



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

João Maria Lobo Machado Teixeira Mendes

**ANÁLISE E PROPOSTA DE MODELO PARA
PLANEAMENTO DA PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA DA
INJEÇÃO DE PLÁSTICOS**

Dissertação no âmbito do curso de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira e apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia, no Departamento de Engenharia Mecânica.

Julho de 2019



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Análise e proposta de modelo para planeamento da produção na indústria da injeção de plásticos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Analysis and proposal of a model for production planning in plastic injection industry

Autor

João Maria Lobo Machado Teixeira Mendes

Orientadores

**Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira
Engenheira Isabel Ramos**

Júri

Presidente	Professor Doutor Nuno Alberto Marques Mendes Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Cristóvão Silva
Vogais	Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira Investigador Auxiliar da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



OLI – Sistemas Sanitários S.A.

Coimbra, Julho, 2019

“There are four purposes of improvement: easier, better, faster, and cheaper”

Shigeo Shingo

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu agradecimento:

Em primeiro lugar quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio que me proporcionaram para poder chegar até aqui e por me terem ajudado a conseguir obter as condições necessárias para o sucesso académico.

Ao Professor Doutor Luís Miguel D. F. Ferreira pela orientação e apoio que me proporcionou, não apenas durante o período de execução deste trabalho de dissertação de mestrado, mas também ao longo de todo o percurso do curso.

Ao Professor Mestre Pedro Miguel F. Coelho pelo precioso apoio prestado na realização e implementação da simulação do modelo no Software *Simul8*.

A toda a equipa do Departamento de Planeamento Industrial da OLI – Sistemas Sanitários, S.A. e, em especial, à engenheira Isabel Ramos pelo incondicional apoio e pelo acesso aos recursos necessários à realização deste estudo e, conseqüentemente, do meu crescimento profissional.

A toda a comunidade OLI agradeço a simpatia, a atenção e a paciência que tiveram para comigo durante a realização deste estudo, bem como a amabilidade com que fui recebido na organização.

Um agradecimento especial à Dra. Maria José Rodrigues, do Departamento de Recursos Humanos pela oportunidade de poder trabalhar com esta grande organização e pela fantástica receção que me fizeram quando cheguei.

Por último, o meu agradecimento à cidade de Coimbra e à Universidade. Caros colegas, professores e amigos que conheci nesta magnífica cidade, o meu obrigado por me terem feito crescer tanto a nível pessoal como profissional.

Resumo

Este estudo teve como objetivo principal caracterizar e propor um modelo para automatizar o processo de planeamento de produção de materiais injetados que, atualmente, é realizado manualmente em quase toda a sua totalidade.

Foi efetuada uma análise ao processo de planeamento de produção de materiais injetados e a sua caracterização. O processo de planeamento de produção de materiais injetados não é mais do que um problema de loteamento e sequenciamento manual. Consiste, em primeiro lugar, com base nas encomendas dos clientes, na alocação das diferentes operações de fabrico às máquinas de injeção tendo em conta os vários constrangimentos que tipicamente se encontram na indústria de injeção de plásticos. Seguido do sequenciamento das várias operações por forma a minimizar o atraso das encomendas.

Após esta caracterização do processo do planeamento de produção de materiais injetados, e com base na mesma, apresenta-se a proposta de modelo para automatização do processo de planeamento de materiais injetados tendo em conta regras lógicas para um bom planeamento e o melhoramento da eficiência do mesmo sem comprometer as restrições específicas encontradas neste caso de estudo.

Foram ainda realizados testes ao modelo proposto por forma a avaliar os pontos fortes e os pontos fracos, e ainda, quais os aspetos a melhorar no futuro por forma a incorporar ao modelo cada vez mais funções envolvidas no planeamento.

Palavras-chave: Planeamento da produção, Indústria de injeção de plásticos, Automatização do planeamento de produção, Loteamento e sequenciamento

Abstract

The purpose of this study was to characterize and propose a model for the automation of the planning process of injected materials manufacturing which, nowadays, is performed manually.

An analysis and characterization of the process of planning the production of injected materials was made. This process is nothing more than a manual lot-sizing problem. It consists, firstly, based on customer orders, in the allocation of different manufacturing operations to the machines taking into account the various constraints typically found in the plastics injection industry. Secondly, it consists in sequencing the various operations in order to minimize the tardiness of the orders.

After characterizing the planning of the production of injected materials, and based on it, a proposal model for automation of the process of planning injected materials was presented considering logical rules for a good planning and to improve the efficiency of this task without compromising the specific restrictions of this case study.

Finally, tests were performed to the model with the objective of evaluating its pros and cons and consider the aspects to improve gradually in the future and, therefore, incorporate improvements to the model along the way according to the emerging new needs.

