máquina 2, porque existe uma paragem no 4º período, benéfica para o caso de a amostra provocar algum atraso à referência 1005315 e conduzir ao adiamento do seu processamento. Nessa situação, a sua produção continua na referida folga, sem prejuízo para as referências seguintes, que, por sinal, são classificadas de necessidades. Todavia, a referência que substituirá a amostra, mesmo sendo urgente, ainda possui algum espaço de manobra até à sua data de entrega. Por sua vez, a amostra 1006044 foi planeada para o período 6, porque é o 2º dia útil com menos de 6 *setups*, e na máquina 8, porque todas as referências nela alocadas são finalizadas antes do período em questão. Note-se que aqui as amostras não precisam de ser concretizadas aquando da troca para moldes de outras referências planeadas, visto que existem várias paragens de máquinas. Já a amostra 1000467 foi atribuída no período 12, porque é o 3º dia útil com um total de *setups* inferior a 6, e na máquina 6, porque a referência nela agendada, para esse 12º período, ainda tem folga até à sua data de entrega, além de ser sucedida por necessidades. Por último, a amostra 1001812 é planeada para o 14º período, porque é o próximo no qual se verificam *setups* nas máquinas críticas e com um total, em todo o sistema, menor do que o máximo permitido. A escolha da máquina 3 deve-se ao facto de a única referência que se lhe segue ser necessidade.

**Tabela 23** – Programa de produção de amostras nas MEAP (com omissão dos períodos 2 a 5, 7 a 11 e 13, durante os quais não ocorreu a afetação de amostras), para a instância pequena.

PLANO SEMANAL DE AMOSTRAS – INSTÂNCIA PEQUENA												
Máq.	Código	Amostra	Lote	Código	Amostra	Lote	Código	Amostra	Lote	Código	Amostra	Lote
1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	1001814	PB SAL. QUAD.021 COIMBRA 181/21	50	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1001812	PB SAL. QUAD.027 COIMBRA 181/27	50
4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
5	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1000467	PB BAND CASCAIS QUAD S/DECOR 02PN	50	-----	-----	-----
7	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8	-----	-----	-----	1006044	BANDEJA DIVISÓRIA S LOYALTY S/DECOR PN	50	-----	-----	-----	-----	-----	-----
9	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Períodos	1			6			12			14		

Relativamente à instância grande, o OPL, até ao final do tempo limite estabelecido (9070 segundos), igual para ambas as instâncias, não conseguiu encontrar a solução ótima. No entanto, após o decurso desse intervalo temporal, encontrou uma solução incumbente, situada a 73.05% da solução ótima. Este facto depreende-se rapidamente pela análise do plano (tabela 25), já que existem diversos períodos vazios, associados a dias úteis, onde as referências poderiam ter sido alocadas mais cedo. Curiosamente, as restrições dos totais de referências, em processamento simultâneo, com requisição de lastras e de placas refratárias do tipo grande, foram cumpridas, e a do total de referências com requisição de placas só falhou em 2 períodos.

Quanto aos atrasos, denota-se novamente o aumento de 1 dia no atraso da referência 1005316, pois a sua conclusão ocorre 1 dia mais cedo do que a das lastras (58001988) que requer (tabela 24). O atraso máximo de 12 dias (tabela 26) podia ser claramente reduzido, visto que se associa a uma referência que poderia ser alocada mais cedo. Isto, porque existe 1 referência menos prioritária (necessidade), com apenas 2 dias de processamento, que é agendada 6 períodos antes dessa mesma referência. Contudo, compreende-se que a solução não é ótima, mas sim admissível, sendo esse um dos seus efeitos. Por esse motivo, optou-se também por não sugerir uma solução possível de agendamento de amostras.

**Tabela 24** – Referências da instância grande, programadas pelo modelo PLIM, com atraso face às datas de entrega.

Referências com Atraso	Atraso
1004382	1
1003887	1
1004573	2
1001562	2
1004473	2
1004642	3
1005316	4
1004580	4
58001988	5
1004644	5
1002247	7
1004666	8
1005413	8
36000565	9
1005315	10
1003779	11
36000546	11
36000039	12

**Tabela 25** – Programa de produção nas MEAP, de todas referências da instância grande, originado pelo modelo PLIM, para um horizonte temporal de 65 períodos.

INSTÂNCIA GRANDE																				
Períodos	Data	Dia Útil?	Cavaletes saturados?	Críticas				Medianamente Restritas		Restritas				Total Setups	Total Ref. Biscuit	Total Ref. c/Placa	Total Ref. c/Placa 3	Total Ref. de Lastras	Total Ref. c/Lastras	Total Cavidades
				Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3	Máquina 4	Máquina 5	Máquina 6	Máquina 7	Máquina 8	Máquina 9	Máquina 10							
0	18/04/2018	1	0		1004235		1000319	1002116	1004606		1003791	1001494		0	0	1	0	0	1	16
1	19/04/2018	1	1	1005316	1003406		1004584	1004000	36000256					5	1	0	0	1	1	22
2	20/04/2018	1	1			1004580						58001988	36000674	5	1	1	0	2	1	12
3	21/04/2018	0	0				1004573	1003752		1001116	1004453			0	1	1	0	2	0	8
4	22/04/2018	0	0		1005953									0	1	0	0	0	0	7
5	23/04/2018	1	0	1002029			1000354					36000090		6	1	2	1	0	0	17
6	24/04/2018	1	0			1004720		1004382		1004941	36000096	58001988		6	2	2	1	1	0	17
7	25/04/2018	0	0	1004473	1003379		1001562						36000237	0	2	2	1	0	0	14
8	26/04/2018	1	0		1004350		1002248			1005963				6	1	0	0	0	0	15
9	27/04/2018	1	0				1002045					1004005		6	1	2	1	0	0	17
10	28/04/2018	0	0		1005893		1001294	1004378	1005413	36000748				0	1	2	1	0	0	17
11	29/04/2018	0	0											0	1	2	1	0	0	10
12	30/04/2018	1	0	36000546										6	1	1	1	0	1	16
13	01/05/2018	0	0			1005315		1004642	1004644	1001407			36000243	0	0	1	1	0	1	10
14	02/05/2018	1	0											6	0	2	1	0	0	18
15	03/05/2018	1	0				36000520	1004666	1002247					3	0	3	1	0	0	21
16	04/05/2018	1	0		1003396						1003893		36000240	5	0	2	0	0	0	18
17	05/05/2018	0	0	1000220		36000605	36000565	1000233	1004852	1003887				0	0	1	0	0	0	15
18	06/05/2018	0	0											0	0	1	0	0	0	15
19	07/05/2018	1	0		1003700			1001363	1004771					5	1	1	1	0	0	10
20	08/05/2018	1	0											0	1	1	1	0	0	10
21	09/05/2018	1	0		1000486	1003779		1004682						3	1	1	0	0	0	10
22	10/05/2018	1	0				1005869		1004770					2	1	3	0	0	0	9
23	11/05/2018	1	0				1004501	1004424						2	1	2	0	0	0	11
24	12/05/2018	0	0	1003720										0	1	1	0	0	0	10
25	13/05/2018	0	0											0	1	1	0	0	0	7
26	14/05/2018	1	0											4	2	0	0	0	0	7
27	15/05/2018	1	0	1004972		1004574		1005074	1005505					2	1	0	0	0	0	9
28	16/05/2018	1	0		1004401		1003892	1003529						2	0	0	0	0	0	9
29	17/05/2018	1	0			1005866								0	0	0	0	0	0	7
30	18/05/2018	1	0		1004582		1005894	1004371						3	0	0	0	0	0	7
31	19/05/2018	0	0											0	0	0	0	0	0	5
32	20/05/2018	0	0											0	0	0	0	0	0	2

33	21/05/2018	1	0	1005870	1005027	1005466	1004661						4	2	0	0	0	1	8	
34	22/05/2018	1	0														0	2	0	0
35	23/05/2018	1	0	1003778	1003987								1	1	0	0	0	1	10	
36	24/05/2018	1	0														1	1	0	0
37	25/05/2018	1	0											0	0	0	0	0	0	6
38	26/05/2018	0	0											0	0	0	0	0	0	6
39	27/05/2018	0	0											0	0	0	0	0	0	6
40	28/05/2018	1	0											1	0	0	0	0	0	10
41	29/05/2018	1	0											0	0	0	0	0	0	4
42	30/05/2018	1	0											0	0	0	0	0	0	4
43	31/05/2018	0	0											0	0	0	0	0	0	4
44	01/06/2018	1	0											0	0	0	0	0	0	4
45	02/06/2018	0	0										0	0	0	0	0	0	4	
46	03/06/2018	0	0										0	0	0	0	0	0	4	
47	04/06/2018	1	0										0	0	0	0	0	0	4	
48	05/06/2018	1	0										0	0	0	0	0	0	0	
49	06/06/2018	1	0										0	0	0	0	0	0	0	
50	07/06/2018	1	0										0	0	0	0	0	0	0	
51	08/06/2018	1	0										0	0	0	0	0	0	0	
52	09/06/2018	0	0										0	0	0	0	0	0	0	
53	10/06/2018	0	0										0	0	0	0	0	0	0	
54	11/06/2018	1	0										0	0	0	0	0	0	0	
55	12/06/2018	1	0										0	0	0	0	0	0	0	
56	13/06/2018	1	0										1	1	0	0	0	0	1	
57	14/06/2018	1	0										0	1	0	0	0	0	1	
58	15/06/2018	1	0										0	1	0	0	0	0	1	
59	16/06/2018	0	0										0	1	0	0	0	0	1	
60	17/06/2018	0	0										0	1	0	0	0	0	1	
61	18/06/2018	1	0										0	1	0	0	0	0	1	
62	19/06/2018	1	0										0	1	0	0	0	0	1	
63	20/06/2018	1	0										0	1	0	0	0	0	1	

Tabela 26 – Quadro-resumo dos atrasos das referências da instância grande.

Atraso no Cumprimento das Datas de Entrega das Referências da Instância Grande						
Nº Referências com Atraso	Atraso Total	Tempo Médio de Atraso	Atraso Máximo			Atraso
			Conclusão em t	Referência	Atraso	
18	106	5.9	30	36000039		12

### 5.2.2. Heurística Construtiva

A procura por um método simples e intuitivo para avaliar o programa heurístico conduziu à ilustração gráfica e tabular dos seus produtos finais.

Assim, as próximas figuras revelam não só os planos semanais de produção de referências e amostras das duas instâncias, como também as tendências ocultas no desempenho da sua construção. Adicionalmente, no plano de referências, é representada a classificação dessas referências em (1) urgentes, pela cor do código a vermelho, (2) necessidades, a preto, e (3) extras, a azul ciano. Repare-se, no entanto e como esclarecido na secção 4.2.2.2, que essas tonalidades advêm da designação conferida pela primeira vez a cada uma das referências, sem a consideração da sua futura atualização, ocasionada, por exemplo, pela continuidade na elaboração de um lote urgente já satisfeito e que, portanto, se transformou em necessidade. Esse efeito é habitual ao fim-de-semana, pela impossibilidade de troca de moldes. Já as lastras, se requeridas, tomam sempre prioridade máxima (urgentes). A sua falta poderá congestionar o chão-de-fábrica, porque, uma vez conformadas as peças, obrigatoriamente ter-se-ão de terminar, o que implica a colocação de lastras ao dispor, para proceder à cozedura em chacote dessa loiça.

Olhando, em primeiro lugar, para a instância pequena e, em particular, para as amostras (tabela 27), verifica-se a afetação de 3 das 4 amostras em fila de espera, entre os períodos 1 e 6 do horizonte, ou seja, de 19 a 24 de abril, o que conduz a uma taxa de alocação de 75% (tabela 29) e uma média aproximada de 0.4 amostras atribuídas por dia (tabela 30). A credibilidade desta ocorrência é rapidamente apoiada pelo gráfico de total de *setups* planeados, que demonstra que se aproveitaram os *setups* efetivados em máquinas compatíveis, para nelas se obterem as amostras, sem ultrapassar o máximo diário de *setups*. Note-se que a última amostra é atribuída no período 6, porque no 3º e 4º decorre o fim-de-semana, durante o qual é interdita a realização de qualquer mudança de máquina, tal como no período 5, devido ao alcance do “teto” limite autorizado para essas preparações. Apesar de no momento 2 não se atingir o máximo dos 6 *setups* diários, não significa que os 3 processadores mudados sejam conciliáveis com as amostras em espera.

Relativamente às referências urgentes e com necessidade, apenas 11 foram alocadas (figura 18) e 27 ainda aguardam laboração, o que perfaz uma percentagem de afetação de 29%, global para os 7 dias (tabela 29), e uma média na ordem das 1.6 referências (urgentes e com necessidade) agendadas por dia (tabela 30). Este baixo valor é explicado pela intromissão de um fim-de-semana e um feriado (período 7), que impediram a substituição dos moldes associados aos lotes já concluídos, obrigando à prolongação do seu processamento. A perceção dessas interrupções é também adquirida a partir do gráfico de *setups* (figura 18.d). Além disso, foram programadas 9 das 13 urgências em espera inicialmente (69% de alocação) (tabela 29). Apela-se a atenção para o desprezo das lastras nestes cálculos, porque, como já esclarecido, podem entrar na fila de espera por diversas vezes, quase que insinuando a presença nela de várias referências de lastras, quando só seria a de uma. Os extras agendados são também ignorados, pois, tal como a própria designação indica, não eram realmente precisos e não integravam a fila de espera.

Já no gráfico de total de cavidades de molde em utilização (figura 18.c), observa-se, entre os instantes 1 e 4, a constância e a igualdade desse total a 13, algo explicado pelo facto de, nos dois primeiros períodos, os cavaletes se encontrarem completos, o que restringiu o referido somatório de cavidades ao intervalo de 11 a 13 e levou à sua repercussão nos dois últimos instantes, por se

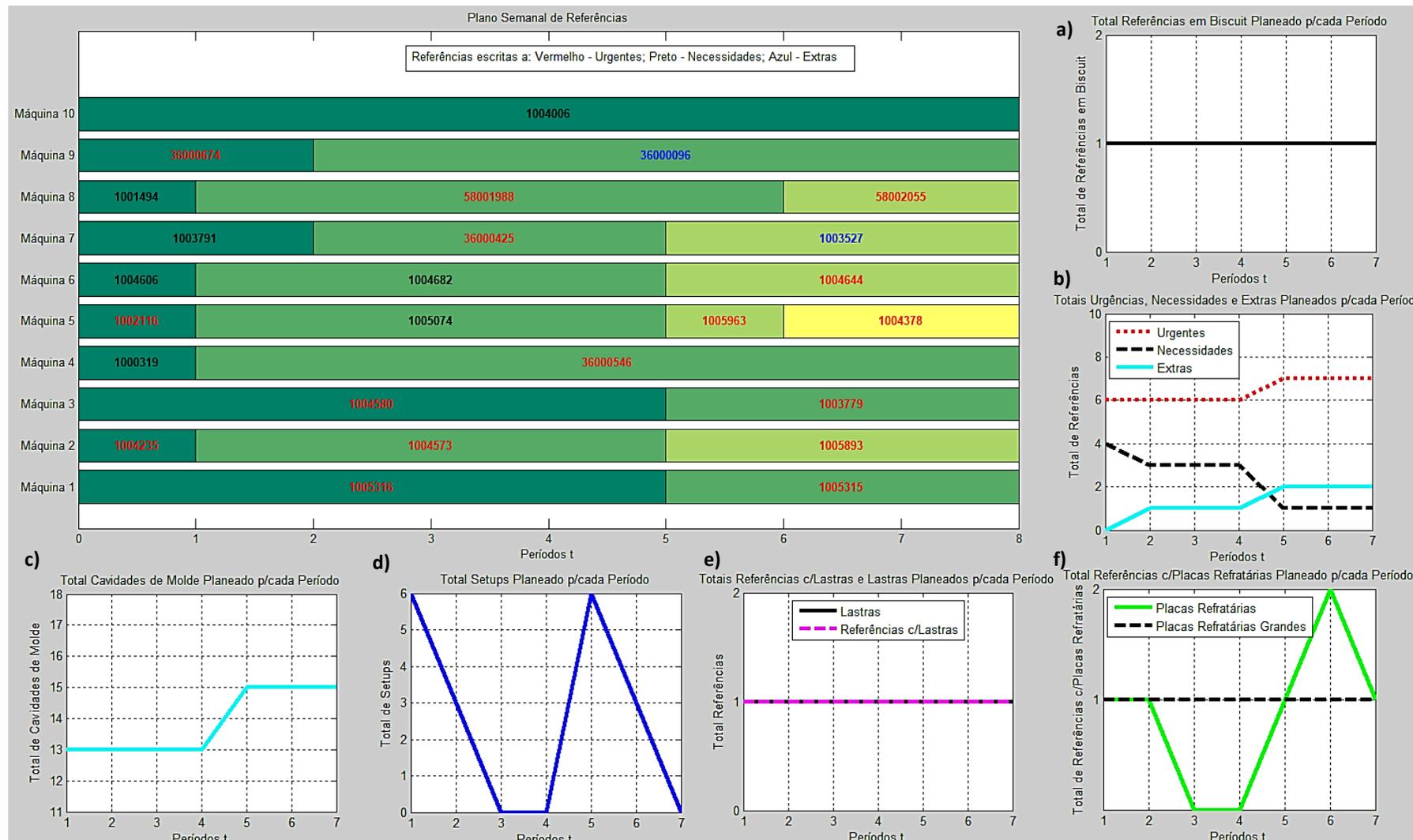
tratarem de sábado e domingo. A partir daí, os cavaletes regressaram ao seu estado de disponibilidade, o que se refletiu na subida para a casa das 15 cavidades e na sua estabilização, durante a véspera de feriado e esse.

**Tabela 27** – Programa semanal de produção de amostras nas MEAP (com omissão dos períodos 3 a 5 e 7, durante os quais não ocorreu a afetação de amostras), para a instância pequena.

PLANO SEMANAL DE AMOSTRAS – INSTÂNCIA PEQUENA										
Máq.	Código	Amostra	Lote	Código	Amostra	Lote	Código	Amostra	Lote	
1										
2	1001814	PB SAL. QUAD.021 COIMBRA 181/21	50							
3										
4										
5							1000467	PB BAND CASCAIS QUAD S/DECOR 02PN	50	
6										
7				1006044	BANDEJA DIVISÓRIAS LOYALTY S/DECOR PN	50				
8										
9										
10										
<b>Períodos</b>		<b>1</b>			<b>2</b>			<b>6</b>		

Quanto ao número de referências em *biscuit* com processamento simultâneo (figura 18.a), o máximo de 1 nunca foi excedido e é dado pelo processamento das referências urgentes de códigos 1004573 e 1005893, na máquina 2, nos períodos de 1 a 4 e de 5 a 7, respetivamente. Verifica-se ainda um claro decréscimo de 4 para 1 referência com necessidade planeada e a subida, no 5º dia, de 6 urgências para 7 (figura 18.b). Contudo, nos momentos 2 e 5, os processadores restritos 9 e 7, respetivamente, recebem referências extra, com as quais permanecem até ao final do horizonte. Mais uma vez, cita-se aqui que quaisquer lastras a processar são urgentes, porque existem referências que as aguardam para prosseguir o seu normal curso de fabrico.

Analisando, agora, o gráfico alusivo às placas refratárias (figura 18.f), depreende-se a calendarização de referências com a exigência desses recursos, dentro dos máximos permitidos para todas as MEAP e uma mesma data. O mesmo acontece para as referências que requerem lastras e para as próprias lastras. Da visualização da figura 18 e 17.e, destaca-se o agendamento de uma lastra logo no instante 1, provado pelo seu pedido, no dia anterior, por parte da referência 1005316. Apesar da conformação dessa referência se estender forçosamente até ao período 4, inclusive, a dimensão do lote da lastra associada acompanha a quantidade em WIP dessa referência, de maneira a oferecer um suporte a todas as suas peças, ainda que muitas não fossem realmente necessárias (juntam-se ao *stock*). Deste modo, a concretização dessa lastra é expandida até ao 5º dia e no 6º, dá lugar a uma nova lastra solicitada no 5º dia, pela referência 1005315.



**Figura 18** – Programa semanal de produção de referências nas MEAP, para a instância pequena, e suas medidas do seu desempenho: **a)** totais diários de referências em *biscuit* com processamento simultâneo; **b)** totais diários de urgências, necessidades e extras planeados; **c)** totais diários de cavidades de molde planeados; **d)** totais diários de *setups* planeados; **e)** totais diários de lastras e de referências que as requerem, cada na situação de processamento simultâneo; **f)** totais diários de referências que requerem placas refratárias e placas das do tipo grande, cada na situação de processamento simultâneo.

Posto isto, o cumprimento dos prazos de entrega ao forno de chacote foi barrado, visto que se antevê o término de 5 referências após a data de entrega, de entre todas as referências programadas com conclusão prevista dentro do horizonte temporal. Nessas 5 inclui-se 1 referência de lastras de código 58001988, finalizada no período 6 e com o maior atraso (8 dias). A sua data de entrega é igual à da referência 1005316, que a solicitou. Embora a última se conclua no período 5 (logo com atraso de 7 dias), não pode ser cozida sem os referidos suportes, o que implica a espera de mais 1 dia até entrar no forno. Consequentemente, ao invés de 7 dias de atraso, possui 8, pelo que o atraso total é de 25 dias e o tempo médio de atraso, de 5 dias (tabela 31).

No que toca às referências que se mantiveram em espera, 3 já estão em “débito” com os seus prazos, o que se traduz em 7 dias de atraso total, 2, de tempo médio de atraso e 3, de atraso máximo, causado pela referência 1002029 (tabela 32).

Finalmente, a compilação da heurística construtiva, com a instância pequena, consumiu, na sua totalidade, aproximadamente 10 segundos de tempo de CPU (Figura G. 1 do Anexo G).

Transpondo, nesta altura, a concentração na instância grande, a interpretação dos resultados é bastante idêntica à descrita acima e segue a mesma ordem de exposição de ideias.

No que toca às amostras (tabela 28) apenas 2 das 4 em fila de espera foram agendadas, nomeadamente nos momentos 1 e 2, logo a taxa de alocação é de 50% (tabela 29), enquanto que a média de afetação diária é de 0.3 amostras (tabela 30). Conquanto se visualize mais cedo, no gráfico de total de *setups* (figura 19.d), a inutilização do máximo permitido por dia, como no instante 2, não significa a sucessão de *setups* em equipamentos elegíveis pelas amostras e, claro, quando esse máximo é usufruído, como no 5º período, torna-se impossível a consecução dessas amostras.

**Tabela 28** – Programa semanal de produção de amostras nas MEAP (com omissão dos períodos 3 a 7, durante os quais não ocorreu a afetação de amostras), para a instância grande.

Máq.	Código	Amostra	Lote	Código	Amostra	Lote
1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	1001814	PB SAL. QUAD.021 COIMBRA 181/21	50	-----	-----	-----
3	-----	-----	-----	-----	-----	-----
4	-----	-----	-----	-----	-----	-----
5	-----	-----	-----	-----	-----	-----
6	-----	-----	-----	-----	-----	-----
7	-----	-----	-----	1006044	BANDEJA DIVISÓRIAS LOYALTY S/DECOR PN	50
8	-----	-----	-----	-----	-----	-----
9	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10	-----	-----	-----	-----	-----	-----
<b>Períodos</b>	<b>1</b>		<b>2</b>			

Em contrapartida, distribuíram-se 12 novas referências, todas urgentes, pelo plano semanal (figura 19) e mantiveram-se 73 em espera, o que se traduz numa proporção de 14% de afetação (tabela 29) e numa média de 1.7 referências urgentes alocadas por dia (tabela 30). O motivo é exatamente igual ao explicitado para a instância pequena, assim como o é também, em relação à utilização de 13 cavidades de molde no período 1, e de 12 cavidades até ao 4º período. Esse valor cresce depois para 14 cavidades, no 5º dia, e conserva-se. Salienta-se, uma vez mais, que todas as

referências planeadas são urgentes e que somente 13 urgências continuam a aguardar processamento, de onde emerge uma percentagem de 48% de afetação de urgências. Este facto está perfeitamente representado no gráfico dos totais planeados de cada tipo (figura 19.b), onde, no período 2, o somatório de urgências sobe de 8 para 9 (onde se mantém), devido à libertação de uma máquina, decorrente da finalização de 1 necessidade, vinda do plano do período 0 e cujo lote, no período 1, ainda estava por acabar.

Novamente, o total de referências em *biscuit*, com laboração coincidente, é de 1, ao longo de todo o espaço temporal (figura 19.a), com raiz no fabrico das referências urgentes 1004573 e 1004473.

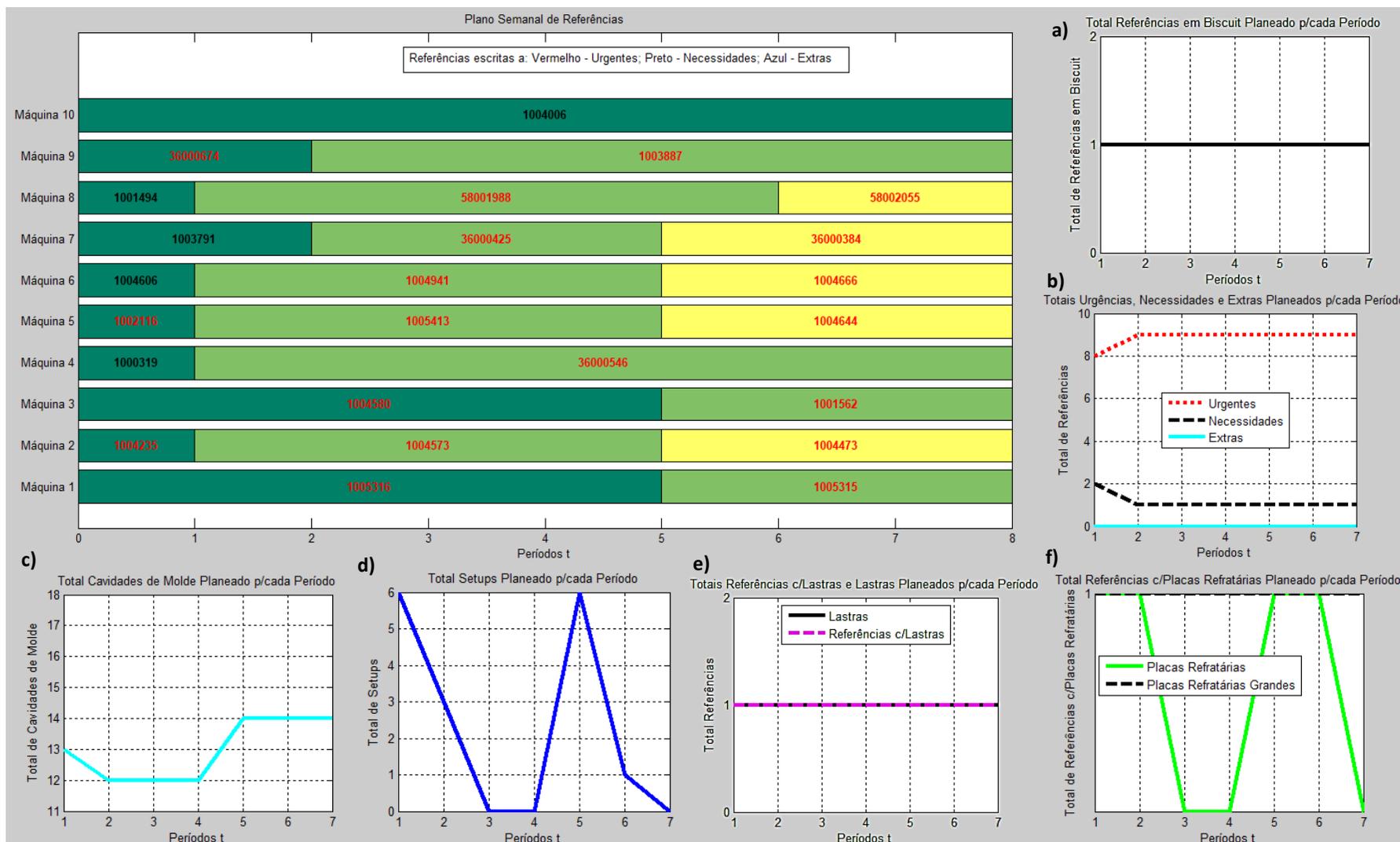
Pela observação dos gráficos pertencentes às plataformas cerâmicas e refratárias (figura 19.e e 18.f), percebe-se que as conclusões são precisamente as mesmas retiradas para a instância menor.

À semelhança da instância pequena, também o atraso máximo, igual a 8 dias, está associado à referência de lastras com o código 58001988, cuja conclusão se dá no 6º dia. Por consequência, a referência 1005316, que as exige, possui o mesmo atraso, apesar de finalizada no 5º dia. Deste modo, somam-se 6 referências com término dentro do intervalo temporal estudado, que provocaram 27 dias de atraso total e 4.5 dias de tempo médio de atraso (tabela 31). Quanto às referências sem alocação, os resultados são exatamente iguais aos relativos à instância menor (tabela 32).

Por último, da execução do programa em *MALTAB*, contabilizou-se um tempo total e aproximado de CPU de 17 segundos (Figura G. 2 do Anexo G).

Resumindo, a heurística construída oferece, em pouco tempo de CPU (para o computador especificado em 5.1.1), soluções relativamente boas de planeamento para as duas instâncias, respeitando os limites introduzidos pelo utilizador e procurando dar sempre preferência às referências urgentes. No entanto, verificou-se a calendarização de extras durante o teste da pequena instância. Porém, esses extras foram atribuídos a máquinas restritas, algo que não foge à realidade encontrada na fábrica, devido ao elevado *stock* inventariado, de referências produzidas por esses processadores, o que repulsa a geração de necessidades no mapa diário de branco. Uma outra situação desfavorável está nos longos atrasos ocasionados, expectáveis, por um lado, pelo facto dos cavaletes se encontrarem saturados nos dois primeiros períodos, o que impediu a afetação de referências associadas a moldes com mais cavidades, com prazos de entrega mais apertados. Por outro lado, a passagem por um fim-de-semana e um feriado impossibilitou a substituição das referências com lotes já satisfeitos.

Outro pormenor, mas não menos importante, diz respeito à diferença entre o somatório global de todos os *setups* diários, representados nos gráficos de cada instância, e o número total de referências urgentes e com necessidade, alocadas em todo o plano semanal. Tal justifica-se pelo total diário de *setups* não abranger somente as mudanças de máquinas para esse tipo de referências, uma vez que também inclui as mudanças para instalar os moldes de referências de lastras, amostras e extras.



**Figura 19** – Programa semanal de produção de referências nas MEAP, para a instância grande, e suas medidas do seu desempenho: **a)** totais diários de referências em *biscuit* com processamento simultâneo; **b)** totais diários de urgências, necessidades e extras planejados; **c)** totais diários de cavidades de molde planejados; **d)** totais diários de *setups* planejados; **e)** totais diários de lastras e de referências que as requerem, cada na situação de processamento simultâneo; **f)** totais diários de referências que requerem placas refratárias e placas das do tipo grande, cada na situação de processamento simultâneo.

**Tabela 29** – Quadro-resumo com os totais do conjunto urgências e necessidades, de urgências e de amostras, alocados no plano semanal, e do total daquelas em espera, após a conclusão do plano.

	Instâncias	Pequena	Total de Referências	Tipo de Referências Alocadas até t = 7			Tipo de Referências em Espera em t = 7			
				Urg. + Nec.	Urgentes	Amostras	Urg. + Nec.	Urgentes	Amostras	
				<b>Valor Absoluto</b>	11	9	3	27	4	1
		<b>Percentagem</b>	29%	69%	75%	-----	-----	-----		
		<b>Grande</b>	<b>Total de Referências</b>	<b>Valor Absoluto</b>	12	12	2	73	13	2
				<b>Percentagem</b>	14%	48%	50%	-----	-----	-----

**Tabela 30** – Quadro-resumo com a média dos totais do conjunto urgências e necessidades e das amostras, alocados por dia.

Instâncias	Nº Médio de Referências de cada Tipo Alocadas por Dia	
	Urgências + Necessidades	Amostras
Pequena	1.6	0.4
Grande	1.7	0.3

**Tabela 31** – Quadro-resumo dos atrasos das referências com processamento finalizado dentro do horizonte temporal.

Instâncias	Atraso no Cumprimento das Datas de Entrega das Referências Concluídas até t = 7					
	Nº Referências com Atraso	Atraso Total	Tempo Médio de Atraso	Atraso Máximo		
				Conclusão em t	Referência	Atraso
Pequena	5	25	5	6	58001988	8
Grande	6	27	4.5	6	58001988	8

**Tabela 32** – Quadro-resumo dos atrasos das referências sem agendamento no horizonte temporal e ainda em fila de espera.

Instâncias	Referências em Fila de Espera em t = 7, já com Atraso				
	Nº Referências com Atraso	Atraso Total	Tempo Médio de Atraso	Atraso Máximo	
				Referência	Atraso
Pequena	3	7	2	1002029	3
Grande	3	7	2	1002029	3

### 5.3. Fases de Análise Pós-execução e Recomendação de Novas Melhorias no Desenho do Processo de Planeamento das MEAP

O presente subcapítulo transcende da avaliação “ao microscópio” do fragmento do processo melhorado, para a análise “a olho nu” do processo global de planeamento. Este estudo é fundamentado pelo paralelo entre o antes e o depois da execução do sistema de apoio desenhado. Com esse desígnio, colocaram-se lado a lado as atividades de cada subprocesso, representadas nos diagramas em BPMN, e cujos seus inconvenientes constituíram o alvo do trabalho de melhoria desenvolvido, com os próprios problemas e as soluções originadas. As deficiências identificadas deverão ser evitadas em próximas execuções do processo, devendo-se, na fase de recomendação, definir um objetivo que governará a fase de planeamento, decorrente do reinício do ciclo de vida de gestão de processos.

Para uma maior compreensão, preferiu-se dispor essa informação na tabela 33, acompanhada de uma caixa de verificação, a assinalar consoante a viabilidade das tentativas de resolução. A utilização de um “visto” simboliza a eficiência dessas tentativas, um traço, a eficiência parcial, e uma cruz, a fraca ou nenhuma eficiência. Recorde-se que o processo sofreu ligeiras modificações na sua ordem, pelo que os subprocessos no quadro não coincidem com a sequência ilustrada na figura 10. Tenha-se também presente, que a apresentação das ações levadas a cabo correspondem ao modelo AS-IS, ou seja, ao estado atual do processo por elas provocado.

**Tabela 33** – Lista de verificação da eficiência das ações de melhoria implementadas nas diversas atividades do processo.

Subprocessos	Atividades	Inconvenientes	Ações de Melhoria/ Corretivas Executadas	<input type="checkbox"/>
1º. Analisar novas necessidades de produção.	<p>a. Analisar o mapa diário das necessidades de produto proveniente do sistema ERP.</p> <p>b. Analisar os pedidos de amostras e pré-produções do e-mail recebido do departamento de novos produtos.</p>	1. Detecção demorada de novas necessidades.	Transposição da informação relevante do mapa diário de branco, para um documento de Excel padrão e adição nesse documento das produções solicitadas pelo departamento de NPs, para leitura do sistema de apoio à tomada de decisão.	<input checked="" type="checkbox"/>
2º. Definir prioridades na sequência produtiva.	Conjugar, através de um processo lógico e mental, os requisitos ao nível da produção, auferidos dos departamentos de marketing, design, NPs e logística/planeamento.	Definição de prioridades na sequência produtiva, sem ferramentas de apoio.	Classificação e priorização, pelo sistema de apoio, das referências a produzir, mediante os respetivos stocks, saldos de carteira, necessidades de branco e datas de entrega estipuladas pelas referidas repartições.	<input checked="" type="checkbox"/>
3º. Calcular quantidades a planear.	<p>a. Analisar a necessidade total.</p> <p>b. Calcular a percentagem de refugo.</p> <p>c. Somar as quantidades a e b.</p> <p>d. Analisar as vendas do último ano.</p>	Dimensionamento de lotes pouco preciso.	Cálculo do tamanho do lote pelas alíneas a., b. e c., com o emprego da percentagem de refugo associada a cada referência e o cuidado em garantir pelo menos 1 dia de conformação.	<input type="checkbox"/>
4º. Analisar condições de equipamento e material	<p>a. Analisar as limitações dos equipamentos no processamento de produtos.</p> <p>b. Controlar a taxa de cadência pelo somatório das cavidades de molde em utilização em todo o sistema.</p>	<p>1. Ausência no mapa da identificação das máquinas elegíveis para cada referência.</p> <p>2. Ausência no mapa, para cada referência, do número de cavidades do respetivo molde.</p>	Criação de uma pequena base de dados com todas as referências fabricadas pelas MEAP e respetivas características físicas e técnicas, a partir da sua extração do sistema ERP e em conversa com o responsável pela secção (daqui conhece-se também a disponibilidade dos moldes), para utilização do sistema de apoio.	<input type="checkbox"/>

	c. Analisar a necessidade e disponibilidade de plataformas refratárias ou cerâmicas.	3. Ausência no mapa e no sistema ERP da necessidade de placas refratárias de cada referência.	
	d. Analisar a capacidade para fabrico de produtos com características especiais (em <i>biscuit</i> ).		
	a. Verificar a existência de necessidades para todas as máquinas; em situação negativa, atribuir os produtos mais vendidos, mais adequados (extras).	4. Necessidades insuficientes para ocupar todas as máquinas.	
5º. Decidir o plano de produção.	Determinar o plano com base na análise efetuada das condições de equipamento e material e o auxílio do responsável pelo setor das MEAP.	1. Construção do plano de produção sem qualquer automatização. 2. Falta de visão do programa de produção a curto prazo.	Geração de uma solução admissível de agendamento semanal da produção, com recurso à informação indicada nos quatro subprocessos anteriores, adiando os lotes cujo molde está indisponível. 
6º. Disponibilizar o plano produtivo.	Inserir manualmente todos os códigos, designações e lotes das referências planeadas e as quantidades em WIP, num ficheiro de <i>Excel</i> .	Plano de produção reportado num ficheiro de <i>Excel</i> , partilhado em modo de leitura.	Partilha, na rede da fábrica, do documento de <i>Excel</i> com o plano semanal de produção, engendrado automaticamente pelo sistema de apoio. 

As listas de verificação são ferramentas de uso bastante acessível e de rápida apreensão, pois basta olhar para a coluna dos “quadrinhos” para entender se as tarefas/compromissos foram concluídas ou não. Então, pela observação da tabela 33, deteta-se que a 6ª ação de melhoria não foi eficaz. O motivo para tal provém da necessidade da transformação futura do sistema criado, para uma linguagem de programação de possível execução num bom compilador gratuito, uma vez que esse poderia ser instalado nos computadores da organização.

Almeja-se, assim, levar esse projeto avante, possibilitando a compilação do programa desenhado, imediatamente após a extração dos dados mais atualizados das plataformas de informação da empresa, permitindo a elaboração automática de um plano semanal de produção, que serviria de base para a decisão do real agendamento a praticar.

Embora não se encontre demarcado na lista, outro ponto negativo na exibição do plano produtivo situa-se na sua representação pelo gráfico de barras sobrepostas, na medida em que as cores dos códigos das referências nem sempre mostram a sua real classificação. Esta é a consequência da utilização única da designação arcada por cada referência, no momento em que é destinada a uma máquina, pela primeira vez. No entanto, pode-se dar o caso de uma referência assumida inicialmente como urgente (cor vermelha) continuar em processamento, após a conclusão do seu lote, passando a necessidade (cor preta). Este facto acontece com frequência ao fim-de-semana, feriados ou até quando se atinge o número máximo diário de *setups*, tendo que se

selecionar as referências cujo processamento se prolongará. A forma mais fácil de contornar esta situação seria dispor as referências por cada dia, mas tal levaria a muitas repetições numa só barra e perder-se-ia a noção do tempo de processamento de cada uma. Portanto, o ideal é ilustrar a mudança de classificação e localizá-la no tempo, o que implicaria no máximo uma repetição da referência na mesma barra.

No que toca ao 3º ponto, apenas faltou o cálculo baseado também nas quantidades reais produzidas no passado (análise de dados). Todavia, seria melhor desenvolver um modelo de dimensionamento de lotes, que oferecesse uma solução mais otimizada, ao invés de seguir puramente as indicações, um pouco de senso comum, definidas na tabela.

Quanto à 4ª ação, mencionada como parcialmente eficiente, a razão emerge do envolvimento do estado de saturação dos cavaletes. Lembre-se que esta condição é de difícil previsão, especialmente para mais do que dois dias, contados a partir daquele em que se está a planear. Esta situação acabou por ser transmitida para o programa heurístico, na medida em que a introdução da indisponibilidade dos cavaletes para um ou os dois dias a seguir ao período 0 promover uma correta calendarização da produção. Em contraste, o alerta, mais adiante no horizonte temporal, da ocupação total desses suportes gera tempos de vazio em algumas máquinas e esse não é de todo o objetivo da organização. É, sim, o da ocupação permanente das máquinas, com paragem apenas em período de férias ou manutenção, daí, por vezes, a programação de extras. Assim, aquando da utilização do programa heurístico, dever-se-á evitar informar a sobrelotação do armazém local para um prazo superior a dois dias, contado a partir do período 0.

Relativamente ao 5º subprocesso, seria importante o desenvolvimento de um método de melhoramento das propostas de planeamento, de maneira a tornar as soluções admissíveis, oferecidas pela heurística construtiva, mais próximas do ótimo. Nesse sentido, poder-se-ia apostar na aplicação de um método de pesquisa local, como o de pesquisa *tabu*. Isto, porque se poderiam iterativamente tentar substituir as necessidades ou urgências com prazo de remessa alargado, pelas urgências com data de entrega mais cedo. As características de cada iteração sem qualquer impacto positivo seriam guardadas numa lista *tabu*, que impediria a revisita a essas soluções originadas. Porém, aquando da obtenção de uma solução vizinha melhor, a atual seria atualizada, bem como a melhor conhecida, caso se apresente mais eficiente que essa.

Além disso, constituir-se-ia uma mais-valia corrigir o modelo de programação linear inteira mista, pela inclusão dos aspetos do problema em falta (restrições do armazém local, dos recursos adicionais e das propriedades das referências). Serviria, assim, como base de comparação entre a solução ótima que proporcionaria e a solução encontrada através da abordagem heurística. Desta forma, avaliar-se-ia a qualidade das soluções da última, embora esta represente bem o modo habitual de planear na organização. Apesar do algoritmo matemático não incorporar todas as características detetadas no ambiente fabril, é conveniente realizar ainda mais testes de validação.

Por fim, resta calcular a percentagem de automatização que o processo geral de planeamento das MEAP adquiriu, através do somatório de todas as atividades praticadas pelo planeador, modeladas em BPMN, e das atividades listadas acima, já que as últimas foram todas mecanizadas.

Assim, no 1º subprocesso da lista, contam-se 6 atividades e automatizaram-se 2; do 2º, 1 atividade e a automatização dessa; do 3º, 4 atividades e 3 automatizadas; do 4º, 10 atividades e 8 automatizadas; do 5º, 1 atividade e a sua automatização; e do 6º, 4 atividades e 2 automatizadas.

Logo, contabilizam-se 26 atividades desempenhadas pelo planeador da produção e a mecanização de 17 delas, atingindo-se uma automatização de aproximadamente 65% em todo o trabalho ao cargo do planeador, um grande passo na direção para a Indústria 4.0. Note-se que para este cálculo não foram consideradas as atividades levadas a cabo pelo sistema ERP, pois esse já processa de maneira independente do planeador a informação, enquanto que os suportes de correio eletrónico e *Excel* requerem a introdução de dados pelo programador da produção. Apesar de tudo, a percentagem não implica propriamente a automatização nas melhores condições, como comprovado pelos argumentos anteriores.



## 6. Conclusão

Atualmente, cada vez mais se evidenciam as fortes exigências do mercado e os desafios que têm colocado à indústria da transformação. É certo que se vivem tempos de mudança, de passagem para a era da Indústria 4.0, que promove o foco na adição de valor aos processos industriais e incentiva a ascensão da eficiência e produtividade destes, pela automatização e integração de altas tecnologias, aliadas a sistemas de apoio à tomada de decisões.

Este é o enquadramento que motivou o presente trabalho, o de um pequeno passo, direcionado para a criação das condições capazes de aproximar os atributos do planeamento da produção da VAA, daqueles típicos do planeamento do movimento destacado.

O trilho seguido assemelha-se bastante ao dos circuitos de corridas de automóveis, onde a cada volta se tenta ultrapassar os adversários e melhorar o seu desempenho. O mesmo se aplicou aqui, onde o percurso corresponde ao ciclo de vida de gestão de processos de negócio e a primeira volta, à sua implementação.

Assim, para começar, identificou-se na fábrica um problema de agendamento de máquinas de enchimento a alta pressão, cujo processo foi devidamente descrito e modelado com recurso à notação BPMN. Dos diagramas ilustrados, assinalaram-se as potenciais melhorias, que convergiram, sobretudo, na construção de um sistema apto para oferecer soluções de programação semanal da produção dos equipamentos mencionados.

Com o plano traçado, avançou-se para o desenho da forma que tornaria possível a sua materialização. No entanto, procurou-se saber em que categoria a problemática se encaixava e conhecer os métodos já existentes para a resolver. A partir daqui o problema intitulou-se de planeamento de máquinas paralelas, flexíveis e não relacionadas, com processamento de lotes de tamanho variável e de chegada numa base diária, e com restrições de elegibilidade, recursos adicionais discretos, renováveis e não renováveis, máximo diário de *setups*, de especificidades das peças de cada referência e armazém local.

Nesta altura, entra a definição de toda uma conjuntura heurística, que suportará o sistema de apoio pensado. O seu princípio de funcionamento consiste em: (1) recolher todos os parâmetros que limitam a calendarização; (2) atribuir a justa importância a cada trabalho; (3) libertar as máquinas que satisfizeram lotes no período anterior; (4) dimensionar os trabalhos em fila de espera; (5) ordená-los por prioridade; (6) afetá-los às máquinas disponíveis e compatíveis, considerando os prazos de entrega e os recursos não renováveis; e (7) avaliar a solução, segundo todas as restrições indicadas. No caso de obtenção de uma solução não válida, executa-se um mecanismo de reparação, centrado nas ressalvas dos recursos renováveis, que: (1) transfere todos os trabalhos de menor relevância e que os utilizam, para um conjunto de trabalhos pendentes, até se obter uma solução parcialmente admissível; (2) preenche novamente os processadores com trabalhos conciliáveis, que não exijam nem consumam recursos adicionais; e (3) averigua a aceitação do resultado. Mais uma vez, se inadmissível, (1) retira todos os trabalhos associados a recursos renováveis, com determinadas características, consoante a disponibilidade do armazém local, até se atingir um dado critério de paragem, e (2) reatribui trabalhos em conformidade com esse armazém e com a elegibilidade dos equipamentos, e sem a necessidade de recursos adicionais. Por conseguinte, esta sequência é transformada num ciclo, para a elaboração de um plano fabril semanal, o qual proporciona uma ampla perspetiva do futuro próximo.

Adicionalmente, criou-se um modelo de programação linear inteira mista, assumido como uma variante mais simplificada de representação do problema. O motivo prende-se pelo facto de apenas considerar as restrições de elegibilidade de máquinas e do máximo diário de *setups* durante o agendamento das máquinas.

A fase seguinte aportou a implementação dos raciocínios acima, em *softwares* apropriados para algoritmos matemáticos e, posteriormente, a geração de instâncias, de diferentes dimensões, com dados reais da empresa, para a realização do processo global de planeamento das MEAP com as melhorias ponderadas. Por sua vez, mediu-se o desempenho das últimas e o impacto causado no processo geral, nomeando as falhas a corrigir e as metas a alcançar na “segunda volta da corrida”.

Posto isto, os resultados experimentais da heurística construtiva mostraram-se favoráveis à situação real, de agendamento dos equipamentos pertencentes ao setor estudado, para as duas instâncias concebidas. Contudo, a possibilidade de teste em contexto fabril foi barrada pela necessidade de conversão do programa heurístico numa linguagem executável num compilador gratuito, de fácil instalação na organização. Deste modo, conseguir-se-ia injetar os dados mais atualizados, extraídos das suas plataformas de informação, imediatamente antes da aplicação da heurística. O facto de o modelo PLIM não atender a exatamente todas as condições refletidas na heurística, tornou impossível a comparação dos resultados de ambos e a consequente avaliação da qualidade dos da última abordagem. Em adição, do modelo somente se conseguiu uma solução ótima para a instância pequena. Contudo, para a grande, foi encontrada uma solução incumbente, situada a 73.05% da solução ótima, ao final de um tempo limite estabelecido (9070 segundos).

Em contrapartida, o principal contributo deste trabalho reside na projeção de um sistema de apoio à tomada de decisões, relativas à calendarização da produção de máquinas de cariz semelhante ao das MEAP, que permite agilizar o processo inerente, pela automatização da construção de soluções de planeamento alternativas ou complementares, com um dispêndio de tempo inferior ao necessário pelos meios de programação tradicional.

Já a opinião da autora resume-se no seguinte: antes de qualquer investimento num sistema, é importante saber exatamente o que se pretende, conhecer perfeitamente o processo no qual será inserido e planificar todo o projeto de desenvolvimento. Em particular, a oportunidade cedida pela empresa, para “pôr mãos à obra” e auxiliar no planeamento das máquinas em questão, foi fundamental para reconhecer todos os requisitos, dificuldades e exceções, decorrentes dessa tarefa. Só assim foi exequível a personalização de uma abordagem de solução, que fosse ao encontro de um problema tão complexo. Toda a experiência vivida na empresa foi bastante enriquecedora e uma fonte inesgotável de conhecimento, que proporcionou um enorme e marcante crescimento, quer a nível pessoal, como profissional. Não só foi possível prestar ajuda no agendamento das MEAP, como também de todos os outros equipamentos de produção de branco, sem esquecer a programação do fabrico manual de formas de gesso. Além disso, houve o acompanhamento e o controlo do processo fabril, com a definição das prioridades em toda a produção, para garantir a satisfação das encomendas. Houve ainda a assistência no processo de lançamento de novos produtos, pelo planeamento de amostras e de pré-produções, e pela programação dos primeiros, para assegurar *stock* suficiente para esse lançamento. A participação em reuniões semanais para o planeamento de branco e o acompanhamento de novos produtos, bem como em reuniões diárias com o serviço de atendimento ao cliente, com os responsáveis pela

produção de branco e com os de planeamento da decoração de peças, foi uma constante. Houve também a possibilidade de construir e aplicar uma nova forma de analisar, detalhadamente e semanalmente, a resposta da produção face às encomendas e às necessidades de reposição dos *stocks* mínimos, isto é, a carga de trabalho semanal em cada um dos processadores. Todas estas tarefas permitiram aprofundar o saber nesta área tão importante de uma fábrica, mas, até lá, as explicações, a paciência e a vontade de ensinar de todos os colaboradores foram essenciais. Por conseguinte e face ao papel desempenhado, houve, por vezes, alguns momentos menos fáceis na conciliação dessas funções com esta dissertação. No entanto, foram superados e contribuíram imensamente para aprendizagem da famosa “gestão de conflitos”, de uma forma totalmente prática, preparando ainda mais a autora para o mundo do trabalho, que brevemente se avizinha.

No que toca ainda aos obstáculos defrontados, salienta-se a programação em *MATLAB* pela necessidade de reaprendizagem, porque, embora lecionada durante o primeiro ano de licenciatura da autora, já estava algo esquecida. Sobressai também a dificuldade sentida durante a implementação do modelo de otimização, no *software IBM ILOG CPLEX Optimization Studio*, pois exigiu uma enorme capacidade de resiliência, para que se alcançassem os resultados pretendidos. Todavia, considera-se que todas estas questões foram ultrapassadas com sucesso.

Finalmente, como trabalhos futuros, já explicitados em 5.3, seria interessante pôr em prática uma heurística de melhoramento de soluções, que pegasse naquelas tidas como admissíveis e as tornasse mais eficientes, com relação à função-objetivo estabelecida. Poderia, assim, substituir os trabalhos afetados, por outros que causassem menores constrangimentos nos prazos de entrega, atendendo, obviamente, a todas as condições adicionais. Além disso, o estabelecimento de um modelo de dimensionamento de lotes seria fulcral para os tornar mais precisos e adequados às suas necessidades.

A correção do modelo matemático de programação linear inteira mista, ao nível da inclusão das características e restrições do problema em falta, nomeadamente do armazém local, dos recursos adicionais e das propriedades das referências, é também uma excelente aposta. Tal permitiria a comparação dos resultados heurísticos com os ótimos e a avaliação da qualidade destes, apesar de a maioria das vezes, não serem exequíveis, ou os mais benéficos em termos práticos. Contudo, é também importante que no futuro se realizem mais testes de validação do modelo.

Sem dúvida que o tema do problema abordado diz respeito a um campo de investigação ainda muito pouco explorado, pelo que são muitos os ramos pelos quais se pode enveredar. Desde logo, a opção por outros objetivos de otimização, como o número de trabalhos em atraso, o número pesado de trabalhos atrasados, o total de desvio absoluto de datas de entrega comuns ou arbitrárias. É também pertinente o estudo da combinação mais simplista do problema de MPNR com, individualmente, cada um dos tipos de recursos auxiliares detetados, e a cada combinação, acrescentar, também de modo singular, cada uma das restantes restrições. Poder-se-ia incluir aqui a permissão de interrupção de lotes, percebida na realidade fabril, mas descartada da resolução.

Repete-se, ainda, a preparação do código do programa informático, por exemplo, em *C* ou *C++*, de maneira a possibilitar a sua compilação em qualquer computador.

Sugere-se também o desenvolvimento, na linguagem *ABAP*, das áreas de informação que fazem falta no sistema ERP da empresa e que permitiriam a extração de verdadeiramente todos os dados, necessários ao agendamento da produção de branco na Vista Alegre Atlantis.



## Referências Bibliográficas

- Afzalirad, M., & Shafipour, M. (2018). Design of an efficient genetic algorithm for resource-constrained unrelated parallel machine scheduling problem with machine eligibility restrictions. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(2), 423–437. <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1117-6>
- Alotaibi, Y. (2016). Business process modelling challenges and solutions: a literature review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27, 701–723. <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0917-4>
- Alotaibi, Y., & Liu, F. (2017). Survey of business process management: challenges and solutions. *Enterprise Information Systems*, 11(8), 1119–1153. <https://doi.org/10.1080/17517575.2016.1161238>
- Badura, D. (2014). *Modelling Business Processes in Logistics With the Use of Diagrams BPMN and UML*. *Forum Scientiae Oeconomia* (Vol. 2). Retrieved from <http://www.wsb.edu.pl/container/FORUM SCIENTIAE/fso logistic/badura.pdf>
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
- Bitar, A., Dauzère-Pérès, S., Yugma, C., & Roussel, R. (2016). A memetic algorithm to solve an unrelated parallel machine scheduling problem with auxiliary resources in semiconductor manufacturing. *Journal of Scheduling*, 19(4), 367–376. <https://doi.org/10.1007/s10951-014-0397-6>
- Blazewicz, J., Ecker, K. H., Pesch, E., Schmidt, G., & Weglarz, J. (2007). Definition, Analysis and Classification of Scheduling Problems. In *Handbook on Scheduling* (pp. 57–72). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-32220-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32220-7_3)
- Błażewicz, J., Ecker, K. H., Pesch, E., Schmidt, G., & Weglarz, J. (2001). *Scheduling Computer and Manufacturing Processes* (2nd ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04363-9>
- Blazewicz, J., Lenstra, J. K., & Kan, A. H. G. R. (1983). Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity. *Discrete Applied Mathematics*, 5(1), 11–24. [https://doi.org/10.1016/0166-218X\(83\)90012-4](https://doi.org/10.1016/0166-218X(83)90012-4)
- Brucker, P. (2007). *Scheduling Algorithms* (5th ed.). New York, USA: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69516-5>
- Chen, J. F. (2005). Unrelated parallel machine scheduling with secondary resource constraints. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(3), 285–292. <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1622-1>
- Chen, J. F., & Wu, T. H. (2006). Total tardiness minimization on unrelated parallel machine scheduling with auxiliary equipment constraints. *Omega*, 34(1), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.07.023>
- Chinosi, M., & Trombetta, A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, 34, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.06.002>
- Claes, J., Vanderfeesten, I., Gailly, F., Grefen, P., & Poels, G. (2017). The Structured Process Modeling Method (SPMM) what is the best way for me to construct a process model? *Decision Support Systems*, 100, 57–76. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.02.004>
- Damij, N., & Damij, T. (2009). *Business Process Identification Technique*. *Fourth International Conference on Cooperation and Promotion of Information Resources in Science and Technology Business*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/COINFO.2009.54>
- Damij, N., Damij, T., Grad, J., & Jelenc, F. (2008). A methodology for business process improvement and IS development. *Information and Software Technology*, 50, 1127–1141. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.11.004>
- Dijkman, R. M., Dumas, M., & Ouyang, C. (2008). Semantics and analysis of business process models in BPMN. *Information and Software Technology*, 50, 1281–1294.

- <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.02.006>
- Dueck, G. (1993). New Optimization Heuristics: The Great Deluge Algorithm and the Record-to-Record Travel. *Journal of Computational Physics*, 104(1), 86–92. <https://doi.org/10.1006/JCPH.1993.1010>
- Edis, E. B. (2009). *Resource Constrained Parallel Machine Scheduling Problems with Machine Eligibility Restrictions: Mathematical and Constraint Programming Based Approaches*. Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey. Retrieved from <https://dspace.deu.edu.tr/xmlui/handle/12345/9243>
- Edis, E. B., Araz, C., & Ozkarahan, I. (2008). Lagrangian-Based Solution Approaches for a Resource-Constrained Parallel Machine Scheduling Problem with Machine Eligibility Restrictions. In *New Frontiers in Applied Artificial Intelligence* (pp. 337–346). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-69052-8\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69052-8_36)
- Edis, E. B., & Oguz, C. (2012). Parallel machine scheduling with flexible resources. *Computers and Industrial Engineering*, 63(2), 433–447. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.03.018>
- Edis, E. B., Oguz, C., & Ozkarahan, I. (2013). Parallel machine scheduling with additional resources: Notation, classification, models and solution methods. *European Journal of Operational Research*, 230(3), 449–463. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.02.042>
- Edis, E. B., & Ozkarahan, I. (2012). Solution approaches for a real-life resource-constrained parallel machine scheduling problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(9–12), 1141–1153. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3454-8>
- Fanjul-Peyro, L., Perea, F., & Ruiz, R. (2017). Models and matheuristics for the unrelated parallel machine scheduling problem with additional resources. *European Journal of Operational Research*, 260(2), 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.002>
- Fanjul, L., Perea, F., & Ruiz, R. (2015). Algorithms for the unspecified unrelated parallel machine scheduling problem with additional resources. In *2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)* (pp. 69–73). Seville, Spain: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IESM.2015.7380139>
- František, K., & Vrana, I. (2017). Business Process Modelling Languages. *Agris On-Line Papers in Economics and Informatics*, 9(3), 39–49. <https://doi.org/10.7160/aol.2017.090304>
- Geiger, M., Harrer, S., Lenhard, J., & Wirtz, G. (2018). BPMN 2.0: The state of support and implementation. *Future Generation Computer Systems*, 80, 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.01.006>
- Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K., & Kan, A. H. G. R. (1979). Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling: a Survey. In P. L. Hammer, E. L. Johnson, & B. H. Korte (Eds.), *Annals of Discrete Mathematics* (Vol. 5, pp. 287–326). [https://doi.org/10.1016/S0167-5060\(08\)70356-X](https://doi.org/10.1016/S0167-5060(08)70356-X)
- Graves, S. C. (1981). A Review of Production Scheduling. *Operations Research*, 29(4), 646–675. <https://doi.org/10.1287/opre.29.4.646>
- Herrmann, J. W. (2006). *Handbook of Production Scheduling*. New York, USA: Springer Science+Business Media, Inc.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Jordan, C. (1996). *Batching and Scheduling* (1st ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48403-2>
- Khabbazi, M. R., Hasan, M. K., Sulaiman, R., & Shapi'i, A. (2013a). Business Process Modeling for Domain Outbound Logistics System: Analytic Perspective with BPMN 2.0. *World Applied Sciences Journal*, 28(3), 367–377. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.28.03.13816>
- Khabbazi, M. R., Hasan, M. K., Sulaiman, R., & Shapi'i, A. (2013b). Business Process Modelling in Production Logistics: Complementary Use of BPMN and UML. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 15(4), 516–529. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.15.4.2280>

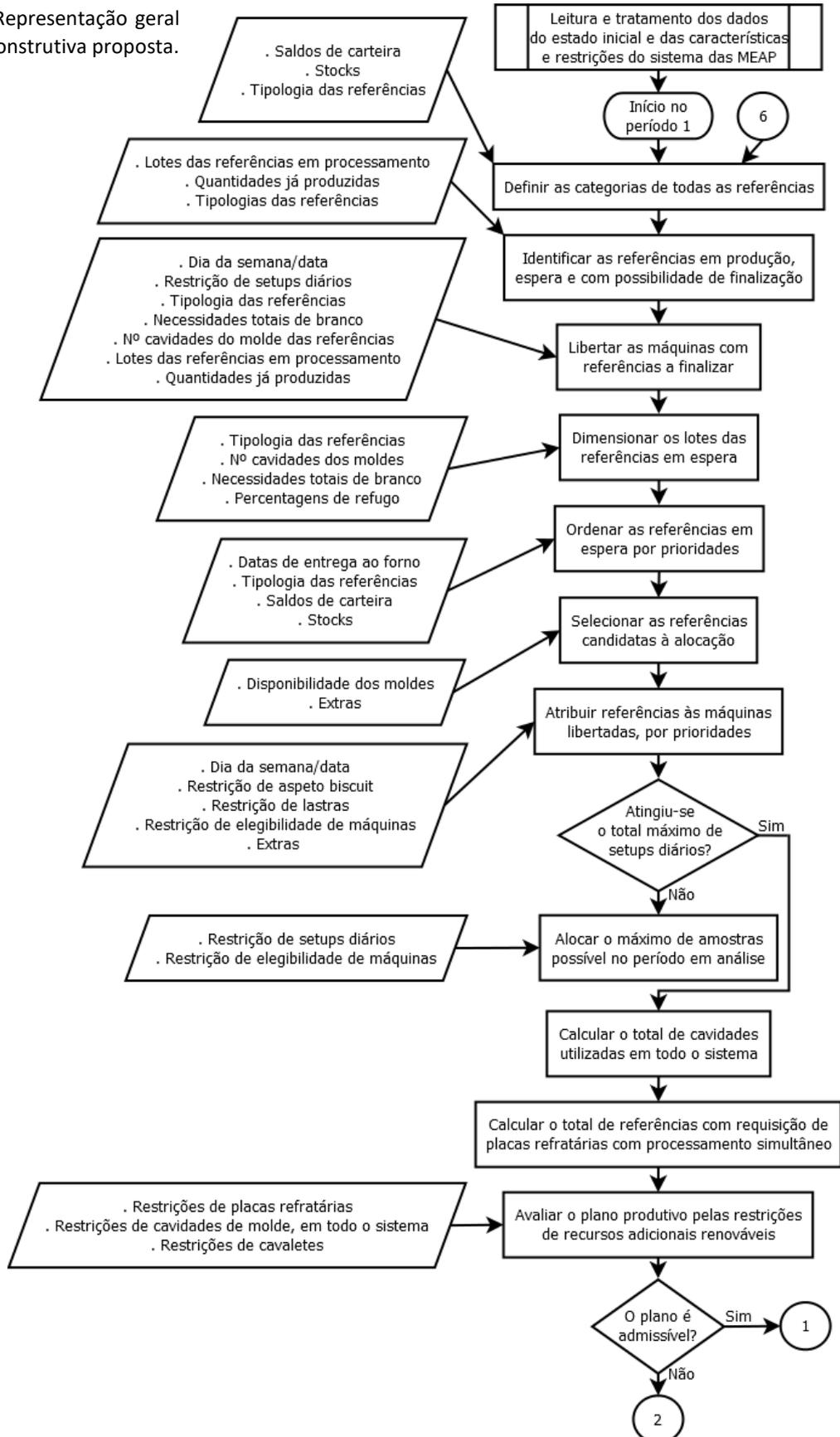
- Khabbazi, M. R., Hasan, M. K., Sulaiman, R., & Shapi'i, A. (2014). Process-Based Material Workflow Modeling in Inbound Logistics: Modeling Tools Evaluation. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 20(12), 1699–1708. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.20.12.12534>
- Ko, R. K. L., Lee, S. S. G., & Lee, E. W. (2009). Business process management (BPM) standards: a survey. *Business Process Management Journal*, 15(5), 744–791. <https://doi.org/10.1108/14637150910987937>
- Lee, S. M., & Ebrahimpour, M. (1987). Just-In-Time. *Management Decision*, 25(6), 50–54. <https://doi.org/10.1108/eb001475>
- Lodhi, A., Köppen, V., & Saake, G. (2011). *Business Process Modeling Active Research Areas and Challenges*. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Magdeburg, Germany. Retrieved from [http://www.cs.uni-magdeburg.de/Technical\\_reports.html](http://www.cs.uni-magdeburg.de/Technical_reports.html)
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Mendling, J., Reijers, H. A., & Recker, J. (2010). Activity labeling in process modeling: Empirical insights and recommendations. *Information Systems*, 35, 467–482. <https://doi.org/10.1016/j.is.2009.03.009>
- Mendling, J., Reijers, H. A., & van der Aalst, W. M. P. (2010). Seven process modeling guidelines (7PMG). *Information and Software Technology*, 52, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.08.004>
- Mohammadi, M. (2017). Combination of Modeling Techniques for Business Process Modeling. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(3), 1038–1048. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.3.1813>
- Montgomery, D. C. (1991). *Design and Analysis of Experiments* (3rd ed.). New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Morton, T. E., & Pentico, D. W. (1993). *Heuristic Scheduling Systems*. New York, USA: John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.2307/2584604>
- Object Management Group (OMG). (2011). Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0. <https://doi.org/10.1007/s11576-008-0096-z>
- Ouyang, C., Dumas, M., Aalst, W. M. P. Van Der, Hofstede, A. H. M. Ter, & Mendling, J. (2009). From Business Process Models to Process-Oriented Software Systems. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 19(1), 1–37. <https://doi.org/10.1145/1555392.1555395>
- Pan, W.-T. (2012). A new Fruit Fly Optimization Algorithm: Taking the financial distress model as an example. *Knowledge-Based Systems*, 26, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2011.07.001>
- Pietrón, R. (2016). Best Practices in Business Process Modelling. *Information Systems in Management*, 5(4), 551–562. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=13472945&site=bsi-live>
- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems* (5th Edit.). New York, USA: Springer Science+Business Media, LLC. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26580-3>
- Preuveneers, D., & Ilie-Zudor, E. (2017). The intelligent industry of the future: A survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(3), 287–298. <https://doi.org/10.3233/AIS-170432>
- Rachdi, A., En-Nouaary, A., & Dahchour, M. (2016). Liveness and Reachability Analysis of BPMN Process Models. *Journal of Computing and Information Technology*, 24(2), 195–207. <https://doi.org/10.20532/cit.2016.1002774>
- Rensburg, A. van. (2011). Principles for Modelling Business Processes. In *2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1710–1714). <https://doi.org/10.1109/IEEM.2011.6118208>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing:

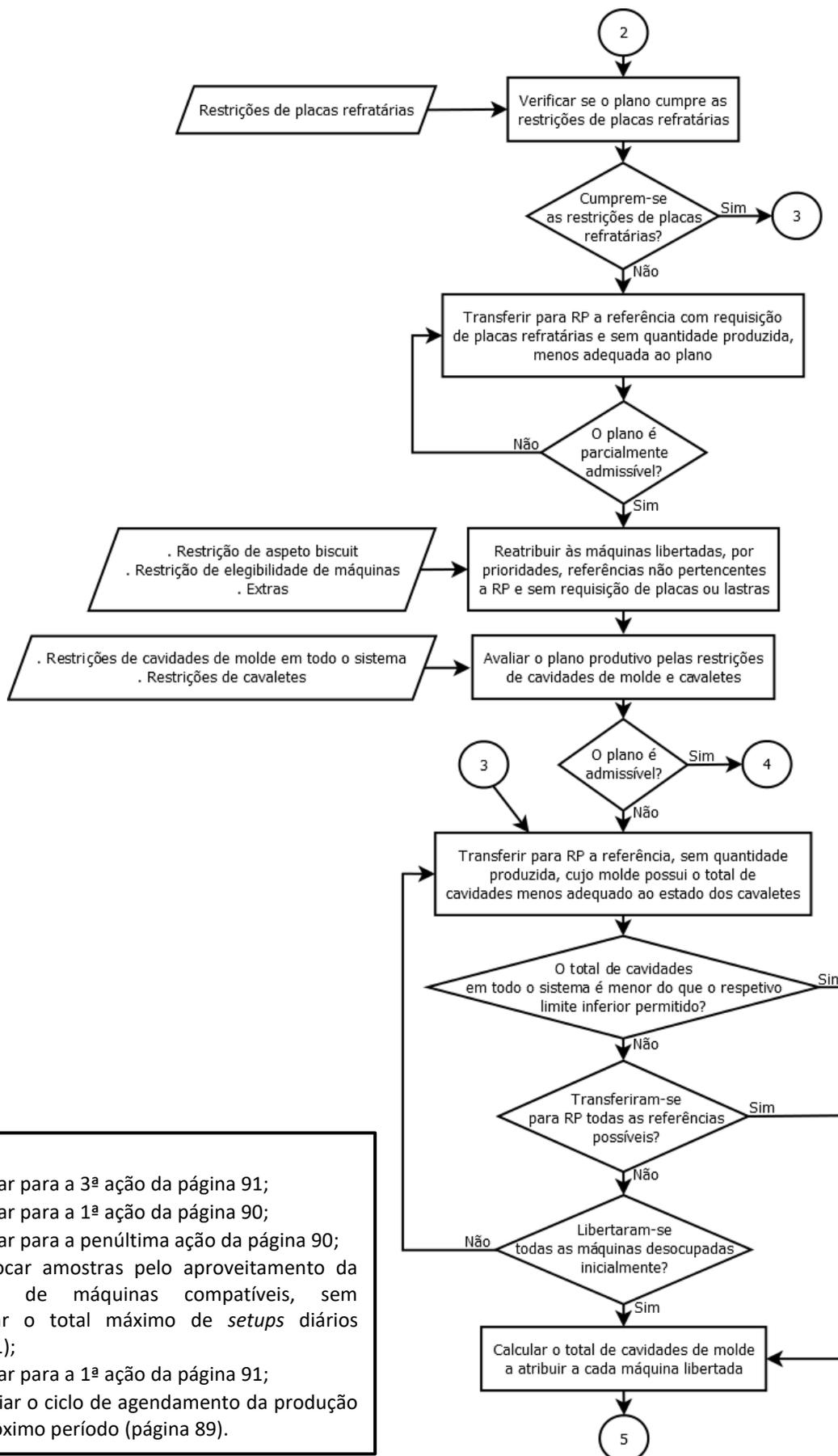
- Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811–833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, 785–805. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Tamaki, H., Hasegawa, Y., Kozasa, J., & Araki, M. (1993). Application of search methods to scheduling problem in plastics forming plant: a binary representation approach. In *Proceedings of 32nd IEEE Conference on Decision and Control* (pp. 3845–3850). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CDC.1993.325943>
- The MathWorks. (n.d.). MATLAB Code Design Considerations for Code Generation - Documentation. Retrieved May 30, 2018, from [https://www.mathworks.com/help/coder/ug/design-considerations-when-writing-matlab-code-for-code-generation\\_bsy\\_oqb.html](https://www.mathworks.com/help/coder/ug/design-considerations-when-writing-matlab-code-for-code-generation_bsy_oqb.html)
- The MathWorks. (2016). MatLab Compiler SDK and Eclipse C++ - MATLAB Answers - MATLAB Central. Retrieved May 30, 2018, from <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/273817-matlab-compiler-sdk-and-eclipse-c>
- The MathWorks. (2017). MATLAB Support for MinGW-w64 C/C++ Compiler - File Exchange - MATLAB Central. Retrieved May 30, 2018, from <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52848-matlab-support-for-mingw-w64-c-c++-compiler>
- Van Der Aalst, W. M. P., La Rosa, M., & Santoro, F. M. (2016). Business Process Management: Don't Forget to Improve the Process! *Business and Information Systems Engineering*, 58(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0409-x>
- Varela. (2007). *Uma Contribuição para o Escalonamento da Produção baseado em Métodos Globalmente Distribuídos*. University of Minho. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/7234>
- Varela, & Carmo-Silva, S. (2008). An Ontology for a Model of Manufacturing Scheduling Problems to be Solved on the Web. In A. Azevedo (Ed.), *IFIP – The International Federation for Information Processing, Innovation in Manufacturing Networks* (Vol. 266, pp. 197–204). Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-09492-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-0-387-09492-2_21)
- Villa, F., Vallada, E., & Fanjul-Peyro, L. (2018). Heuristic algorithms for the unrelated parallel machine scheduling problem with one scarce additional resource. *Expert Systems with Applications*, 93, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.054>
- Vista Alegre Atlantis. (2017). *Manual da Qualidade da VAA*. Ílhavo.
- Vista Alegre Atlantis. (2018). *Relatório e Contas 2017*. Retrieved from <https://vistaalegre.com/investidores/UPLOADS/ASSEMBLEIAS/GERAIS/2018/RelatorioeContasVAASGPS2017.pdf>
- Vista Alegre é Superbrand – Marca de Excelência | TerraNova. (2017). Retrieved February 19, 2018, from <http://www.terranova.pt/noticia/sociedade/vista-alegre-e-superbrand-marca-de-excelencia>
- Wikipedia. (2018). MATLAB. Retrieved May 30, 2018, from <https://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- Zheng, X. long, & Wang, L. (2016). A two-stage adaptive fruit fly optimization algorithm for unrelated parallel machine scheduling problem with additional resource constraints. *Expert Systems with Applications*, 65, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.039>

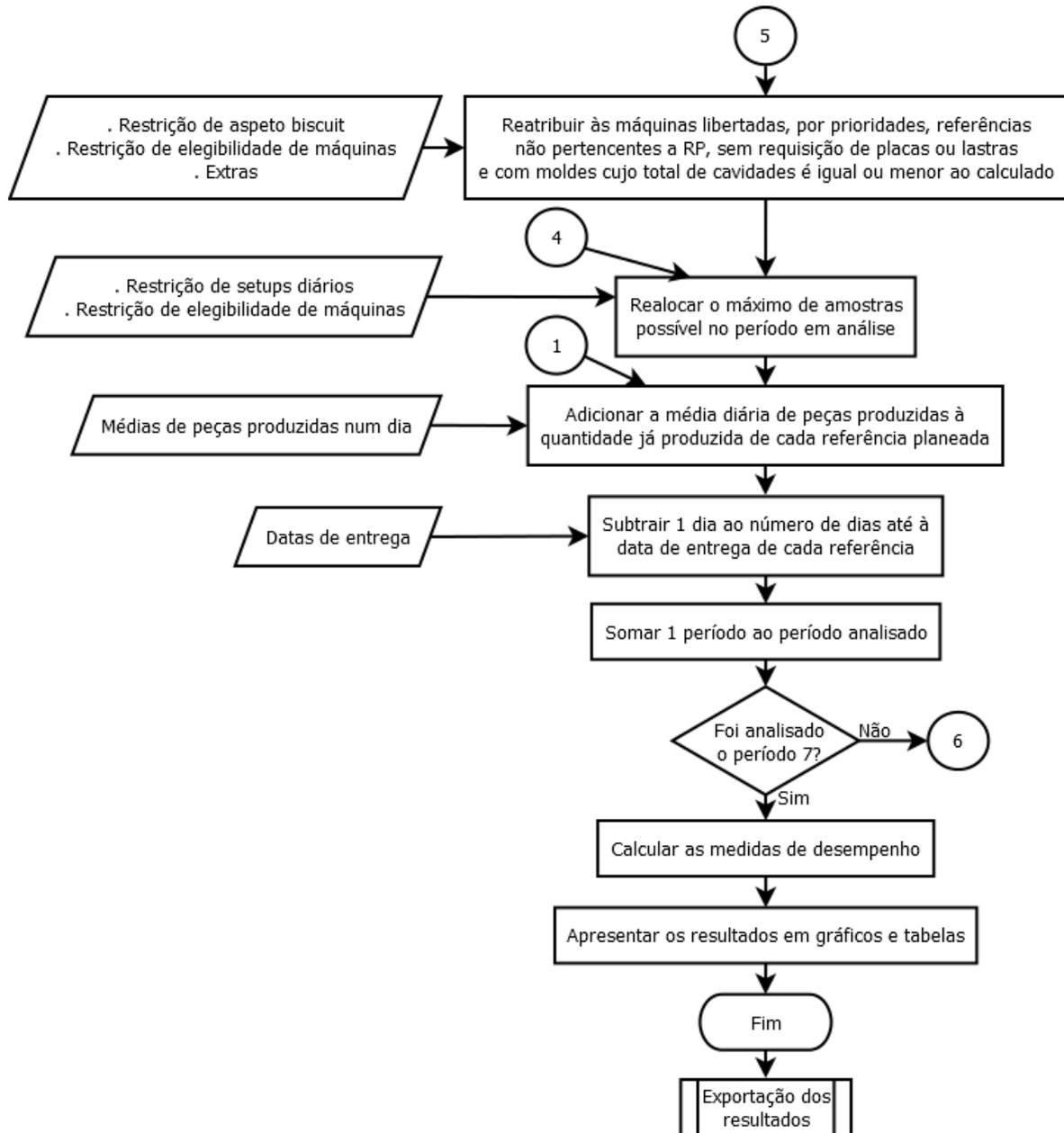
# **ANEXOS**

### Anexo A Perspetiva Geral da Heurística Construtiva Proposta num Fluxograma

Figura A. 1 – Representação geral da heurística construtiva proposta.







## Anexo B Heurística Construtiva com Formato Semelhante a Pseudocódigos

Tabela B. 1 – Nomenclatura utilizada ao longo da heurística construtiva e respectivas definições.

Nomenclaturas	Definições
Tabela de dados	Conjunto de dados provenientes da associação das referências do mapa diário de branco e dos pedidos de amostras e pré-produções, com os respectivos atributos;
Dias de trabalho	Intervalo de dias completos, para cada referência, entre a sua data de entrega ao forno de chacote e a data de elaboração do plano, incluindo os fins-de-semana e feriados;
$t$	Índice relativo aos períodos (dias) do horizonte temporal;
$w_t$	Estado de ocupação do armazém local/cavaletes no período $t$ : {1, para cavaletes saturados; 0, em caso contrário};
$M$	Número de máquinas paralelas não relacionadas existentes no sistema;
$j$	Índice relativo aos processadores/máquinas do sistema;
$G$	Limite superior do total de referências com aspeto <i>biscuit</i> , em processamento simultâneo no sistema;
$F$	Limite superior do total de referências de lastras, em processamento simultâneo no sistema;
$máx\_Rrl$	Limite superior do total de referências com requisição de lastras, em processamento simultâneo no sistema;
$H$	Limite superior do total de referências com requisição de placas refratárias, em processamento simultâneo no sistema;
$H3$	Limite superior do total de referências com requisição de placas refratárias do tipo grande (ou tipo 3), em processamento simultâneo no sistema;
$máx\_k\_vazios$	Limite superior do total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, quando os cavaletes estão disponíveis ( $w_t = 0$ );
$min\_k\_vazios$	Limite inferior do total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, quando os cavaletes estão disponíveis ( $w_t = 0$ );
$máx\_k\_cheios$	Limite superior do total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, quando os cavaletes não estão disponíveis ( $w_t = 1$ );
$min\_k\_cheios$	Limite inferior do total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, quando os cavaletes não estão disponíveis ( $w_t = 1$ );
$U$	Limite superior do total de <i>setups</i> praticados num dia em todo o sistema (equivalente ao máximo diário permitido de referências que finalizam o seu processamento);
$u$	Total de referências cujo processamento é finalizado no dia em análise (equivalente ao número de máquinas desocupadas nesse dia e disponíveis para receber moldes de novas referências);
$i$	Índice relativo às referências;
$Bisc_i$	Aspeto <i>biscuit</i> da referência $i$ : {1, se $i$ possui aspeto <i>biscuit</i> ; 0, em caso contrário};
$Cav_i$	Número de cavidades do molde associado à referência $i$ ;
$L_i$	Lote de produção da referência $i$ ;
$Stk_i$	<i>Stock</i> da referência $i$ (em nº peças);
$Cart_i$	Saldo de carteira da referência $i$ (em nº peças);
$Nbr_i$	Necessidade total de branco da referência $i$ (em nº peças);
$Seg_i$	Percentagem de segurança e lixo (ou refugo) associada à produção da referência $i$ ;
$Nbr\ Real_i$	Necessidade total real de branco da referência $i$ (em nº peças), resultante da inclusão de $Seg_i$ na $Nbr_i$ ;
$Q_i$	Quantidade já produzida (em WIP) da referência $i$ (em nº peças), até ao dia em análise;
$V_i$	Total de vendas no ano anterior da referência $i$ (em nº peças);
$urg_i$	Classificação de urgente da referência $i$ : {1, se $i$ é urgente; 0, em caso contrário};

<b><math>nec_i</math></b>	Classificação de necessidade da referência $i$ : {1, se $i$ é necessidade; 0, em caso contrário};
<b><math>g</math></b>	Total de referências com aspeto <i>biscuit</i> , em processamento simultâneo, no dia em análise;
<b><math>k</math></b>	Total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, ao longo do dia em análise;
<b><math>QtdLastrasWIP</math></b>	Total de referências de lastras presentes no plano do dia anterior e cujo processamento se mantém no dia em análise;
<b><math>QtdRrl</math></b>	Número de referências, presentes no plano do dia anterior, que obrigam a produção de lastras no dia em análise, por estas não se encontrarem em processamento também no dia anterior; (“Quantidade de Referências que Requerem Lastras”)
<b><math>FilaLastras</math></b>	Fila de espera de lastras, exigidas por referências que as necessitam e que já possuem processamento no dia anterior;
<b><math>QtdRrl_hoje</math></b>	Número de referências, alocadas no dia em análise (logo sem qualquer quantidade em WIP, $Q_i = 0$ ), que requerem lastras e que obrigam a produção dessas mesmas lastras no dia seguinte; (“Quantidade de Referências que Requerem Lastras alocadas Hoje”)
<b><math>t_{placa}</math></b>	Total de referências com requisição de placas refratárias, em processamento simultâneo, no sistema, ao longo do dia em análise;
<b><math>t_{urg\_placa}</math></b>	Total de referências urgentes com requisição de placas refratárias, em processamento simultâneo, no sistema, ao longo do dia em análise;
<b><math>t_{placa3}</math></b>	Total de referências com requisição de placas refratárias do tipo grande (ou tipo 3), em processamento simultâneo, no sistema, ao longo do dia em análise;
<b><math>t_{urg\_placa3}</math></b>	Total de referências urgentes com requisição de placas refratárias do tipo grande (ou tipo 3), em processamento simultâneo, no sistema, ao longo do dia em análise;
<b>RP</b>	Conjunto de referências pendentes, eliminadas do plano do dia em análise, pela sua inadequação face às restrições dos recursos adicionais renováveis e com o objetivo de tornar o plano parcialmente admissível;
<b>EP</b>	Conjunto de extras pendentes, eliminados do plano do dia em análise, pela sua inadequação face às restrições dos recursos adicionais renováveis e com o objetivo de tornar o plano parcialmente admissível;
<b><math>MáqsLivres</math></b>	Total de máquinas libertadas, devido à transferência de referências para RP, durante a correção do total de cavidades de molde em utilização, em todo o sistema, ao longo do dia em análise, mediante o estado de ocupação dos cavaletes nessa data (ação pertencente ao mecanismo de reparação de soluções);
<b><math>LimiteCav</math></b>	Número médio e, ao mesmo tempo, máximo, de cavidades de molde, igual para cada nova referência a afetar, durante a correção do total de cavidades de molde em utilização, em todo o sistema, ao longo do dia em análise; resulta da divisão da diferença ( $máx\_k\_cheios - k$ ) por $MáqsLivres$ .

- **HEURÍSTICA CONSTRUTIVA**

**Passo 1:** Definição e tratamento dos dados relativos ao estado inicial do sistema de produção das MEAP, num ficheiro de *Excel*, por parte do utilizador.

- 1.1. Definir o instante (data) inicial,  $t = 0$ , do horizonte temporal, correspondente ao último período do plano de escalonamento anterior mais recente, e a partir do qual a heurística começará a calendarizar a produção;
- 1.2. Estender o horizonte até  $t = 8$  e atribuir a cada período o valor 1, caso corresponda a um dia entre 2ª e 6ª feira, inclusive, e valor 0, caso corresponda a fim-de-semana;
 

**Nota:** a partir de  $t = 8$ , a heurística reconhecerá automaticamente  $t = 7$  (último período a receber um plano de produção) como véspera de feriado, de fim-de-semana, ou nenhum, elemento importante durante a escolha das referências a agendar.
- 1.3. Associar a cada  $t$  o estado de ocupação do armazém local, ilustrado pelos cavaletes ( $w_t$ ), representando-o pelo valor 0, quando não possui qualquer entropia, e pelo valor 1, quando a sua capacidade máxima é atingida; por defeito,  $w_0 = 0$  e  $w_8 = 0$ , devido à sua irrelevância para a solução final (ver justificação em 1.1 e 1.2);
- 1.4. Apresentar o programa de produção praticado em  $t = 0$ , expondo para cada equipamento  $j$ , a referência  $i$  nele alocada e o respetivo lote  $L_i$  planeado;
- 1.5. Extrair o mapa diário de necessidades de branco do sistema ERP da organização, e o documento, enviado pelo departamento de NPs, com as amostras (moldes em fase de teste, logo tomados como indisponíveis) e pré-produções, imediatamente antes da execução da heurística construtiva;
 

**Nota:** o mapa diário inclui quer as referências em fila de espera, quer aquelas discriminadas no plano de  $t = 0$ , quer aquelas em curso de fabrico nas secções posteriores à das MEAP.
- 1.6. Reunir as características das diversas referências  $i$  patentes no mapa diário, nomeadamente os códigos, a disponibilidade dos respetivos moldes, os *stocks* em armazém ( $Stk_i$ ), os saldos de carteira ( $Cart_i$ ), as necessidades totais de branco ( $Nbr_i$ ), as quantidades já produzidas ( $Q_i$ ), as datas de entrega ao forno de chacote e a categorização em amostras, pré-produções ou referências padrão de linha ou reposição;
- 1.7. Acrescentar detalhes a cada referência  $i$ , proveniente de 1.5 e parcialmente descrita em 1.6, no que toca à sua tipologia (em *biscuit*, ou não, da família das lastras, ou não), número de cavidades do respetivo molde, compatibilidade deste com os vários grupos de máquinas, quantidade média de peças obtidas num dia de trabalho e percentagem de segurança e lixo (refugo) respeitante, assim como a exigência ou não de cada um dos três tipos de placas refratárias e de lastras;
- 1.8. Calcular os dias de trabalho, isto é, o número de dias completos entre a data de entrega de cada referência  $i$  ao forno de chacote e a data de realização do plano ( $t = 0$ ), incluindo os fins-de-semana e feriados;
- 1.9. Tabela todas as referências padrão de linha fabricadas pelas MEAP, que constituirão os extras, e associar a cada uma, os aspetos mencionados em 1.7, bem como o total de vendas no ano anterior ( $V_i$ ), o *stock* e a diferença entre estes dois ( $V_i - Stk_i$ );
- 1.10. Enquadrar todas as referências de lastras que possam ser requeridas, juntamente com os seus *stocks* e a sua única compatibilidade com as máquinas restritas.

**Passo 2:** Introdução, pelo utilizador, e armazenamento das características e restrições do sistema de produção das MEAP, no programa heurístico, em *MATLAB*.

- 2.1. Estipular o número  $M$  de máquinas paralelas não relacionadas existentes no sistema;
- 2.2. Distribuir os processadores  $j$  pelos grupos dos críticos, medianamente restritos e restritos e organizá-los por essa ordem;
- 2.3. Numerar cada uma das máquinas  $j$  de 1 a  $M$  e indicar a posição da primeira de cada um dos três grupos;
 

**Exemplo:** a sequência inicia-se por 4 máquinas críticas, seguidas de 2 medianamente restritas e estas, seguidas de 4 restritas, logo a posição da 1ª máquina do grupo das críticas é 1, das medianamente restritas é 5 e das restritas, é 7.
- 2.4. Estabelecer o número máximo de *setups*  $U$  possível de efetuar diariamente, salvo os fins-de-semana e feriados, devido à ausência, nestes dias, do colaborador que os realiza;
- 2.5. Informar o máximo e o mínimo de cavidades de molde em utilização em todo o sistema, permitidos nas situações de disponibilidade ( $máx\_k\_vazios, min\_k\_vazios$ ) ou não dos cavaletes ( $máx\_k\_cheios, min\_k\_cheios$ );
- 2.6. Comunicar o máximo  $H$  de referências com requisição de placas refratárias em processamento simultâneo no sistema, bem como o máximo  $H3$  de referências com exigência de placas refratárias do tamanho maior (tipo 3), sendo  $H > H3$ , pois  $H$  abrange todas as referências associadas a qualquer tipo de placas;
- 2.7. Convencionar o máximo  $G$  permitido de referências em *biscuit* e o máximo  $F$  permitido de referências de lastras em processamento simultâneo no sistema;
- 2.8. Demarcar o número máximo de referências com necessidade de lastras e com processamento coincidente ( $máx\_Rrl$ );
- 2.9. Catalogar cada um dos períodos  $t \in [0,8]$  (ver justificação em 1.1 e 1.2) como feriado, com recurso ao valor 1, ou de não feriado, com o valor 0.

**Passo 3:** Tratamento dos dados de entrada na heurística construtiva, em *MATLAB*.

- 3.1. Importar o conjunto de todos os dados mencionados no primeiro passo para o programa informático;
- 3.2. Assumir o plano de  $t = 0$  como um plano do dia anterior;
- 3.3. Assumir a junção do mapa diário de branco, com os pedidos de amostras e pré-produções, e os atributos (obtidos em 1.6, 1.7 e 1.8) de cada referência, como uma tabela de dados;
 

**Nota:** o mapa diário de branco contém as referências presentes no plano de  $t = 0$ , aquelas em fila de espera e aquelas em curso de fabrico nos setores que sucedem o das MEAP.
- 3.4. Contar o número de referências em fila de espera, exceto amostras e lastras (valor a utilizar em 5.3);
 

**Nota:** as amostras não são contadas, porque apenas se fabricam aquando de mudanças de máquinas elegíveis, ao longo de uma ou duas horas; as lastras são excluídas, porque uma mesma referência de lastra pode reaparecer na fila várias vezes, em alturas diferentes, mas cada solicitada por uma referência distinta, o que insinua a presença de mais do que uma referência de lastra na fila, quando na realidade é a mesma.

- 3.5.** Contar o número de referências urgentes (com  $Cart_i > Stk_i$ ) em fila de espera, exceto amostras e lastras (ver justificção da exclusão em **3.4**) (valor a utilizar em **5.4**);
- 3.6.** Contar o número de amostras em fila de espera (valor a utilizar em **5.5**);
- 3.7.** Atualizar, na tabela de dados, para cada referência presente no plano de  $t = 0$ , a quantidade já produzida  $Q_i$ , adicionando-lhe a média do número de peças produzidas num dia;  
**Nota:** o objetivo reside na consideração da produção obtida de  $t = 0$  para  $t = 1$ , de modo a prever, no **passo 4**, as referências que em  $t = 1$  finalizarão o seu processamento e libertarão máquinas.
- 3.8.** Subtrair, na tabela de dados, 1 dia, correspondente a  $t = 0$ , ao intervalo de dias de trabalho (ver definição na **Tabela B. 1**) de cada referência;  
**Nota:** esta operação é indispensável, porque o término do dia 0 encurta a distância, em 1 dia, às datas de entrega ao forno de chacote e porque,  $t = 1$  é o primeiro período do plano semanal a elaborar no **passo 4**, o que implica menos 1 dia de “folga”.

**Passo 4:** Aplicação da rotina ao intervalo cronológico de  $t \in [1,7]$ , percorrendo todos os períodos através de um ciclo.

- 4.1.** Memorizar se o dia em análise corresponde a uma sexta-feira, ou véspera de feriado, ou ambas, ou nenhum (fundamenta a exigência de  $t = 8$ ), e também guardar o estado dos cavaletes desse dia; avançar para **4.2**;  
**Nota:** estas informações são aqui armazenadas, para se utilizarem em **4.8**.
- 4.2.** Analisar o ponto de partida da abordagem e definir as produções em curso de fabrico, as filas de espera e prioridades:
- 4.2.1.** Copiar o lote de cada referência do plano do dia anterior para a mesma referência da tabela de dados, gerada em **3.3** e definida na **Tabela B. 1**, onde a junção dos lotes, os únicos dados em falta, a completarão;
- 4.2.2.** Classificar as referências  $i$  da tabela de dados em urgentes, ou necessidades, ou nenhuma (prioridades):
- a. Se  $i$  é amostra e não é pré-produção, ou referência de lastras:  $i$  não é considerada urgente ( $urg_i = 0$ ), nem necessidade ( $nec_i = 0$ );
  - b. Se  $i$  não é amostra, nem referência de lastras, e é referência padrão (de linha ou reposição), ou pré-produção:
    - i. Se  $Cart_i > Stk_i$ :  $i$  é considerada urgente ( $urg_i = 1$ );
    - ii. Se  $Cart_i \leq Stk_i$ :  $i$  é considerada necessidade ( $nec_i = 1$ ) e, por defeito, possui 5000 dias de trabalho (ver definição na **Tabela B. 1**);
    - iii. Se  $Cart_i \leq Stk_i$  e  $Nbr_i = 0$ :  $i$  não é considerada urgente ( $urg_i = 0$ ), nem necessidade ( $nec_i = 0$ ), e, por defeito, possui 6000 dias de trabalho.
  - c. Se  $i$  é referência de lastras:  $i$  é considerada urgente ( $urg_i = 1$ ), porque há peças em WIP, que sem lastras não avançam para a sua próxima fase, a de cozedura.
- 4.2.3.** Comparar para cada referência da tabela de dados, a quantidade já produzida e o lote planeado:
- a. Se ( $Q_i > 0$ ):

- i. Se  $(Q_i \geq L_i)$ : contabilizar a possibilidade de terminar o processamento de  $i$ , logo de libertar a respetiva máquina no dia em análise, adicionando 1 unidade ao total de referências a finalizar ( $u$ ) desse dia;
- ii. Se  $(Q_i < L_i)$  e  $i$  corresponde a uma referência de lastras: contabilizar  $i$  no total de referências de lastras que permanecerão em curso de fabrico no dia em análise ( $QtdLastrasWIP$ );
- iii. Se  $(Q_i < L_i)$  e  $i$  não corresponde a uma referência de lastras: assumir que  $i$  permanecerá em curso de fabrico no dia em análise; neste ponto, nenhuma ação é realizada.

**Nota:** as lastras solicitadas pelo setor da olaria são consideradas referências padrão, como quaisquer outras, tornando obsoleta a obrigação de as contabilizar.

- b. Se  $(Q_i = 0)$ : adicionar a referência  $i$  à fila de espera.

**Nota:** as referências  $i$  em curso de fabrico, cuja conformação nas MEAP está concluída, são automaticamente aqui excluídas da análise que se segue.

#### 4.2.4. Verificar para cada referência do plano do dia anterior, a sua requisição de lastras:

- a. Em caso de exigência, verificar se a referência de lastra necessária se encontra em processamento:
  - i. Em caso negativo, contabilizar a referência do plano do dia anterior no total de referências que necessitam de lastras para processamento no dia em análise ( $QtdRrl$ ), e adicionar a lastra à fila de espera de lastras ( $FilaLastras$ ), com dias de trabalho iguais ao da referência que a solicita, prioridade de urgente e tamanho do lote resultante da diferença entre  $L_i$  e o *stock* da lastra.

**Nota:** esta análise é justificada pelo desfazamento de 1 dia entre a produção de referências que requerem lastras e a das próprias lastras, devido à elevada rapidez na concretização desses suportes.

#### 4.3. Iniciar a construção do plano de produção do dia em análise, refletindo nele apenas a saída, ao longo desse mesmo dia, das referências que finalizarão o seu processamento e libertarão máquinas:

##### 4.3.1. Transcrever exatamente o plano do dia anterior e os detalhes das referências que inclui, presentes na tabela de dados, para o plano do dia em análise;

##### 4.3.2. Definir as referências que libertarão máquinas no dia em análise, removendo-as do plano do dia em análise e da tabela de dados:

**Notas:** a seleção das referências assegura que: (1) o número de referências com a possibilidade de finalização ( $u$ ) nunca ultrapassa o limite superior de *setups* diário ( $U$ ), escolhendo-se, se necessário, as referências a terminar mais convenientes; e que (2) as máquinas restritas são desocupadas, de acordo com o total de lastras igual a  $QtdRrl$ , cuja laboração é exigida no dia em análise ( $FilaLastras$ ), por determinadas referências presentes no plano do dia anterior; as lastras só são compatíveis com os processadores restritos; a garantia do ponto (1) é relevante, pois poderão existir mais referências que já possam libertar máquinas ( $u$ ), do que o total máximo de *setups* permitidos num dia ( $U$ ), logo só se poderão libertar  $U$  máquinas, pelo que ter-se-á de selecionar as referências a finalizar que ofereçam mais vantagens, passando de  $u > U$  para  $u = U$ .

**4.3.2.1.** Caso o dia em análise corresponda a sábado, domingo ou feriado, avançar para **4.3.2.2**; em caso contrário:

- a. Se  $(u \leq U) \wedge (FilaLastras = [ ])$ : remover todas as referências com a possibilidade de finalizar o seu processamento, contabilizadas em **4.2.3.a.i.**;
- b. Se  $(u > U) \wedge (FilaLastras = [ ])$ : definir as referências que finalizarão o seu processamento, de modo a perfazer um total de  $u = U$ ;
  - 1º. Selecionar e remover as referências  $i$ , contabilizadas em **4.2.3.a.i.**, correspondentes a referências com aspeto *biscuit* ( $Bisc_i = 1$ );
  - 2º. Caso o 1º não se aplique ou não seja suficiente, selecionar e remover as referências  $i$ , contabilizadas em **4.2.3.a.i.**, correspondentes aos moldes com mais cavidades.

**Crítérios de desempate:**

- i. Selecionar e remover as referências  $i$  de reposição, ao invés das de linha;
- ii. Caso **4.3.2.1.b.2º.i** não se aplique, selecionar e remover aquelas com os maiores valores resultantes da diferença  $(Q_i - L_i)$ .

**Crítério de desempate:** selecionar e remover as referências  $i$  com os menores valores de necessidade total de branco ( $Nbr_i$ ).

- c. Se  $(u \leq U) \wedge (FilaLastras \neq [ ])$ :
  - 1º. Remover todas as referências com a possibilidade de finalizar o seu processamento, contabilizadas em **4.2.3.a.i.**;
  - 2º. Se não ocorrer a finalização do processamento de um total de referências, igual a  $QtdRrl$ , em nenhuma das máquinas restritas: selecionar e remover as referências  $i$ , produzidas em máquinas restritas, com os menores valores de  $(L_i - Q_i)$  e atualizar o valor de  $u$ .  
**Crítério de desempate:** selecionar e remover as referências  $i$  com os menores valores de  $Nbr_i$ , e atualizar o valor de  $u$ .
- d. Se  $(u > U) \wedge (FilaLastras \neq [ ])$ : definir as referências que finalizarão o seu processamento, de modo a perfazer um total de  $u = U$ ;
  - 1º. Verificar a existência de referências em máquinas restritas que finalizem o seu processamento:
    - i. Se não existirem em nenhuma delas: selecionar e remover as referências  $i$ , num total igual a  $QtdRrl$ , produzidas em máquinas restritas, com os menores valores de  $(L_i - Q_i)$ , e atualizar o valor de  $u$ .
  - 2º. Proceder de acordo com o passo **4.3.2.1.b.**;

**4.3.2.2.** Caso o dia em análise corresponda a **sábado, domingo ou feriado**: igualar a zero o número de referências finalizadas ( $u = 0$ ), não programar quaisquer amostras e manter o plano igual ao do dia anterior, concluindo-se a sua construção; avançar para **4.13**.

**4.4.** Quantificar os lotes de produção para cada referência  $i$  em fila de espera e determinar o número de dias de processamento necessário para os obter:

**4.4.1.** Calcular a necessidade total real de branco através da expressão  $Nbr\ Real_i = Nbr_i \cdot \left(1 + \frac{Seg_i}{100}\right)$ , onde  $Seg_i$  é a percentagem de segurança e lixo;

**4.4.2.** Arredondar por excesso a  $Nbr\ Real_i$  até ao valor mais próximo na ordem das centenas;

**4.4.3.** Dimensionar o lote de produção para cada  $i$ , de acordo com a sua tipologia e o total de cavidades  $Cav_i$  do seu molde:

**1º.** Se  $i$  corresponde a referências padrão de linha:

**a.** Se  $Cav_i \leq 2$ :

**i.** Se  $Nbr\ Real_i \leq 250$ :  $L_i = 300$ ;

**ii.** Se  $250 < Nbr\ Real_i \leq 450$ :  $L_i = 500$ ;

**iii.** Se  $Nbr\ Real_i > 450$ :  $L_i = Nbr\ Real_i$ .

**b.** Se  $Cav_i = 3$ :

**i.** Se  $Nbr\ Real_i \leq 450$ :  $L_i = 600$ ;

**ii.** Se  $Nbr\ Real_i > 450$ :  $L_i = Nbr\ Real_i$ .

**c.** Se  $Cav_i = 4$ :

**i.** Se  $Nbr\ Real_i \leq 450$ :  $L_i = 800$ ;

**ii.** Se  $Nbr\ Real_i > 450$ :  $L_i = Nbr\ Real_i$ .

**d.** Se  $Cav_i \geq 6$ :

**i.** Se  $Nbr\ Real_i \leq 450$ :  $L_i = 1000$ ;

**ii.** Se  $Nbr\ Real_i > 450$ :  $L_i = Nbr\ Real_i$ .

**Nota:** fixar a dimensão dos lotes, quando a  $Nbr\ Real_i \leq 450$ , cumpre a restrição de processamento de trabalhos nas máquinas durante, pelo menos, 1 dia de trabalho (3 turnos).

**2º.** Se  $i$  corresponde a referências padrão de reposição:

**a.** Se  $Cav_i \leq 2$ :

**i.** Se  $Nbr\ Real_i \leq 250$ :  $L_i = 300$ ;

**ii.** Se  $Nbr\ Real_i > 250$ :  $L_i = Nbr\ Real_i$ .

**b.** Se  $Cav_i \geq 3$ :  $L_i = Nbr\ Real_i$ ;

**3º.** Se  $i$  corresponde a pré-produções:  $L_i = 200$ .

**4º.** Se  $i$  corresponde a amostras ( $Cav_i = 0$ ):  $L_i = 50$ .

**4.4.4.** Calcular o número de dias de processamento do lote das referências em fila de espera, dividindo o seu tamanho pela respetiva média do número de peças produzidas por dia.

**4.5.** Ordenar as referências  $i$  em fila de espera, de acordo com a sua prioridade:

**1º.** Distribuir as urgências e as necessidades por 2 grupos, cujo grau de importância das primeiras é superior ao das segundas;

**2º.** Organizar o grupo das urgências, aplicando a regra de data de entrega mais cedo (EDD – *Earliest Due Date*).

**Critérios de desempate:**

**a.** Priorizar as referências  $i$  de linha em relação às de reposição;

**b.** Caso **4.5.2º.a** não se aplique, sequenciar por ordem decrescente do valor resultante da diferença de  $(Cart_i - Stk_i)$ .

**3º.** Organizar o grupo das necessidades por ordem decrescente do tamanho das respetivas  $Nbr\ Real_i$ .

**Critérios de desempate:**

- a. Priorizar as referências  $i$  de linha em relação às de reposição;
  - b. Caso **4.5.3º.a.** não se aplique, sequenciar por ordem crescente dos respectivos  $Stk_i$ .
- 4º.** Juntar os grupos de urgências e necessidades numa única lista, cujos primeiros lugares deverão ser ocupados pelas referências  $i$  urgentes, ordenadas em **4.5.2º.**, seguidas das referências  $i$  correspondentes às necessidades, ordenadas em **4.5.3º.**
- 4.6.** Selecionar as referências  $i$  em fila de espera, candidatas à ocupação das máquinas disponíveis:
- 1º.** Excluir da fila de espera as referências  $i$  cujo molde não está disponível;
  - 2º.** Se  $QtdRrl \neq 0$ , excluir da fila de espera as referências  $i$  que requerem lastras, para que não despertem a necessidade de produção de mais referências de lastras, em dias seguintes;
  - 3º.** Excluir dos extras as referências  $i$  que já aguardam na fila e que constam no plano do dia anterior, para evitar a escolha de referências repetidas e com lotes já estipulados, caso se parta para o agendamento de extras.
- 4.7.** Contabilizar e guardar o número total  $g$  de referências  $i$  em *biscuit* ( $Bisc_i = 1$ ) presentes no plano do dia em análise, para o utilizar em **4.8**; avançar para **4.8**;
- 4.8.** Afetar novas referências às máquinas libertadas em **4.3** (e eliminá-las da fila de espera), atendendo simplesmente às limitações provocadas pelas propriedades das referências, ao nível do tipo *biscuit*, da exigência de lastras e da pertença à família das lastras, às suas prioridades e às máquinas elegíveis;
- Notas:** não considerar a necessidade de placas refratárias e as cavidades de molde (e, conseqüentemente, a capacidade dos cavaletes), pois tratam-se de recursos adicionais renováveis e não atributos diretos das referências; porém, as lastras são incluídas no presente passo, porque integram o conjunto de referências  $i$ , devido à impossibilidade de repetir a sua utilização (recursos não renováveis), tal como os produtos destinados ao cliente.
- 4.8.1.** Caso o dia em análise corresponda a um dia útil e, ao mesmo tempo, a uma sexta-feira, ou véspera de feriado, avançar para **4.8.2.**; caso corresponda a um dia útil, salvo sexta-feira e véspera de feriado, permanecer nesta etapa:
- 1º.** Planear as máquinas críticas disponíveis:
    - Nota:** devido aos potenciais gargalos de estrangulamento, são os primeiros processadores preenchidos.
  - a. Percorrer a lista ordenada de referências em fila de espera, no sentido descendente, e selecionar a primeira referência que surja com somente possível concretização nestas máquinas:
    - Nota:** esta exclusividade deve-se à conciliação das máquinas críticas com praticamente todas as referências, pelo que é preferível alocar aquelas que também elegem um dos outros grupos de processadores, ou dois, nesses grupos, até porque a gama de referências que materializam é estreita.
  - i. Se  $[(g < G) \wedge (QtdRrl < máx\_Rrl) \wedge (QtdLastrasWIP < F)]$ : escolha sem quaisquer restrições; atualizar os totais  $g$  e  $QtdRrl$  e o total de referências, alocadas no dia em análise, logo com  $Q_i = 0$ , que requerem lastras ( $QtdRrl\_hoje$ );
  - ii. Se  $(g < G) \wedge [(QtdRrl = máx\_Rrl) \vee (QtdLastrasWIP = F)]$ : escolher  $i$  que não requeira lastras; atualizar o total  $g$ ;

- iii. Se  $[(g = G) \wedge (QtdRrl < máx\_Rrl) \wedge (QtdLastrasWIP < F)]$ : escolher  $i$  tal que  $Bisc_i = 0$ ; atualizar os totais  $QtdRrl$  e  $QtdRrl\_hoje$ ;
- iv. Se  $(g = G) \wedge [(QtdRrl = máx\_Rrl) \vee (QtdLastrasWIP = F)]$ : escolher  $i$  que não requeira lastras e tal que  $Bisc_i = 0$ .

**Notas:** as quatro condições acima impedem a presença, no dia em análise, de um total de referências com aspeto *biscuit* superior a  $G$ , de um total de referências de lastras superior a  $F$  e de um total de referências com requisição de lastras superior a  $máx\_Rrl$ ; obrigam também a atualização de todos os totais mencionados, à medida que se atribuem referências.

- b. Caso **4.8.1.1º.a.** não se aplique, afetar a primeira referência da lista que surja com possível concretização nas máquinas críticas e nas medianamente restritas, atendendo a **4.8.1.1º.i., ii., iii. e iv.**;

**Nota:** os processadores restritos são aqueles que produzem a menor variedade de referências, logo deve-se evitar aqui escolher referências compatíveis com eles.

- c. Repetir **4.8.1.1º.a.** e **b.** para as restantes máquinas críticas disponíveis.

**2º.** Planear as máquinas medianamente restritas disponíveis:

- a. Percorrer a lista ordenada de referências em fila de espera, no sentido descendente, e seleccionar a primeira referência que surja com possível concretização nestas máquinas;
- b. Caso **4.8.1.2º.a.** não se aplique, afetar em extra a primeira referência  $i$  ausente do plano do dia em análise, não *biscuit*, sem requisição de placas refratárias, cujo molde se encontre disponível, possua 1 ou 2 cavidades e seja somente compatível com estas máquinas, e apresente o maior valor resultante da diferença de  $(V_i - Stk_i)$  e superior a 600;

**Notas:** não é necessário restringir à não requisição de lastras, porque não existem referências extras que as necessitem; como se tratam de extras, optam-se pelas referências com as características com pouco impacto no sistema.

- c. Caso se aplique **4.8.1.2º.b.**, igualar o número de dias de trabalho de  $i$  a 5000 e a  $Nbr\ Real_i = 0$ , quantificar o lote de produção  $L_i$  (ver as alíneas **4.8.1.2º.c.i. a v.** abaixo) e o número de dias de processamento necessário para o obter, e acrescentar  $i$  à tabela de dados, preenchendo-a devidamente no que toca aos atributos indicados em **1.6, 1.7 e 1.8**:

- i. Se  $600 < (V_i - Stk_i) \leq 800$ :  $L_i = 1000$ ;
- ii. Se  $800 < (V_i - Stk_i) \leq 1000$ :  $L_i = 1200$ ;
- iii. Se  $1000 < (V_i - Stk_i) \leq 1500$ :  $L_i = 1500$ ;
- iv. Se  $1500 < (V_i - Stk_i) \leq 1800$ :  $L_i = 1800$ ;
- v. Se  $(V_i - Stk_i) > 1800$ :
  - A. Se  $Cav_i = 1$ :  $L_i = 2000$ .
  - B. Se  $Cav_i = 2$ :
    - I. Se  $(V_i - Stk_i) \leq 2000$ :  $L_i = 2000$ ;
    - II. Se  $2000 < (V_i - Stk_i)$ :  $L_i = 2500$ ;

- d. Repetir **4.8.1.2º.a., b. e c.** para as restantes máquinas medianamente restritas disponíveis.

**3º.** Planear as máquinas restritas disponíveis:

- a. Caso a *FilaLastras* não se encontre vazia (ou  $QtdRrl \neq 0$ ): alocar a lastra numa das máquinas restritas disponíveis e eliminá-la de *FilaLastras*, para evitar que numa próxima máquina livre se afete novamente a mesma lastra, e acrescentá-la à tabela de dados, caracterizando-a segundo os atributos indicados em **1.6**, **1.7** e **1.8**;
- b. Caso **4.8.1.3º.a** não se aplique:
  - i. Se  $(QtdLastrasWIP > 0) \vee (QtdRrl_{hoje} > 0)$ : percorrer a lista ordenada de referências em fila de espera, no sentido descendente, e selecionar a primeira referência que surja com possível concretização nestas máquinas, mas que não representa lastras, nem requer lastras;  
**Nota:** a exclusão de referências de lastras e daquelas que as exigem previne o sistema de uma futura entropia, causada pela necessidade de produção de várias referências de lastras.
  - ii. Se  $(QtdLastrasWIP = 0) \wedge (QtdRrl_{hoje} = 0)$ : percorrer a lista ordenada de referências em fila de espera, no sentido descendente, e selecionar a primeira referência que surja com possível concretização nestas máquinas, independentemente de ser de lastra ou de requer lastras;
  - iii. Caso i e ii não se apliquem, seguir as indicações de **4.8.1.2º.b.** e **c.**
- c. Repetir **4.8.1.3º.a.** e **b.** para as restantes máquinas restritas disponíveis.

**4º.** Avançar para **4.9.**

**4.8.2.** Caso o dia em análise corresponda a um dia útil e, ao mesmo tempo, a uma sexta-feira, ou véspera de feriado:

- 1º.** Planear as máquinas críticas disponíveis: seguir as indicações de **4.8.1.1º**, mas com a restrição adicional de, em **4.8.1.1º.a.**, selecionar sempre da lista de referências em fila de espera, a referência  $i$  com o maior  $L_i$ ;
- 2º.** Planear as máquinas medianamente restritas: seguir as indicações de **4.8.1.2º**, mas com a restrição adicional de, em **4.8.1.2º.a.**, selecionar sempre da lista de referências em fila de espera, a referência  $i$  com o maior  $L_i$ ;
- 3º.** Planear as máquinas restritas disponíveis: seguir as indicações de **4.8.1.3º**, mas com a restrição adicional de, em **4.8.1.3º.b.**, selecionar sempre da lista de referências em fila de espera, a referência  $i$  com o maior  $L_i$ ;  
**Nota:** a opção por lotes de tamanho maior tenta impedir produções muito superiores ao realmente necessário, visto que nos fins-de-semana e feriados não ocorrem mudanças de molde.

**4º.** Avançar para **4.9.**

**4.9.** Verificar se  $(U - u) > 0$  e se constam amostras na fila de espera:

- a. Caso as condições se confirmem, agendar amostras às máquinas que sofrerão *setup*, se compatíveis, sem que nunca ocorra  $(U - u) < 0$ .

**Nota:** a ideia passa por aproveitar as mudanças de máquina para programar amostras, cujas instalações dos seus moldes se adicionam às realizadas em **4.8**, sem que o total resultante ultrapasse o limite superior do somatório de *setups* efetuados num dia.

**4.10.** Analisar e avaliar o plano de produção gerado para o dia em questão:

- a. Calcular o total de cavidades de molde ( $k$ ) que se utilizarão em todo o sistema (valor a utilizar em **4.10.d**);
- b. Calcular o total de referências, em processamento simultâneo, que requerem placas refratárias ( $t_{placa}$ ) e dessas, o número de referências urgentes ( $t_{urg\_placa}$ ) (valores a utilizar em **4.10.d** e **4.11.1**);
- c. Calcular o total de referências, em processamento simultâneo, que requerem placas refratárias do tipo 3 ( $t_{placa3}$ ) e dessas, o número de referências urgentes ( $t_{urg\_placa3}$ ) (valores a utilizar em **4.10.d** e **4.11.1**);
- d. Qualificar a construção do plano de produção, segundo as restrições dos recursos adicionais renováveis, nomeadamente as das placas refratárias e das cavidades de molde, e, conseqüentemente, as do armazém local:
  - i. Se  $(t_{placa} \leq H) \wedge (t_{placa3} \leq H3)$ :
    - A. Se  $[(k \geq \min\_k\_cheios) \wedge (k \leq \max\_k\_cheios)]$ , tal que  $w_t = 1$ : construção do plano de produção concluída com sucesso; avançar para **4.13**;
    - B. Se  $[(k \geq \min\_k\_vazios) \wedge (k \leq \max\_k\_cheios)]$ , tal que  $w_t = 0$ : construção do plano de produção concluída com sucesso; avançar para **4.13**.
    - C. Caso **4.10.d.i.A** ou **B** não se apliquem, avançar para **4.11**.
  - ii. Caso **4.10.d.i** não se aplique, avançar para **4.11**.

**4.11.** Executar o mecanismo de reparação da solução de planeamento, pela exclusão iterativa de referências, do plano do dia em análise, até o tornar parcialmente admissível, ao nível de  $k$ ,  $t_{placa}$  e  $t_{placa3}$ ;

**Notas:** deve-se optar pelas referências com  $Q_i = 0$  e os prazos de entrega ao forno de chacote mais alargados; não está autorizada a remoção das lastras alocadas em **4.8** (devido à presença no plano do dia anterior de referências que as solicitaram), nem das referências que as requerem (por causa do cuidado já tido em **4.8**); há a possibilidade de alterar o total  $g$  de referências em *biscuit* em processamento simultâneo, com a garantia de que o limite superior  $G$  não é excedido; todas as referências rejeitadas do plano do dia em análise são deslocadas e armazenadas no conjunto de referências pendentes (RP).

**4.11.1.** Comparar os valores de  $t_{urg\_placa}$  e  $t_{urg\_placa3}$  com os respetivos limites superiores, com possível transferência de referências para RP:

**Notas:** em **4.11.1.a, b** e **c**, garante-se, atendendo aos limites superiores  $H$  e  $H3$ , a permanência no plano das referências com requisição de placas refratárias com maior prioridade, ou seja, as urgentes com data de entrega ao forno de chacote mais cedo; caso ainda se excedam os limites mencionados, procura-se fazê-los respeitar em **4.11.1.d**, onde as necessidades e extras, com requisição de placas, são removidos do plano e se insuficientes, eliminam-se urgentes; no geral, caso se superem ambos os limites, primeiro excluem-se as referências associadas a placas do tipo 3, pois, como são abrangidas pelo total  $t_{placa}$  (e  $t_{urg\_placa}$ ), a sua ausência do plano poderá conseguir assegurar o máximo permitido.

a. Se  $(t_{urg\_placa} > H) \wedge (t_{urg\_placa3} \leq H3)$ :

- 1º. Transferir a referência  $i$  urgente, ainda com  $Q_i = 0$  (logo não consta no plano do dia anterior) e com a data de entrega mais tarde, para RP;
- 2º. Atualizar os valores de  $t_{urg\_placa}$ ,  $t_{urg\_placa3}$ ,  $t_{placa}$ ,  $t_{placa3}$ ,  $g$  e  $k$ ;

- 3º.** Caso  $(t\_urg\_placa = H) \wedge (t\_urg\_placa3 \leq H3)$ , avançar para **4.11.1.d**; caso contrário, repetir **4.11.1.a.1º** e **2º**.
- b.** Se  $(t\_urg\_placa > H) \wedge (t\_urg\_placa3 > H3)$ :
- 1º.** Transferir a referência  $i$  urgente, ainda com  $Q_i = 0$ , que utiliza placas refratárias do tipo 3, com data de entrega mais tarde, para RP;
  - 2º.** Atualizar os valores de  $t\_urg\_placa$ ,  $t\_urg\_placa3$ ,  $t\_placa$ ,  $t\_placa3$ ,  $g$  e  $k$ ;
  - 3º.** Caso  $t\_urg\_placa3 = H3$ , avançar para **4.11.1.b.4º**; caso contrário, repetir **4.11.1.b.1º** e **2º**.
  - 4º.** Caso  $t\_urg\_placa \leq H$ , avançar para **4.11.1.d**; caso contrário, isto é,  $(t\_urg\_placa > H)$ :
    - i.** Transferir para RP a referência  $i$  urgente, ainda com  $Q_i = 0$ , que utiliza placas refratárias do tipo 1, ou 2, com a data de entrega mais tarde;
    - ii.** Atualizar os valores de  $t\_urg\_placa$ ,  $t\_placa$ ,  $g$  e  $k$ ;
    - iii.** Caso  $(t\_urg\_placa = H)$ , avançar para **4.11.1.d**; caso contrário, repetir **4.11.1.b.4º.i.** e **ii.**
- c.** Se  $(t\_urg\_placa = H) \wedge (t\_urg\_placa3 > H3)$ : seguir as indicações de **4.11.1.b.1º**, **2º** e **3º**;
- d.** Se  $(t\_urg\_placa \leq H) \wedge (t\_urg\_placa3 \leq H3)$ :
- i.** Se  $[(t\_placa > H) \wedge (t\_placa3 \leq H3)] \vee [(t\_placa \geq H) \wedge (t\_placa3 > H3)]$ :
    - A.** Se  $t\_placa3 > H3$ , percorrer o plano do dia em análise e:
      - I.** Caso se encontre uma referência  $i$  com necessidade ou extra, ainda com  $Q_i = 0$ , que utilize placas refratárias do tipo 3:
        - a)** Transferir a referência  $i$  para RP;
        - b)** Se  $i$  é extra: transferir  $i$  para um conjunto de extras pendentes (EP) e excluir  $i$  dos extras, para evitar que se aloque novamente essa referência;
        - c)** Atualizar os valores de  $t\_placa$ ,  $t\_placa3$ ,  $g$  e  $k$ ;
        - d)** Caso  $(t\_placa \leq H) \wedge (t\_placa3 \leq H3)$ , avançar para **4.11.2**; caso contrário, repetir **4.11.1.d.i.A.I.a)**, **b)** e **c)**; caso se tenham transferido todas as referências possíveis, através das alíneas anteriores, e a condição imposta continue a não ser verificada, avançar para **4.11.1.d.i.A.II.**
      - II.** Caso se encontre uma referência  $i$  urgente, ainda com  $Q_i = 0$ , que utilize placas refratárias do tipo 3:
        - a)** Transferir a referência  $i$  para RP;
        - b)** Atualizar os valores de  $t\_urg\_placa$ ,  $t\_urg\_placa3$ ,  $t\_placa$ ,  $t\_placa3$ ,  $g$  e  $k$ ;
        - c)** Caso  $(t\_placa \leq H) \wedge (t\_placa3 \leq H3)$ , avançar para **4.11.2**; caso contrário, repetir **4.11.1.d.i.A.II.a)** e **b)**; caso se tenham transferido todas as referências possíveis, através das alíneas anteriores, e a condição imposta continue a não ser verificada, avançar para **4.11.1.d.i.B.**

**B.** Se  $t_{placa} > H$ :

- I. Caso se encontre uma referência  $i$  com necessidade ou extra, ainda com  $Q_i = 0$ , que utilize placas refratárias do tipo 1 ou 2:
  - a) Seguir as indicações de **4.11.1.d.i.A.i.a)** e **b)**;
  - b) Atualizar os valores de  $t_{placa}$ ,  $g$  e  $k$ ;
  - c) Caso  $(t_{placa} \leq H) \wedge (t_{placa3} \leq H3)$ , avançar para **4.11.2**; caso contrário, repetir **4.11.1.d.i.B.i.a)** e **b)**; caso se tenham transferido todas as referências possíveis, através das alíneas anteriores, e a condição imposta continue a não ser verificada, avançar para **4.11.1.d.i.B.ii.**
- II. Caso se encontre uma referência  $i$  urgente, ainda com  $Q_i = 0$ , que utilize placas refratárias do tipo 3:
  - a) Transferir a referência  $i$  para RP;
  - b) Atualizar os valores de  $t_{urg\_placa}$ ,  $t_{placa}$ ,  $g$  e  $k$ ;
  - c) Caso  $(t_{placa} \leq H) \wedge (t_{placa3} \leq H3)$ , avançar para **4.11.2**; caso contrário, repetir **4.11.1.d.i.B.ii.a)** e **b)**.

**4.11.2.** Realocar novas referências às máquinas libertadas em **4.11.1**:

- a. Percorrer, no sentido descendente, a lista ordenada em **4.5** de referências em fila de espera, sem aquelas transferidas para RP, e selecionar a primeira referência não referente a amostras que surja, com possível concretização numa de entre as máquinas libertadas, sem requisição de placas refratárias ou lastras e que assegure que  $g \leq G$ ;
- b. Caso **a.** não se aplique, seguir as indicações de **4.8.1.2º.b** e **c**, mas sem a limitação, em **4.8.1.2º.b**, de seleção de referências extras apenas compatíveis com um dos grupos de máquinas;
- c. Atualizar os valores de  $g$  e  $k$ ;
- d. Caso se verifique novamente a ocupação de todas as máquinas, avançar para **4.11.2.e**; caso contrário, repetir **4.11.2.a** e **b)**;
- e. Qualificar a construção do plano de produção, segundo as restrições de cavidades de molde, e, conseqüentemente, as do armazém local:
  - i. Se  $[(k \geq \min\_k\_cheios) \wedge (k \leq \max\_k\_cheios)]$ , tal que  $w_t = 1$ : construção do plano de produção concluída com sucesso; avançar para **4.12**;
  - ii. Se  $[(k \geq \min\_k\_vazios) \wedge (k \leq \max\_k\_vazios)]$ , tal que  $w_t = 0$ : construção do plano de produção concluída com sucesso; avançar para **4.12**;
  - iii. Caso **4.11.2.e.i** ou **ii** não se apliquem, avançar para **4.11.3**.

**4.11.3.** Corrigir o número total  $k$  de cavidades de moldes que se utilizarão em todo o sistema, de modo a satisfazer os limites relativos ao estado de ocupação dos cavaletes no dia em análise:

**Nota:** a retificação acontece pela deslocação para RP de referências planeadas com certos atributos, até se satisfazer um dos critérios de paragem estipulados, com posterior atribuição de novas referências às máquinas libertadas.

- a. Se  $[(k > \max\_k\_cheios) \wedge (w_t = 1)]$ :

- i. Transferir para RP a referência  $i$  do plano com data de entrega mais tarde, ainda com  $Q_i = 0$ , que não é lastra, nem requer lastras, nem placas refratárias;
- Critérios de desempate:**
- A. Transferir a referência  $i$  cujo molde possui o maior número de cavidades;
- B. Caso **4.11.3.a.i.A** não se aplique, transferir a referência  $i$  de reposição;
- C. Caso **4.11.3.a.i.B** não se aplique, transferir a referência  $i$  com a menor  $Nbr\ Real_i$ .
- ii. Se  $i$  é extra: transferir  $i$  para EP e excluir  $i$  dos extras, para evitar que se aloque novamente essa referência;
- iii. Atualizar os valores de  $g$  e  $k$ ;
- iv. Contabilizar o número de máquinas por **4.11.3.a.i** desocupadas ( $MáqsLivres$ ) (valor a utilizar em **4.11.3.a.v** e **vi**);
- v. Caso ( $k < min\_k\_cheios$ ), ou caso se tenham transferido todas as referências possíveis, através das alíneas **4.11.3.a.i**, **ii**, **iii** e **iv**, ou  $u = MáqsLivres$ , avançar para **4.11.3.a.vi**; caso contrário, repetir **4.11.3.a.i**, **ii**, **iii** e **iv**;
- Nota:**  $u = MáqsLivres$  significa que todas as máquinas desocupadas inicialmente, pela finalização do processamento de determinadas referências, e, entretanto, preenchidas com outras, foram todas aqui libertadas novamente.
- vi. Calcular o número máximo de cavidades de molde que cada máquina libertada poderá receber ( $LimiteCav$ ), através da expressão  $LimiteCav = \left\lfloor \frac{(máx\_k\_cheios - k)}{MáqsLivres} \right\rfloor$ , e arredondá-lo por defeito até ao valor mais próximo na ordem das unidades;
- Nota:** a margem entre o limite superior do total de cavidades de molde, em utilização em todo o sistema ( $máx\_k\_cheios$ ), e o total dessas ( $k$ ), resultante da remoção de referências do plano, pelas alíneas acima, é dividida pelo total de máquinas que continham essas referências excluídas ( $MáqsLivres$ ), originando o número médio e, ao mesmo tempo, máximo, de cavidades de molde ( $LimiteCav$ ), igual para cada nova referência a atribuir em **4.11.3.a.viii**.
- vii. Caso  $LimiteCav \geq 1$ , avançar para **4.11.3.a.viii**; caso  $LimiteCav = 0$ , corrigir  $LimiteCav$ :
- Nota:** o número de cavidades livres, atendendo ao limite superior  $máx\_k\_cheios$  e ao número  $k$  já em utilização, pode não ser suficiente para, pelo menos, atribuir moldes com 1 só cavidade às máquinas libertadas, pois estas existem em número superior ao das cavidades livres, pelo que é necessário remover outras referências, para tornar  $LimiteCav \geq 1$ .
- A. Transferir para RP, a referência  $i$  do plano com data de entrega mais tarde, ainda com  $Q_i = 0$  e que não é lastra;
- B. Seguir as indicações de **4.11.3.a.ii**, **iii**, **iv** e **vi**;
- C. Caso  $LimiteCav \geq 1$ , ou caso  $u = MáqsLivres$ , avançar para **4.11.3.a.viii**; caso  $[(LimiteCav = 0) \wedge (u < MáqsLivres)]$ , repetir **4.11.3.a.vii.A** e **B**; caso se tenham transferido todas as referências possíveis, através das alíneas **4.11.3.a.vii.A** e **B**, corrigir  $LimiteCav$  por:

- I. Transferir para RP, a referência  $i$  do plano com data de entrega mais tarde, com  $Q_i > 0$  e que não é lastra;
  - II. Seguir as indicações de **4.11.3.a.ii, iii, iv e vi**;
  - III. Caso  $LimiteCav \geq 1$ , ou caso  $u = MáqsLivres$ , avançar para **4.11.3.a.viii**; caso  $[(LimiteCav = 0) \wedge (u < MáqsLivres)]$ , repetir **4.11.3.a.vii.C.I e II**.
- viii.** Realocar novas referências às máquinas libertadas, partindo da máquina  $M$  até  $j = 1$ , isto é, das restritas para as críticas, passando pelas medianamente restritas:
- Notas:** os moldes compatíveis com as máquinas restritas possuem normalmente poucas cavidades (1 ou 2), enquanto que com as críticas, podem possuir muitas mais, pelo que é preferível seguir a ordem apresentada; perceba-se que  $LimiteCav$  é atualizado a cada afetação, podendo o seu valor aumentar, o que permite a alocação nas máquinas críticas, de referências associadas a moldes com mais cavidades.
- A.** Selecionar da fila de espera, desprovida do conjunto RP, a primeira referência  $i$  não referente a amostras que surja, com data de entrega mais cedo e com maior  $Nbr Real_i$ , sem requisição de placas refratárias ou lastras, que assegure que  $g \leq G$  e cujo molde seja compatível com a máquina desocupada, devendo possuir um número de cavidades menor ou igual a  $LimiteCav$ ;
  - B.** Caso **4.11.3.a.viii.A** não se aplique, seguir as indicações de **4.8.1.2º.b e c**, mas sem a limitação, em **4.8.1.2º.b**, de seleção de referências extras apenas compatíveis com um dos grupos de máquinas;
  - C.** Atualizar os valores de  $g$ ,  $k$  e  $LimiteCav$ ;
  - D.** Caso se verifique novamente a ocupação de todas as máquinas, avançar para **4.11.3.a.viii.E**; caso contrário, repetir **4.11.3.a.viii.A, B e C**;
  - E.** Caso  $[(k \geq min\_k\_cheios) \wedge (k \leq máx\_k\_cheios)]$ , tal que  $w_t = 1$ : construção do plano de produção concluída com sucesso; avançar para **4.12**.
- b.** Se  $[(k > máx\_k\_vazios) \wedge (w_t = 0)]$ : seguir as indicações de **4.11.3.a**, substituindo  $máx\_k\_cheios$  por  $máx\_k\_vazios$ , e  $min\_k\_cheios$  por  $min\_k\_vazios$ .
- c.** Se  $[(k < min\_k\_vazios) \wedge (w_t = 0)]$ :
- i.** Transferir para RP a referência  $i$  do plano com data de entrega mais tarde, ainda com  $Q_i = 0$ , que não é lastra, nem requer lastras, nem placas refratárias;
- Critérios de desempate:**
- A.** Transferir a referência  $i$  cujo molde possui o menor número de cavidades;
  - B.** Caso **4.11.3.c.i.A** não se aplique, transferir a referência  $i$  de reposição;
  - C.** Caso **4.11.3.c.i.B** não se aplique, transferir a referência  $i$  com a menor  $Nbr Real_i$ .
- ii.** Se  $i$  é extra: transferir  $i$  para EP e excluir  $i$  dos extras, para evitar que se aloque novamente essa referência;
  - iii.** Atualizar os valores de  $g$  e  $k$ ;

- iv. Contabilizar o número de máquinas por **4.11.3.c.i** desocupadas (*MáqsLivres*) (valor a utilizar em **4.11.3.c.v** e **vi**);
  - v. Caso se tenham transferido todas as referências possíveis, através das alíneas **4.11.3.c.i** a **iv**, ou  $u = MáqsLivres$ , avançar para **4.11.3.c.vi**; caso contrário, repetir **4.11.3.c.i**, **ii**, **iii** e **iv**;  
**Nota:** ao contrário das alíneas **4.11.3.a** e **b**, aqui torna-se redundante garantir ( $k < min\_k\_vazios$ ).
  - vi. Calcular o número máximo de cavidades de molde que cada máquina libertada poderá receber (*LimiteCav*), através da expressão  $LimiteCav = \left\lfloor \frac{(máx\_k\_vazios - k)}{MáqsLivres} \right\rfloor$ , e arredondá-lo por defeito até ao valor mais próximo na ordem das unidades;
  - vii. Caso  $LimiteCav > 0$ , avançar para **4.11.3.c.viii**; caso  $LimiteCav = 0$ , corrigir *LimiteCav* segundo as indicações em **4.11.3.a.vii**;
  - viii. Realocar novas referências às máquinas libertadas, partindo da máquina  $M$  até  $j = 1$  e seguindo as indicações em **4.11.3.a.viii**;
  - ix. Caso se verifique novamente a ocupação de todas as máquinas, avançar para **4.11.3.c.x**; caso contrário, repetir **4.11.3.c.viii**;
  - x. Caso  $[(k \geq min\_k\_vazios) \wedge (k \leq máx\_k\_vazios)]$ , tal que  $w_t = 1$ : construção do plano de produção concluída com sucesso; avançar para **4.12**.
- 4.12.** Ignorar o plano de produção de amostras obtido inicialmente e repetir **4.9**;  
**Nota:** o plano de amostras é reformulado, porque o mecanismo de reparação pode ter libertado máquinas, que não haviam sido inicialmente, e que são compatíveis com amostras, que antes não foram agendadas.
- 4.13.** Transcrever o plano do dia em análise, de referências e de amostras, para o plano semanal de produção;
- 4.14.** Copiar o plano de referências do dia em análise para o plano do dia anterior, para que este sirva de ponto de partida para a heurística, aquando da programação do dia seguinte;
- 4.15.** Eliminar as amostras programadas para o dia em análise da tabela de dados;  
**Nota:** as amostras, por se produzirem numa ou duas horas, não continuam em processamento no dia seguinte, logo a sua repetição nesse dia é evitada pela referida supressão.
- 4.16.** Atualizar, na tabela de dados, para cada referência alocada no dia em análise, a quantidade já produzida  $Q_i$ , adicionando-lhe a média do número de peças produzidas num dia, para que se garanta a consideração da produção do dia em análise ao longo do processo de programação do dia seguinte;
- 4.17.** Subtrair, na tabela de dados, 1 dia, correspondente ao dia em análise, ao intervalo de dias de trabalho (ver definição na **Tabela B. 1**) de cada referência;  
**Nota:** esta operação é imprescindível, porque o término do dia em análise reduz a distância, em 1 dia, às datas de entrega ao forno de chacote.
- 4.18.** Remover dos extras, as referências extras alocadas no dia em análise, para evitar a repetição da alocação das mesmas referências extras ao longo do plano semanal;
- 4.19.** Regressar a **4.1** e repetir todas as etapas que lhe seguem; caso  $t = 7$ , avançar para o **passo 5**.

**Passo 5:** Cálculo dos valores para medição do desempenho da solução gerada.

- 5.1. Determinar o total de referências em fila de espera, após a construção do plano produtivo para o último período do espaço temporal, excluindo as amostras e as lastras (ver justificação da exclusão em 3.4);
- 5.2. Determinar o total de referências urgentes em fila de espera, após a construção do plano produtivo para o último período do espaço temporal, excluindo as amostras e as lastras (ver justificação da exclusão em 3.4);
- 5.3. Averiguar a quantidade de amostras que ainda aguardam processamento;
- 5.4. Obter os totais absoluto e percentual de referências alocadas, utilizando os valores conseguidos em 3.4 e 5.1;
- 5.5. Obter os totais absoluto e percentual de urgências alocadas, utilizando os valores conseguidos em 3.5 e 5.2;
- 5.6. Calcular os totais absoluto e percentual de amostras agendadas, através dos resultados em 3.6 e 5.3;
- 5.7. Apurar o número de referências com previsão de lote concluído dentro do intervalo de tempo  $[1,7]$ , mas já com atraso face ao prazo de entrega ao forno de chacote;
- 5.8. Especificar os atrasos total, máximo e médio, associados ao conjunto de referências especificadas em 5.7;
- 5.9. Contabilizar as referências ainda em fila de espera, mas já com atraso em relação à data de entrega;
- 5.10. Determinar os atrasos total, máximo e médio, associados ao conjunto de referências especificadas em 5.9;
- 5.11. Avançar para o **passo 6**.

**Passo 6:** Apresentação dos dados de saída da heurística construtiva.

- 6.1. Expor em tabelas, num ficheiro de *Excel*, os seguintes dados:
  - a. Plano semanal de referências;
  - b. Plano semanal de amostras;
  - c. Valores diários dos totais de referências urgentes alocadas;
  - d. Valores diários dos totais de referências com necessidade alocadas;
  - e. Valores diários dos totais de referências extras alocadas;
  - f. Valores diários dos totais de referências com aspeto *biscuit* ( $g$ ) alocadas;
  - g. Valores diários dos totais de referências pertencentes à família das lastras alocadas;
  - h. Valores diários dos totais de referências com requisição de lastras alocadas;
  - i. Valores diários dos totais de referências com requisição de placas refratárias ( $t_{placa}$ ) alocadas;
  - j. Valores diários dos totais de referências com requisição de placas refratárias do tipo grande ( $t_{placa3}$ ) alocadas;
  - k. Valores diários dos totais de cavidades em utilização em todo o sistema ( $k$ );
  - l. Valores diários dos totais de *setups*, para referências e amostras, delineados.
- 6.2. Expor, sob a forma de um gráfico de barras sobrepostas horizontais, em *MATLAB* e num ficheiro PNG, o plano semanal de referências;

**Nota:** no gráfico, as cores dos códigos das referências inscritas representam a classificação recebida (vermelho, preto e azul, se urgentes, necessidades, ou extras, respetivamente).

- 6.3.** Expor, sob a forma de gráficos de linhas, em *MATLAB* e num ficheiro PNG, os dados dos pontos **6.1.c** a **6.1.l**.

### Anexo C Comparação entre a Heurística de Villa et al. (2018) e a Heurística Construtiva Proposta

Tabela C. 1 – Quadro-resumo das semelhanças e diferenças entre a heurística proposta e a segunda das duas heurísticas de Villa et al. (2018).

		2ª HEURÍSTICA DE VILLA ET AL. (2018)	HEURÍSTICA CONSTRUTIVA PROPOSTA
<b>FUNÇÃO-OBJETIVO</b>		Minimização do <i>makespan</i> .	Minimização do atraso total.
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>Tipologia</b>	Sem distinção.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Referências padrão, de linha ou reposição (destinadas a clientes específicos e com prazo de entrega até 30 dias);</li> <li>b. Referências de lastras (caso especial de recursos adicionais);</li> <li>c. Pré-produções;</li> <li>d. Amostras;</li> <li>e. Referências extras (referências entre as mais vendidas, sem necessidade de reposição do <i>stock</i> mínimo e com <i>stock</i> inferior ao total de vendas do ano anterior).</li> </ul>
	<b>Tempos de processamento</b>	Diferentes entre máquinas.	Diferentes entre máquinas e entre referências (devido ao tamanho dos lotes e ao número de cavidades dos moldes associados).
<b>MÁQUINAS</b>		Máquinas paralelas não relacionadas.	Máquinas paralelas, flexíveis e não relacionadas.
<b>RECURSOS ADICIONAIS</b>	<b>Tipos</b>	1 recurso renovável, discreto e de processamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. 2 recursos renováveis, discretos e de processamento (placas refratárias e moldes);</li> <li>b. 1 recurso não renovável e discreto (lastras).</li> </ul>
	<b>Utilização</b>	Quantidade de recursos utilizada pelas referências dependente das máquinas que as processam.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Quantidade de placas refratárias e lastras dependente do lote das referências que as exigem;</li> <li>b. Diferença de moldes entre referências.</li> </ul>
<b>RESTRICÇÕES</b>	<b>Processamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Cada referência é processada por exatamente uma máquina;</li> <li>b. Cada máquina processa uma referência de cada vez;</li> <li>c. Sem permissão para interrupções no processamento de referências.</li> </ul>	
	<b>Tempos vazios de máquinas</b>	Com permissão, devido à indisponibilidade de recursos adicionais.	Sem permissão, o que explica a alocação, por vezes, de referências extras.
	<b>Recursos auxiliares</b>	Impossibilidade de utilização de um total de recursos, em todo o sistema, num dado período, superior ao total máximo disponível.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Impossibilidade de processamento simultâneo, no sistema, de totais de referências de lastras, com requisição de lastras e de placas refratárias, superiores aos máximos estipulados;</li> <li>b. Impossibilidade de utilização de um total de cavidades de molde, em todo o sistema, fora dos limites estabelecidos, consoante a disponibilidade do armazém local.</li> </ul>

	<b>Armazém local</b>		Disponibilidade com influência no intervalo que limita o total de cavidades de molde em utilização em todo o sistema.
	<b>Elegibilidade de máquinas</b>		Afetação de referências apenas nas máquinas compatíveis.
	<b>Setups</b>	Não aplicadas.	Impossibilidade de realização de um total diário de <i>setups</i> superior a um máximo estipulado.
	<b>Especificidades das referências</b>		Impossibilidade de processamento simultâneo, no sistema, de um total de referências com aspeto <i>biscuit</i> superior a um máximo estipulado.
<b>ABORDAGEM HEURÍSTICA</b>	<b>1º. Construção de uma solução admissível</b>	Baseada, inicialmente, na atribuição às máquinas de referências, segundo determinadas regras (ver <b>1º.4</b> ), mas sem a consideração das restrições de recursos adicionais renováveis; no caso de incumprimento dessas restrições, incorre na aplicação de um mecanismo de reparação da solução, que a torna admissível ao nível dos recursos adicionais.	
	<b>1. Estado inicial do sistema</b>	Todas as máquinas livres e todas as referências em fila de espera.	Todas as máquinas ocupadas, mas com a possibilidade de substituição das referências que acolhem, por outras presentes na fila de espera, dependendo da hipótese de finalizar o seu processamento e da restrição de <i>setups</i> .
	<b>2. Dimensionamento de lotes</b>	Não aplicado.	Baseado na tipologia das referências, nas respetivas quantidades necessárias de produção, acrescidas de taxas de refugo, e no total de cavidades dos moldes a que estão associadas.
	<b>3. Regras de ordenação de referências</b>	Não aplicadas.	Baseadas na data de entrega mais cedo e nas reais necessidades de produção de cada referência.
	<b>4. Regras de afetação</b>	Baseadas nos tempos de processamento e no consumo de recursos adicionais de cada referência.	Baseadas nas regras de ordenação, no aspeto <i>biscuit</i> , na exigência de lastras e na elegibilidade de máquinas pelas referências.

<p><b>5. Verificação da admissibilidade da solução</b></p>	<p><b>1º.</b> Organização, em cada máquina, das referências por ordem decrescente de consumo de recursos adicionais;</p> <p><b>2º.</b> Cálculo do somatório do consumo de todas as primeiras referências alocadas em cada máquina, no período zero;</p> <p><b>3º.</b> Verificação da inferioridade do resultado do somatório anterior, face ao total máximo de recursos disponíveis:</p> <p>i. Em caso afirmativo, considerar a solução admissível, porque as referências programadas depois das do período zero consomem menos recursos;</p> <p>ii. Em caso contrário, aplicar o mecanismo de reparação.</p>	<p>Verificação do cumprimento das restrições dos recursos adicionais não renováveis e do armazém local, pela comparação dos limites que estipulam, com os valores encontrados na solução:</p> <p>i. Se respeitados, considerar a solução admissível;</p> <p>ii. Em caso contrário, aplicar o mecanismo de reparação.</p>
<p><b>6. Mecanismo de reparação</b></p> <p><b>6.a. Obtenção de uma solução parcialmente admissível</b></p>	<p><b>1º.</b> Remoção do plano e transferência para o conjunto de referências pendentes (RP), da referência com o maior consumo de recursos adicionais, no período zero, com o recuo das suas sucessoras para o período antecedente;</p> <p><b>2º.</b> Repetição do passo anterior, enquanto o somatório do consumo de todas as primeiras referências alocadas em cada máquina, no período zero, for superior ao total máximo de recursos disponíveis.</p>	<p><b>1º.</b> Remoção do plano e transferência para o conjunto de referências pendentes, das referências com, simultaneamente, requisição de placas refratárias e menor prioridade;</p> <p><b>2º.</b> Repetição do passo anterior, enquanto perdurar o incumprimento da restrição associada às placas.</p>

<p><b>6.b. Obtenção de uma solução admissível</b></p>	<p><b>1º.</b> Alocação das RP, atendendo às restrições de recursos adicionais e à minimização do <i>makespan</i>;</p> <p><b>2º.</b> Troca de posições entre a RP alocada e a referência que lhe precede, caso a última consuma menos recursos e a máquina não apresente tempos vazios; ação repetida enquanto perdurar a admissibilidade da sequência obtida.</p>	<p><b>1º.</b> Alocação, atendendo às regras de afetação, de novas referências sem requisição de placas refratárias ou lastras, com pertença à fila de espera, ao invés de ao conjunto RP;</p> <p><b>2º.</b> Verificação do cumprimento das restrições do total de cavidades de molde, em utilização em todo o sistema, e do armazém local, pela comparação dos limites que estipulam, com os valores encontrados na solução:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Se respeitados, considerar a solução admissível;</li> <li>ii. Em caso contrário, aplicar a segunda parte do mecanismo de reparação, avançando para o ponto 3º.</li> </ul> <p><b>3º.</b> Remoção do plano e transferência para o conjunto de referências pendentes, das referências com, simultaneamente, menor prioridade e associação a moldes com um total de cavidades inadequado para o estado de disponibilidade do armazém local;</p> <p><b>4º.</b> Repetição do passo anterior, enquanto perdurar o incumprimento das restrições do total de cavidades de molde, em utilização em todo o sistema, e do armazém local;</p> <p><b>5º.</b> Alocação, atendendo às regras de afetação, de novas referências sem requisição de placas refratárias ou lastras, com associação a moldes com um total de cavidades adequado para o estado de disponibilidade do armazém local e com pertença à fila de espera, ao invés de ao conjunto RP;</p> <p><b>6º.</b> Confirmação do cumprimento das restrições do total de cavidades de molde, em utilização em todo o sistema, e do armazém local.</p>
<p><b>2º. Melhoramento da solução admissível</b></p>	<p><b>1º.</b> Aplicação do método de pesquisa local, com a consideração dos recursos adicionais, se a solução foi reparada, ou sem ela, em caso contrário;</p> <p><b>2º.</b> Aplicação de heurísticas de múltipla passagem, com a seleção da melhor solução por elas oferecidas.</p>	<p>Não aplicado.</p>

## Anexo D Estado Inicial do Sistema de Produção do Setor das MEAP

**Tabela D. 1** – Horizonte temporal da execução da abordagem heurística, associado ao estado de ocupação do armazém local (cavaletes).

CALENDÁRIO				
PERÍODO	DIA	FIM-DE-SEMANA? (Sim - 0; Não - 1)	CAPACIDADE CAVALETES ATINGIDA? (Sim - 1; Não - 0)	
0	18/04/2018		1	0
1	19/04/2018		1	1
2	20/04/2018		1	1
3	21/04/2018		0	0
4	22/04/2018		0	0
5	23/04/2018		1	0
6	24/04/2018		1	0
7	25/04/2018		1	0
8	26/04/2018		1	0

**Tabela D. 2** – Plano de produção em ação no período 0, no qual decorreu a extração dos dados reais.

PLANO - PERÍODO 0				
MÁQUINA	REFERÊNCIA	DESIGNAÇÃO	LOTE	
1	1005316	TAÇA PEQ ALTA 13CM TRACE S/DECOR PN	1200	
2	1004235	PIRES CAFE 9CL KARMA S/DECOR 05PN	300	
3	1004580	PRATO 32,5 MATRIX S/DECOR PN	900	
4	1000319	PB BANDEJA TORTA CANTS/DECOR 00PN	300	
5	1002116	PR 31 CARRE S/DECOR PN	300	
6	1004606	PB TRAV TAVARES S/DECOR 04PN	500	
7	1003791	TRAVESSA 35 DOMO S/DECOR PN	300	
8	1001494	TRAV NOVA S/DECOR 06N	900	
9	36000674	P LU LUO24 TRAV. OVAL 24X14CM BRANCO TR	500	
10	1004006	TRAV OVAL MULTIF 34X21 S/DECOR PN	2000	

## Anexo E Instâncias de Referências e respetivos Atributos

Tabela E. 1 – Instância pequena de referências e seus detalhes.

INSTÂNCIA PEQUENA																										
REF.	DESIGNAÇÃO	TIPO (L-1; R-0)	CAVIDADES	BISCUIT	REF. DE LASTRA ?	MÁQUINAS			DATA ENTREGA	DIAS DE TRABALHO A PARTIR DE t=0	LOTE	DIAS DE PRO-CESAMENTO DO LOTE	QTD JÁ PRODUZIDA	MÉDIA Nº PEÇAS/DIA	REF. REQUER PLACA 1	REF. REQUER PLACA 2	REF. REQUER PLACA 3	DISPONIBILIDADE MOLDE	UTILIZA LASTRA?	STOCK	SALDO CARTEIRA	NEC. BRANCO	% REFUGO	PRÉ-PRODUÇÃO?	AMOS-TRA?	
						C	MD	R																		
1002116	PR 31 CARRE S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0			5000	300	1	905	258	0	0	0	1	0	85	1	152	26,24	0	0
1004606	PB TRAV TAVARES S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0			5000	500	1	543	137	0	0	0	1	0	124	0	236	39,78	0	0
1003791	TRAVESSA 35 DOMO S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1			5000	300	2	61	208	0	0	0	1	0	175	0	5	24,27	0	0
1005316	TAÇA PEQ.ALTA 13CM TRACE S/DECOR PN	1	4	0	0	1	0	0			5000	1200	3	18	475	0	0	0	1	1	85	24	169	16,95	0	0
1004235	PIRES CAFE 9CL KARMA S/DECOR 05PN	1	2	0	0	1	0	0			5000	300	1	663	486	0	0	0	1	0	2	0	28	6,02	0	0
1004580	PRATO 32,5 MATRIX S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0	23/04/2018		5	900	5	284	167	0	0	0	1	0	0	312	692	18,36	0	0
1000319	PB BANDEJA TORTA CANTS/DECOR 00PN	1	2	0	0	1	0	0			5000	300	1	12	413	0	1	0	1	0	368	2	8	25,49	0	0
1001494	TRAV NOVA S/DECOR 06N	1	1	0	0	0	0	1			5000	900	1	3015	175	0	0	0	1	0	1777	0	683	19,74	0	0
36000674	P LU LUO24 TRAV. OVAL 24X14CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	07/05/2018		19	500	2	317	290	0	0	0	1	0	0	172	302	3,79	0	0
1004006	TRAV OVAL MULTIF 34X21 S/DECOR PN	1	1	0	0	0	0	1			5000	2000	9	512	200	0	0	0	1	0	533	0	1560	27,77	0	0
1001363	PB TRAV HOLLYWOOD S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0			5000	300	2	0	192	0	0	0	1	0	19	4	134	31,05	0	0
1002029	BASE P/COPOS S/DECOR 00PN	1	9	0	0	1	0	0	30/04/2018		12	900	1	0	1800	0	0	0	1	0	23	120	734	11,23	0	0
1002247	PR MARCADOR 32 ORGANIC S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	04/05/2018		16	300	2	0	199	1	0	0	1	0	3	16	88	30,53	0	0
1002248	PR SOPA ORGANIC S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0			5000	300	1	0	510	0	0	0	1	0	36	0	163	10,63	0	0
1003379	PIRES CARRE S/DECOR 02PN	1	4	0	0	1	0	0			5000	3700	2	0	1877	0	0	0	1	0	0	0	3300	10,02	0	0
1003396	PIRES CARRE S/DECOR 05PN	1	6	0	0	1	0	0			5000	7900	5	0	1616	0	0	0	1	0	222	20	7273	8,42	0	0
1003529	BAND P/CANECA CARRE S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0			5000	1200	3	0	526	0	0	0	1	0	52	22	988	13,48	0	0
1003752	TRAVESSA 42 DOMO S/DECOR 42PN	1	1	0	0	1	1	0			5000	300	2	0	210	0	1	0	1	0	41	8	163	28,90	0	0
1003776	TAÇA SOBREMESA TAP S/DECOR PN	1	6	0	0	1	0	0	02/05/2018		14	6500	4	0	1829	0	0	0	0	0	4	7225	5915	8,97	0	0
1003778	PRATO RECTANGULAR TAP S/DECOR PN	1	3	0	0	1	0	0			5000	6100	6	0	1064	0	0	0	1	0	13023	10489	5681	6,54	0	0
1003779	PRATO FRIO TAP S/DECOR PN	0	2	0	0	1	0	0	14/05/2018		26	3200	6	0	609	0	0	0	1	0	29	2919	2890	8,56	0	0
1003893	BAND RECT FUNDO 50 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1			5000	300	2	0	176	0	1	0	1	0	22	0	43	17,65	0	0
1004350	SALAD QUAD 21CM VIRTUAL S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0			5000	300	1	0	441	0	0	0	1	0	340	0	60	15,07	0	0
1004378	PR MARCADOR SILK ROAD S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	09/05/2018		21	600	3	0	258	0	1	0	1	0	2	15	391	33,18	0	0
1004382	TRAVESSA 41 SILK ROAD S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	02/05/2018		14	500	3	0	198	0	0	1	1	0	19	55	230	39,08	0	0
1004501	PRATO 40 DOMO S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0			5000	800	4	0	215	0	1	0	1	0	262	40	538	43,37	0	0
1004573	PRATO CHEF NATURA ABA BISCUIT	1	1	1	0	1	0	0	26/04/2018		8	500	3	0	224	0	0	0	1	0	0	89	314	27,31	0	0
1004584	PIRES CHA MATRIX ABA BISCUIT	1	2	1	0	1	0	0			5000	300	1	0	520	0	0	0	1	0	0	0	15	5,23	0	0
1004644	TIGELA ESPECIAL MEDIA 19 MARÉS S/DECORPN	1	2	0	0	1	1	0	04/05/2018		16	500	2	0	462	0	0	0	1	0	169	406	292	4,89	0	0
1004682	TRAVESSA OVAL 47 MARÉS S/DECOR/PN	1	1	0	0	0	1	0			5000	300	2	0	167	0	0	0	1	0	6	0	34	17,99	0	0
1004972	MOLDURA GRANDE CHICAGO BISCUIT	1	1	1	0	1	0	0			5000	300	2	0	210	0	0	0	1	0	171	0	15	25,00	0	0

1005074	TRAVESSA 34 RECORTADA S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0		5000	300	3	0	143	0	0	0	1	0	129	0	51	18,26	0	0
1005315	TAÇA GRANDE BAIXA 20CM TRACE S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0	27/04/2018	9	500	2	0	294	0	0	0	1	1	3	128	270	21,84	0	0
1003987	PR MANTEIGA GOTA 11X10 MULTIF S/DECOR PN	1	3	0	0	1	0	0		5000	600	5	0	138	0	0	0	1	0	34	0	76	4,16	0	0
1005466	PRATO PÃO 18CM MATRIX ABA BISCUIT	1	4	1	0	1	0	0		5000	800	4	0	235	0	0	0	1	0	1	0	19	12,37	0	0
1005866	CENTRO MESA 36CM CL S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0		5000	300	6	0	56	0	0	0	1	0	18	18	50	47,22	0	0
1005868	PR APRES 21 CHUVINHA TEXTURE ABA BISC PN	1	1	1	0	1	0	0		5000	500	3	0	193	0	0	0	0	0	0	0	246	27,41	0	0
1005869	PR APRES 18 CROCODILO TEXTURE ABA BISCPN	1	1	1	0	1	0	0		5000	1000	8	0	135	0	0	0	1	0	0	0	678	44,86	0	0
1005870	PR APRES 15 CHUVA TEXTURE ABA BISC PN	1	1	1	0	1	0	0		5000	300	2	0	206	0	0	0	1	0	0	0	50	17,24	0	0
1005871	PR APRES 11 ESCAMAS TEXTURE ABA BISC PN	1	1	1	0	1	0	0		5000	500	3	0	214	0	0	0	0	0	0	0	256	22,66	0	0
1005893	PR CHEF SOBREMESA NATURA ABA BISCUIT	1	2	1	0	1	0	0	16/05/2018	28	700	5	0	163	0	0	0	1	0	0	37	436	42,96	0	0
1005963	TRAVESSA 35CM RHOMBE LYNGBY S/DECOR PN	0	1	0	0	1	1	0	11/07/2018	84	200	1	0	264	0	0	0	1	0	2224	2375	151	10,75	1	0
36000256	PSP SPF13 GRATIN RD013CM BRANCO TR	1	2	0	0	1	1	0		5000	500	1	0	646	0	0	0	1	0	775	0	340	3,50	0	0
36000425	PKN KNR32 ASS.RECT. 32CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	14/06/2018	57	300	2	0	166	0	0	0	1	0	5	54	69	3,68	0	0
36000546	PGN GN1B 53,0X32,5X6,0CM BRANCO TR	1	1	0	0	1	0	0	29/04/2018	11	900	7	0	140	0	0	1	1	0	1	214	798	11,39	0	0
1001814	PB SAL. QUAD.021 COIMBRA 181/21	1	0	0	0	1	0	0		5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,97	0	1
1006044	BANDEJA DIVISÓRIAS LOYALTY S/DECOR PN	0	0	0	0	1	1	1		5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,73	0	1
1001812	PB SAL. QUAD.027 COIMBRA 181/27	1	0	0	0	1	0	0		5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69,03	0	1
1000467	PB BAND CASCAIS QUAD S/DECOR 02PN	1	0	0	0	1	1	0		5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,07	0	1
1003406	TAÇA CUBO S/DECOR PN	1	6	0	0	1	0	0		5000	500	1	0	1360	0	0	0	1	0	12	0	458	3,29	0	0
1004000	PR ACEPIPES GOTA MULTIF 24X12 S/DECOR PN	1	3	0	0	1	1	0		5000	600	1	0	632	0	0	0	1	0	0	0	80	4,10	0	0
1004771	TRAVESSA XL CROWN S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	0		5000	300	2	0	171	0	0	1	1	0	10	0	15	61,27	0	0

Tabela E. 2 – Instância grande de referências e seus detalhes.

INSTÂNCIA GRANDE																									
REF.	DESIGNAÇÃO	TIPO (L-1; R-0)	CAVIDADES	BISCUIT	REF. DE LASTRA ?	MÁQUINAS			DATA ENTREGA	DIAS DE TRABALHO A PARTIR DE t=0	LOTE	DIAS DE PRO-CESAMENTO DO LOTE	QTD JÁ PRODUZIDA	MÉDIA Nº PEÇAS/DIA	REF. REQUER PLACA 1	REF. REQUER PLACA 2	REF. REQUER PLACA 3	DISPONIBILIDADE MOLDE	UTILIZA LASTRA?	STOCK	SALDO CARTEIRA	NEC. BRANCO	% REFUGO	PRÉ-PRODUÇÃO?	AMOS-TRA?
1002116	PR 31 CARRE S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0		5000	300	1	905	258	0	0	0	1	0	85	1	152	26,24	0	0
1004606	PB TRAV TAVARES S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0		5000	500	1	543	137	0	0	0	1	0	124	0	236	39,78	0	0
1003791	TRAVESSA 35 DOMO S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1		5000	300	2	61	208	0	0	0	1	0	175	0	5	24,27	0	0
1005316	TAÇA PEQ ALTA 13CM TRACE S/DECOR PN	1	4	0	0	1	0	0		5000	1200	3	18	475	0	0	0	1	1	85	24	169	16,95	0	0
1004235	PIRES CAFE 9CL KARMA S/DECOR 05PN	1	2	0	0	1	0	0		5000	300	1	663	486	0	0	0	1	0	2	0	28	6,02	0	0
1004580	PRATO 32,5 MATRIX S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0	23/04/2018	5	900	5	284	167	0	0	0	1	0	0	312	692	18,36	0	0
1000319	PB BANDEJA TORTA CANTS/DECOR 00PN	1	2	0	0	1	0	0		5000	300	1	12	413	0	1	0	1	0	368	2	8	25,49	0	0
1001494	TRAV NOVA S/DECOR 06N	1	1	0	0	0	0	1		5000	900	1	3015	175	0	0	0	1	0	1777	0	683	19,74	0	0
36000674	P LU LU024 TRAV. OVAL 24X14CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	07/05/2018	19	500	2	317	290	0	0	0	1	0	0	172	302	3,79	0	0
1004006	TRAV OVAL MULTIF 34X21 S/DECOR PN	1	1	0	0	0	0	1		5000	2000	9	512	200	0	0	0	1	0	533	0	1560	27,77	0	0
1001363	PB TRAV HOLLYWOOD S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0		5000	300	2	0	192	0	0	0	1	0	0	4	134	31,05	0	0
1002029	BASE P/COPOS S/DECOR 00PN	1	9	0	0	1	0	0	30/04/2018	12	900	1	0	1800	0	0	0	1	0	23	120	734	11,23	0	0
1002247	PR MARCADOR 32 ORGANIC S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	04/05/2018	16	300	2	0	199	1	0	0	1	0	3	16	88	30,53	0	0
1002248	PR SOPA ORGANIC S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0		5000	300	1	0	510	0	0	0	1	0	36	0	163	10,63	0	0
1003379	PIRES CARRE S/DECOR 02PN	1	4	0	0	1	0	0		5000	3700	2	0	1877	0	0	0	1	0	0	0	3300	10,02	0	0
1003396	PIRES CARRE S/DECOR 05PN	1	6	0	0	1	0	0		5000	7900	5	0	1616	0	0	0	1	0	222	20	7273	8,42	0	0
1003529	BAND P/CANECA CARRE S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0		5000	1200	3	0	526	0	0	0	1	0	0	22	988	13,48	0	0
1003752	TRAVESSA 42 DOMO S/DECOR 42PN	1	1	0	0	1	1	0		5000	300	2	0	210	0	1	0	1	0	0	8	163	28,90	0	0
1003776	TAÇA SOBREMESA TAP S/DECOR PN	1	6	0	0	1	0	0	02/05/2018	14	6500	4	0	1829	0	0	0	0	0	4	7225	5915	8,97	0	0
1003778	PRATO RECTANGULAR TAP S/DECOR PN	1	3	0	0	1	0	0		5000	6100	6	0	1064	0	0	0	1	0	13023	10489	5681	6,54	0	0
1003779	PRATO FRIO TAP S/DECOR PN	0	2	0	0	1	0	0	14/05/2018	26	3200	6	0	609	0	0	0	1	0	29	2919	2890	8,56	0	0
1003893	BAND RECT FUNDO 50 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1		5000	300	2	0	176	0	1	0	1	0	22	0	43	17,65	0	0
1004350	SALAD QUAD 21CM VIRTUAL S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0		5000	300	1	0	441	0	0	0	1	0	340	0	60	15,07	0	0
1004378	PR MARCADOR SILK ROAD S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	09/05/2018	21	600	3	0	258	0	1	0	1	0	2	15	391	33,18	0	0
1004382	TRAVESSA 41 SILK ROAD S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	02/05/2018	14	500	3	0	198	0	0	1	1	0	19	55	230	39,08	0	0
1004501	PRATO 40 DOMO S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0		5000	800	4	0	215	0	1	0	1	0	262	40	538	43,37	0	0
1004573	PRATO CHEF NATURA ABA BISCUIT	1	1	1	0	1	0	0	26/04/2018	8	500	3	0	224	0	0	0	1	0	0	89	314	27,31	0	0
1004584	PIRES CHA MATRIX ABA BISCUIT	1	2	1	0	1	0	0		5000	300	1	0	520	0	0	0	1	0	0	0	15	5,23	0	0
1004644	TIGELA ESPECIAL MEDIA 19 MARÉS S/DECORPN	1	2	0	0	1	1	0	04/05/2018	16	500	2	0	462	0	0	0	1	0	169	406	292	4,89	0	0
1004682	TRAVESSA OVAL 47 MARÉS S/DECOR/PN	1	1	0	0	0	1	0		5000	300	2	0	167	0	0	0	1	0	6	0	34	17,99	0	0
1004972	MOLDURA GRANDE CHICAGO BISCUIT	1	1	1	0	1	0	0		5000	300	2	0	210	0	0	0	1	0	171	0	15	25,00	0	0
1005074	TRAVESSA 34 RECOR TADA S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0		5000	300	3	0	143	0	0	0	1	0	129	0	51	18,26	0	0
1005315	TAÇA GRANDE BAIXA 20CM TRACE S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0	27/04/2018	9	500	2	0	294	0	0	0	1	1	3	128	270	21,84	0	0

1003987	PR MANTEIGA GOTAS 11X10 MULTIF S/DECOR PN	1	3	0	0	1	0	0	5000	600	5	0	138	0	0	0	1	0	34	0	76	4,16	0	0	
1005466	PRATO PÃO 18CM MATRIX ABA BISCUIT	1	4	1	0	1	0	0	5000	800	4	0	235	0	0	0	1	0	1	0	19	12,37	0	0	
1005866	CENTRO MESA 36CM CL S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0	5000	300	6	0	56	0	0	0	1	0	18	18	50	47,22	0	0	
1005868	PR APRES 21 CHUVINHA TEXTURE ABA BISC PN	1	1	1	0	1	0	0	5000	500	3	0	193	0	0	0	0	0	0	0	246	27,41	0	0	
1005869	PR APRES 18 CROCODILO TEXTURE ABA BISCPN	1	1	1	0	1	0	0	5000	1000	8	0	135	0	0	0	1	0	0	0	678	44,86	0	0	
1005870	PR APRES 15 CHUVA TEXTURE ABA BISC PN	1	1	1	0	1	0	0	5000	300	2	0	206	0	0	0	1	0	0	0	50	17,24	0	0	
1005871	PR APRES 11 ESCAMAS TEXTURE ABA BISC PN	1	1	1	0	1	0	0	5000	500	3	0	214	0	0	0	0	0	0	0	256	22,66	0	0	
1005893	PR CHEF SOBREMESA NATURA ABA BISCUIT	1	2	1	0	1	0	0	16/05/2018	28	700	5	0	163	0	0	0	1	0	0	37	436	42,96	0	0
1005963	TRAVESSA 35CM RHOMBE LYNGBY S/DECOR PN	0	1	0	0	1	1	0	11/07/2018	84	200	1	0	264	0	0	0	1	0	2224	2375	151	10,75	1	0
36000256	PSP SPF13 GRATIN RD013CM BRANCO TR	1	2	0	0	1	1	0	5000	500	1	0	646	0	0	0	1	0	775	0	340	3,50	0	0	
36000425	PKN KNR32 ASS.RECT. 32CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	14/06/2018	57	300	2	0	166	0	0	0	1	0	5	54	69	3,68	0	0
36000546	PGN GN1B 53,0X32,5X6,0CM BRANCO TR	1	1	0	0	1	0	0	29/04/2018	11	900	7	0	140	0	0	1	1	0	1	214	798	11,39	0	0
1001814	PB SAL. QUAD.021 COIMBRA 181/21	1	0	0	0	1	0	0	5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,97	0	1	
1006044	BANDEJA DIVISÓRIAS LOYALTY S/DECOR PN	0	0	0	0	1	1	1	5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,73	0	1	
1001812	PB SAL. QUAD.027 COIMBRA 181/27	1	0	0	0	1	0	0	5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69,03	0	1	
1000467	PB BAND CASCAIS QUAD S/DECOR 02PN	1	0	0	0	1	1	0	5000	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,07	0	1	
1003406	TAÇA CUBO S/DECOR PN	1	6	0	0	1	0	0	5000	500	1	0	1360	0	0	0	1	0	12	0	458	3,29	0	0	
1004000	PR ACEPIPES GOTAS MULTIF 24X12 S/DECOR PN	1	3	0	0	1	1	0	5000	600	1	0	632	0	0	0	1	0	0	0	80	4,10	0	0	
1004771	TRAVESSA XL CROWN S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	0	5000	300	2	0	171	0	0	1	1	0	10	0	15	61,27	0	0	
1000354	PB PR TARTE CANTÃO S/DECOR 01PN	1	1	0	0	1	0	0	5000	300	1	0	453	0	0	0	1	0	223	0	12	31,54	0	0	
1000486	PB BANDEJA BIBLIOTECAS/DECOR 00PN	1	1	0	0	1	0	0	5000	300	2	0	223	1	0	0	1	0	54	2	22	39,47	0	0	
1001562	PR SALAD 1/2 LUA LUNA S/DECOR 00PN	1	4	0	0	1	0	0	43220	12	800	2	0	480	0	0	0	1	0	51	73	140	5,50	0	0
1002045	TAMPA CINZEIRO AGUA 415 LUNA	1	4	0	0	1	0	0	5000	800	2	0	666	0	0	0	1	0	227	0	148	7,48	0	0	
1003892	SALADEIRA QUAD 37 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0	5000	300	2	0	169	0	0	0	1	0	29	0	21	44,33	0	0	
1004401	PR RECTANG 27 SILK ROAD S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0	5000	300	2	0	257	0	0	0	1	0	84	0	16	28,46	0	0	
1004582	PRATO FUNDO 28 MATRIX S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0	5000	300	2	0	262	0	0	0	1	0	506	258	57	30,49	0	0	
1004642	TIGELA OVAL GRANDE 27 MARÉS S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	43228	20	300	2	0	265	0	0	0	1	0	0	6	185	8,25	0	0
1004770	PR MARCADOR CROWN S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	5000	300	2	0	150	0	1	0	1	0	347	24	2	23,58	0	0	
1004852	PRATO FUNDO XL MODO S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	5000	300	3	0	140	0	1	0	1	0	6	0	43	79,41	0	0	
1004941	PRATO RASO OLIMPO S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	43222	14	300	2	0	261	0	0	0	1	0	52	94	95	51,82	0	0
36000520	PKN KNS9 RAMEQUIN 9 CM BRANCO TR	1	4	0	0	1	0	0	5000	800	2	0	498	0	0	0	1	0	63	0	22	5,26	0	0	
1004574	PRATO CHEF NATURA S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0	5000	300	2	0	240,406	0	0	0	1	0	372	0	53	30,55	0	0	
1004666	PR QUADRADO 29 MARÉS S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	43223	15	500	2	0	258,956	0	0	0	1	0	2	47	243	39,61	0	0
36000605	PGN GN4T TAMPA 176X162MM BRANCO TR	1	2	0	0	1	0	0	5000	300	8	0	37,7778	0	0	0	1	0	0	0	5	6,12	0	0	
1005027	TRAV RECORTEADA MOTT S/DECOR 00PN	1	2	0	0	1	0	0	5000	300	3	0	111	0	0	0	1	0	167	0	13	19,83	0	0	
36000096	P B B23 TRAV.GR.OV. 22CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	5000	300	1	0	357	0	0	0	1	0	5553	841	124	3,77	0	0	
36000240	PSP SPF21 GRATIN RD021CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	5000	500	2	0	280	0	0	0	1	0	4986	907	283	7,01	0	0	
1003527	TRAV 32 CARRE S/DECOR 32PN	1	2	0	0	0	0	1	5000	700	2	0	401	0	0	0	1	0	3205	476	564	15,28	0	0	
36000243	PSP SPF18 GRATIN RD018CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	5000	1100	3	0	390	0	0	0	1	0	4697	882	1029	3,99	0	0	

36000090	P B B23A TRAV.GR.OV.25CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1		5000	300	1	0	382	0	0	0	1	0	5921	234	139	4,16	0	0
1004005	TRAV OVAL MULTIF 29X18 S/DECOR PN	1	1	0	0	0	0	1		5000	500	3	0	191	0	0	0	1	0	890	56	251	10,32	0	0
36000237	PSP SPF24 GRATIN R0024CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1		5000	500	3	0	222	0	0	0	1	0	778	61	386	5,73	0	0
1001459	PB TRAV EUROPA 025 S/DECOR 00PN	1	2	0	0	0	0	1		5000	300	1	0	334	0	0	0	1	0	1599	103	97	7,53	0	0
1003887	SALADEIRA 28 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	43258	50	1500	8	0	188	0	0	0	1	0	769	774	1301	13,97	0	0
1001407	PB TRAV ESCORIAL 029 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1		5000	500	2	0	344	0	0	0	1	0	1370	38	231	8,67	0	0
36000039	P B B4 ASSAD. OVAL 24CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	43241	33	3200	10	0	337	0	0	0	1	0	4	1406	3027	3,38	0	0
1000220	PR MOLH SAGRES S/DECOR 00PN	1	2	0	0	1	0	0		5000	300	3	0	134	0	0	0	1		46	0	4	2,11	0	0
1000233	PB SALAD CANTÃO S/DECOR 01PN	1	1	0	0	1	1	0		5000	500	3	0	171	0	0	0	1		34	0	206	45,33	0	0
1001116	PB TRAV CANTÃO S/DECOR 06PN	0	1	0	0	1	1	0	43234	26	300	3	0	142	0	0	0	1		0	3	8	28,62	0	0
1001294	PB BANDEJA SERV FUMO S/DECOR 00PN	1	4	0	0	1	0	0		5000	800	5	0	164	0	0	0	1		181	0	174	68,55	0	0
1003700	PR TAPAS RECTANGULAR 21 S/DECOR PN	1	2	0	0	1	0	0		5000	300	2	0	184	0	0	0	1		1333	223	194	6,83	0	0
1003720	PR DEGUSTAÇÃO AZEITE CARRE S/DECOR PN	1	3	0	0	1	0	0		5000	600	3	0	218	0	0	0	1		61	0	483	11,03	0	0
1003777	PRATO QUENTE TAP S/DECOR PN	1	4	0	0	1	0	0		5000	1800	8	0	241	0	0	0	1		4455	0	1655	6,04	0	0
1004371	CENTRO MESA 40 LOOP S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0		5000	300	3	0	116	0	0	0	1		0	0	40	48,37	0	0
1004424	PRATO DIVISÓRIAS VIRTUAL S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0		5000	300	2	0	233	0	0	0	1		0	0	95	18,65	0	0
1004453	TRAV TAVARES S/DECOR 08PN	1	2	0	0	1	1	1		5000	300	3	0	123	0	0	0	1		140	0	160	22,59	0	0
1004473	PRATO 32,5 MATRIX ABA BISCUIT PN	0	1	1	0	1	0	0	43220	12	300	2	0	175	0	0	0	1		0	11	61	30,33	0	0
1004661	CENTRO MESA CORAL S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0		5000	300	3	0	102	0	0	0	1		0	0	45	25,23	0	0
1004720	PRATO MARCADOR PASEO BISCUIT/VIDRADO	1	1	1	0	1	0	0	43237	29	500	3	0	196	0	1	0	1		0	218	337	33,95	0	0
1005413	BOLEIRA ALMERE S/DECOR PN	1	1	0	0	1	1	0	43217	9	500	3	0	195	0	0	0	1		45	90	225	21,21	0	0
1005505	PB SALADEIRA MUSEU S/DECOR 02PN	1	1	0	0	1	1	0		5000	300	3	0	115	0	0	0	1		153	0	27	19,52	0	0
1005894	PR CHEF SOBREMESA NATURA S/ DECOR	1	2	0	0	1	0	0		5000	500	2	0	427	0	0	0	1		0	0	280	22,65	0	0
1005953	PR CHEF SOPA NATURA S/DECOR PN	1	1	0	0	1	0	0		5000	500	4	0	142	0	0	0	1		17	0	255	28,37	0	0
36000384	PKN KNO42 ASSAD . OV.42CM BRANCO TR	0	1	0	0	0	0	1	43270	62	300	3	0	113	0	0	0	1		7	60	53	42,98	0	0
36000565	PGN GN2T TAMPA 325X265MM BRANCO TR	1	1	0	0	1	0	0	43227	19	300	3	0	142	0	0	0	1		2	6	34	33,43	0	0
36000748	P OR ORS22 PRATO OVOS 22CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1		5000	300	3	0	125	0	0	0	1		3	0	7	17,53	0	0

Tabela E. 2 – Instância de referências extra e seus detalhes.

INSTÂNCIA DE REFERÊNCIAS EXTRA																		
REF.	DESIGNAÇÃO	TIPO (L-1; R-0)	CAVIDADES	BISCUIT	REF. DE LASTRA ?	MÁQUINAS			REF. REQUER PLACA 1	REF. REQUER PLACA 2	REF. REQUER PLACA 3	DISPONIBI- LIDADE MOLDE	UTILIZA LASTRA?	VENDAS	STOCK	VENDAS - STOCK	MÉDIA Nº PEÇAS/DIA	% REFUGO
						C	MD	R										
36000096	P B B23 TRAV.GR.OV. 22CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	18202	5553	12649	356	3,77
1004006	TRAV OVAL MULTIF 34X21 S/DECOR PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	14923	2410	12513	204	20,46
36000240	PSP SPF21 GRATIN RD021CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	12849	4986	7863	280	7,01
1003527	TRAV 32 CARRE S/DECOR 32PN	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	10234	3205	7029	401	15,28
36000243	PSP SPF18 GRATIN RD018CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	10667	4697	5970	390	3,99
36000090	P B B23A TRAV.GR.OV.25CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	11424	5921	5503	381	4,16
1004005	TRAV OVAL MULTIF 29X18 S/DECOR PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4835	890	3945	191	10,32
1001363	PB TRAV HOLLYWOOD S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2882	0	2882	197	30,56
36000237	PSP SPF24 GRATIN RD024CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3478	778	2700	222	5,73
1001459	PB TRAV EUROPA 025 S/DECOR 00PN	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4194	1599	2595	334	7,53
36000552	PGN GN2B 32,5X26,5X6,0CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	5076	2782	2294	188	9,43
36000559	PGN GN2A 32,5X26,5X10 CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	3325	1059	2266	173	14,55
1001494	TRAV NOVA S/DECOR 06N	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4021	1777	2244	188	19,87
1005163	TRAV EUROPA 025 "MARCA SP" S/DECOR 00PN	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2352	178	2174	305	6,05
1003791	TRAVESSA 35 DOMO S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2018	175	1843	205	28,23
1003887	SALADEIRA 28 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2562	769	1793	186	13,97
1001407	PB TRAV ESCORIAL 029 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2878	1370	1508	343	8,67
36000039	P B B4 ASSAD. OVAL 24CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1434	4	1430	337	3,38
1001409	PB TRAV EUROPA 033 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3603	2248	1355	189	11,04
36000050	P B B7 ASSAD.RECT. 31 CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	6349	5020	1329	195	6,93
36000085	P B B23B TRAV.GR.OV.28CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	6541	5296	1245	342	4,58
1001533	PB TRAV COIMBRA 28 S/DECOR 00PN	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2724	1483	1241	336	5,14
1004175	TRAV OVAL MULTIF 34X21 S/MARCAS/DECOR PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1911	688	1223	195	29,72
1003889	TIGELA 16 BUFFET S/DECOR PN	1	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2338	1199	1139	306	9,83
36000674	P LU LUO24 TRAV. OVAL 24X14CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1106	0	1106	290	4,34
1001462	PB TRAV COIMBRA 34 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1442	383	1059	183	7,56
1001408	PB TRAV ESCORIAL 033 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3494	2622	872	186	6,86
1000230	PB TRAV CANTÃO S/DECOR 08PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3204	2352	852	196	25,47
1004317	PRATO QUAD LISO 29X29 COUVERT S/DEC PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1500	743	757	222	19,51
1003880	BANDEJA RECT 50 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1103	427	676	200	17,02
1004007	TRAV OVAL MULTIF 39X24 S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3254	2582	672	195	18,36

36000057	P B B7A ASSAD.RECT. 26CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2467	1802	665	175	11,51
1001925	PB TRAV COIMBRA 25 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	905	279	626	337	6,20
1004703	PRATO SOLAR RECT 32 O!MOON S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2082	1457	625	214	25,98
36000082	P B B23C TRAV.GR.OV.32CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2609	2019	590	295	5,47
1003893	BAND RECT FUNDO 50 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	589	22	567	187	17,65
36000215	P L L14 TARTEIRA 012.5CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	563	20	543	320	2,14
1003890	BAND RECT FUNDA 35 BUFFET S/DECOR PN	1	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1088	577	511	370	8,94
1004002	TRAV FUNDA GOTA MULTIF 35X17 S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1368	898	470	186	35,67
36000029	P B B3 ASSADEIRA OV.31CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	951	551	400	173	12,01
36000579	PGN GN3A 32,5X17,6X10 CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1468	1068	400	186	10,46
36000572	PGN GN3B 32,5X17,6X5,5CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1229	847	382	185	6,31
1004344	TRAV RECT 30CM VIRTUAL S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1285	910	375	191	11,41
1004682	TRAVESSA OVAL 47 MARÉS S/DECOR/PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	369	6	363	184	20,13
36000200	P L L12 TARTEIRA 29 CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	625	266	359	140	5,70
1001536	TRAV 34 LUNA S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	853	578	275	191	18,76
1001538	TRAV 26 LUNA S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1005	757	248	158	8,76
1003989	TRAV OVAL 25X16 MULTIFORMA S/DECOR PN	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3537	3291	246	341	8,39
1003945	TRAV PEIXE GOTA MULTIFORMA S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	880	654	226	234	8,73
36000425	PKN KNR32 ASS.RECT. 32CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	211	5	206	166	3,58
1005345	TRAV OV MULTIF 29X18 S/MARCA S/DECOR PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	541	370	171	187	16,63
1001492	PB TRAV COIMBRA 40 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	448	302	146	204	15,23
1003876	SALADEIRA QUAD 27 BUFFET S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2677	2548	129	204	33,05
1004174	TRAV OVAL 25X16 MULTIFORMA S/MAR S/DECPN	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1310	1191	119	329	18,93
1001535	TRAV 40 LUNA S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	465	375	90	178	22,35
1004272	TRAV EUROPA 33 "MARCA SP " S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3618	3531	87	201	8,58
1004099	TRAV COIMBRA 28 "MARCA SP"	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	464	380	84	242	4,14
1004132	TRAV COIMBRA 25 H-LINE WH	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1452	1368	84	421	4,90
1004101	TRAV COIMBRA 40 "MARCA SP"	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	130	50	80	165	10,55
1004771	TRAVESSA XL CROWN S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	179	10	169	171	61,27
1004947	TABULEIRO FLAPPER S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	91	33	58	116	26,09
1004747	TRAVESSA GRANDE CROWN S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	366	315	51	196	21,61
1004305	BAND RECT 30X10 COUVERTS S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1056	1028	28	196	9,94
36000032	P B B2 ASSAD. OVAL 29CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1246	1244	2	173	6,52
1004304	BAND RECT C/ENC 30X10 COUVERT S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1668	1680	-12	200	8,93
36000748	P OR ORS22 PRATO OVOS 22CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	145	160	-15	125	8,97

36000675	P LU LUO48 TRAV. OVAL 48X27CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	120	141	-21	152	21,84
1001458	PB TRAV EUROPA 037 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2826	2877	-51	185	10,98
1000229	PB TRAV CANTÃO S/DECOR 06PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	930	990	-60	176	22,76
36000206	P L L11 TARTEIRA 0 26CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	473	551	-78	183	6,16
36000592	PGN GN4B 17,6X16,2X6,0CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	231	333	-102	285	4,01
36000750	P OR ORT29 TARTEIRA 29CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	52	154	-102	150	12,05
1004343	TRAV RECT 34CM VIRTUAL S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1910	2015	-105	243	11,78
36000105	P B BDI28 GRATIN DI.28CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	776	883	-107	169	4,79
1004665	TRAVESSA OVAL 42 MATRIX S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	56	171	-115	150	12,06
1004552	SALADEIRA 28 BUFFET S/MARCA S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	176	296	-120	204	8,98
1004606	PB TRAV TAVARES S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	100	230	-130	138	46,84
1001541	PB TRAV SPIRIT S/DECOR 08PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	875	1005	-130	172	8,26
1001540	PB TRAV SPIRIT S/DECOR 06PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	588	736	-148	241	23,58
36000062	P B B22 ASSA.QUADRA.23CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1316	1476	-160	247	5,01
1002281	TRAV 48 ORGANIC S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	410	574	-164	200	23,64
36000749	P OR ORS25 SOUFLE 25CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	25	198	-173	138	10,54
36000754	P OR ORR31 TRAV. RECT. 31CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	90	267	-177	145	5,24
1003899	TIGELA 19 BUFFET S/DECOR PN	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1443	1641	-198	338	10,42
36000418	PKN KNR39 ASS.RECT. 39CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	245	469	-224	171	11,43
1004677	TRAVESSA OVAL 40 MARÉS S/DECOR/PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	938	1190	-252	221	20,53
1001539	PB TRAV SPIRIT S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	450	745	-295	248	21,38
36000042	P B B0 ASSAD. OVAL 39CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	903	1223	-320	166	5,41
1001507	PB TRAV PORTO S/DECOR 06PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	245	569	-324	150	12,07
1005029	BANDEJA RECT 50 BUFFET S/MARCA S/DEC PN	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	283	611	-328	176	22,17
36000360	PDI OB7B ASSA. RECT.42CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	403	731	-328	151	9,17
1001537	TRAV 29 LUNA S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	830	1160	-330	200	19,06
1004551	TRAV OVAL MULTIF 39X24 S/MARC S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2371	2733	-362	226	21,45
1001398	PB TRAV COIMBRA 21 S/DECOR 00PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	116	490	-374	282	8,80
36000021	P B B1 ASSAD. OVAL 33CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	235	637	-402	161	6,90
36000672	P LU LUO35 TRAV. OVAL 41X15CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	121	524	-403	257	7,47
36000671	P LU LUO30 TRAV. OVAL 36X20CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	122	537	-415	232	11,17
1004098	TRAV COIMBRA 25 "MARCA SP"	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1109	1534	-425	312	5,46
1000206	PB TRAV SAGRES S/DECOR 04PN	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	212	667	-455	192	16,47
36000109	P B BSA23 SALADEIRA 23CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	33	536	-503	167	10,51
36000673	P LU LUO56 TRAV. OVAL 56X19CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	252	784	-532	200	9,62

1004100	TRAV COIMBRA 34 "MARCA SP"	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	734	1284	-550	176	6,31
1003877	SALADEIRA 22 BUFFET S/DECOR PN	1	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2464	3026	-562	336	5,72
36000045	P B B1A ASSAD. OVAL 36CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	629	1209	-580	176	7,11
36000060	P B B7C ASSA. RECT. 23CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	324	905	-581	328	8,68
36000103	P B BDI32 GRATIN DI.32CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1033	1616	-583	177	8,66
36000599	PGN GN4A 17,6X16,2X10 CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	358	953	-595	376	2,81
36000432	PKN KNR25 ASS.RECT. 26CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	118	803	-685	273	8,04
36000755	P OR ORR37 TRAV. RECT. 37CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	64	835	-771	180	8,80
36000751	P OR ORQ29 TRAV. QUAD. 29CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	86	865	-779	173	8,34
36000121	P B BSA14 SALADEIRA 14CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	200	1035	-835	241	4,23
1000207	PB TRAV SAGRES S/DECOR 06PN	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	508	1365	-857	180	6,38
1004704	PRATO SOLAR RECT FUNDO 32 O!MOON S/DECOR	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1271	2205	-934	207	9,30
36000752	P OR ORO28 TRAV. OVAL 28CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	43	1044	-1001	171	5,63
1004316	PRATO QUAD LISO 24X24 COUVERT S/DEC PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1660	2743	-1083	226	20,00
36000753	P OR ORO37 TRAV. OVAL 37CM BRANCO TR	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	97	1270	-1173	164	12,45
1005066	TRAV RECT 30CM VIRTUAL S/MARC S/DECOR PN	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	169	1450	-1281	210	18,78
36000069	P B B22A ASSAD.QUAD.16CM BRANCO TR	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2791	4278	-1487	336	4,40

**Tabela E. 3 – Associação entre as referências presentes nas instâncias, com requisição de lastras e as referências dessas.**

REFERÊNCIAS COM REQUISIÇÃO DE LASTRAS		
REFERÊNCIA	DESIGNAÇÃO	CÓDIGO DA LASTRA
1005316	TAÇA PEQ ALTA 13CM TRACE S/DECOR PN	58001988
1005315	TAÇA GRANDE BAIXA 20CM TRACE S/DECOR PN	58002055
1004661	CENTRO MESA CORAL S/DECOR PN	58001988

**Tabela E. 4 – Referências de lastras e seus detalhes.**

CARACTERIZAÇÃO DAS REFERÊNCIAS DE LASTRAS											
REF.	DESIGNAÇÃO	TIPO (L-1; R-0)	CAVIDADES MOLDE	BISCUIT	MÁQUINAS			MÉDIA Nº PEÇAS/DIA	DISPONIBILIDADE MOLDE	% REFUGO	URGENTE?
					C	MD	R				
58001988	CB LASTRA PLACA OCTOGONAL	1	0	0	0	0	1	430	1	0,00	1
58002055	CB LASTRA 23CM	1	0	0	0	0	1	430	1	0,00	1

## Anexo F Menu em *MATLAB* para Introdução dos Parâmetros de Entrada

```

Command Window
*****
Heurística Construtiva de Programação da Produção das Máquinas de Enchimento a Alta Pressão
*****
fx Insira o número de máquinas paralelas não relacionadas no sistema: 10|

Command Window
*****
A denominação da 1ª máquina do grupo das máquinas críticas é obrigatoriamente 1.
*****
Denomine numericamente a 1ª máquina do grupo das máquinas medianamente restritas: 5
fx Denomine numericamente a 1ª máquina do grupo das máquinas restritas: 7|

Command Window
*****
fx Insira o número máximo de setups por dia: 6|

Command Window
*****
fx Insira o número máximo de referências de lastras em processamento simultâneo: 1|

Command Window
*****
Insira o número mínimo para o total de cavidades, quando os cavaletes estão saturados: 11
fx Insira o número máximo para o total de cavidades, quando os cavaletes estão saturados: 13|

Command Window
*****
Insira o número mínimo para o total de cavidades, quando os cavaletes estão livres: 14
fx Insira o número máximo para o total de cavidades, quando os cavaletes estão livres: 18

Command Window
*****
Insira o número máximo permitido de referências que requerem placas refratárias: 2
fx Insira o número máximo (menor que o 1º introduzido) permitido de referências que requerem placas refratárias do tipo 3 (grandes): 1

Command Window
*****
fx Insira o número máximo de referências em biscuit em processamento simultâneo: 1|

Command Window
*****
fx Insira o número máximo de referências com requisição de lastras, em processamento simultâneo: 1

Command Window
*****
fx Insira o nome do ficheiro de Excel com a instância a analisar e sua extensão (.xls,.xlsx,...): Instancia_Grande.xlsx|

Command Window
*****
fx Insira o número da última linha da tabela de dados de referências do ficheiro de Excel: 100|

Command Window
*****
Insira 1 se o dia '18/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0
Insira 1 se o dia '19/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0
Insira 1 se o dia '20/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0
Insira 1 se o dia '21/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0
Insira 1 se o dia '22/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0
Insira 1 se o dia '23/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0
Insira 1 se o dia '24/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0
Insira 1 se o dia '25/04/2018' for feriado, 0 se não for: 1
fx Insira 1 se o dia '26/04/2018' for feriado, 0 se não for: 0

```

**Figura F. 1** – Menu de leitura dos dados inseridos pelo utilizador que desencadearão a compilação do programa heurístico em *MATLAB*.

**Anexo G** Tempos de Execução do Programa Heurístico

```
Command Window
Elapsed time is 285.366807 seconds.
Tempo de CPU total (em segundos): 9.468750e+00.
fx >>
```

**Figura G. 1** – Tempos medidos em relógio de parede e de CPU, para a instância pequena.

```
Command Window
Elapsed time is 293.121812 seconds.
Tempo de CPU total (em segundos): 1.690625e+01.
fx >>
```

**Figura G. 2** – Tempos medidos em relógio de parede e de CPU, para a instância grande.