Keywords Production planning, Plastic Injection Industry, Lot-size scheduling, Production planning automatization.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
Siglas	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento e relevância do tema para a organização	1
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Estrutura.....	5
2. REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1. Planeamento da produção	7
2.2. Tipos de indústria e sequenciamento de ordens de fabrico.....	8
2.2.1. Máquina Única	12
2.2.2. Máquinas Paralelas	13
2.3. Sistemas e conceitos computacionais utilizados como ferramenta para o planeamento industrial.....	15
2.3.1. Material Requirements Planning – MRP	15
2.3.2. Demand Driven Material Requirements Planning - DDMRP	20
2.4. Planeamento na indústria de injeção de plásticos	25
3. CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE PLANEAMENTO DE MATERIAIS INJETADOS	27
3.1. Constrangimentos específicos a considerar neste caso de estudo.....	28
3.2. O sistema DDMRP na organização	29
3.3. Sequência lógica do aplicativo de consulta das necessidades do ERP	31
3.4. Verificação das necessidades reais	33
3.5. Alocação das referências às máquinas.....	34
3.6. Sequenciamento das ordens de fabrico às máquinas	34
3.7. Análise do acompanhamento do cumprimento do plano na produção	35
4. PROPOSTA DE MODELO PARA AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEAMENTO DE MOLDES	41
4.1. Estrutura do modelo proposto.....	42
4.1.1. Preparação da informação	43
4.1.2. Alocação dos moldes às máquinas	48
4.1.3. Sequenciamento dos trabalhos.....	53
4.2. Sequência simplificada do modelo	54
4.2.1. Preparação da informação	55
4.2.2. Alocação dos moldes às máquinas	55
4.2.3. Sequenciamento dos trabalhos.....	56
4.3. Requisitos necessários ao bom funcionamento do modelo proposto e pressupostos 56	
4.4. Testes ao modelo	57
4.4.1. Primeiro teste – muitas necessidades do sistema ERP	57
4.4.2. Segundo teste – poucas necessidades do sistema ERP.....	61

4.4.3. Simulação do modelo simplificado	63
4.4.4. Conclusões dos testes e aspetos a melhorar no futuro	66
5. CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A - Fluxograma do procedimento para execução do plano de mudança de moldes	73
APÊNDICE B - Diagrama de processo do aplicativo de consulta das necessidades do ERP	81
APÊNDICE C - Diagrama de processo do modelo proposto.....	85
APÊNDICE D - Versões dos moldes do exemplo do capítulo 4.2	109
APÊNDICE E - Versões dos moldes do exemplo do capítulo 4.2.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Gráfico do crescimento da organização face a anos anteriores.....	3
Figura 1.2 – Gráfico do Investimento da organização ao longo dos últimos anos.....	3
Figura 2.1 – Propósitos do sequenciamento	10
Figura 2.2 - Regras de sequenciamento	11
Figura 2.3 - Tipologias de chão de fábrica.	11
Figura 2.4 - Regras de sequenciamento típicas da tipologia de máquina única.	12
Figura 2.5 – Esquema de informação necessária ao MRP	16
Figura 2.6 - Principais objetivos do MRP	16
Figura 2.7 - Inputs básicos do MRP.	17
Figura 2.8 – Pilares do sistema DDMRP.....	20
Figura 2.9 - Make to Order & Make to Stock	21
Figura 2.10 - Efeito chicote com pontos de desacoplamento.	21
Figura 2.11 - Árvore de produto com e sem buffer.	22
Figura 2.12 - Perfil de buffer genérico.	22
Figura 2.13 - Exemplo de cálculo de dimensão de buffer.	23
Figura 2.14 - MRP vs. DDMRP	24
Figura 3.1 - Tipos de molde.....	28
Figura 3.2 - Exemplo do estado do sistema DDMRP para um determinado do momento.	29
Figura 3.3 - Captura de ecrã do aplicativo de necessidades.	32
Figura 3.4 - Necessidades de uma determinada referência num determinado momento. ...	33
Figura 3.5 - Diagrama Ishikawa para averiguação das causas de paragem das máquinas de injeção.	36
Figura 3.6 - Diagrama de Pareto do número e motivo de paragens.	38
Figura 3.7 - Diagrama de Pareto do tempo por motivo de paragens.	39
Figura 4.1 - Sequência simples do modelo da fase de preparação da informação.	55
Figura 4.2 - Sequência simples do modelo da fase de alocação dos moldes às máquinas. .	55
Figura 4.3 - Sequência simples do modelo da fase de sequenciamento dos trabalhos.....	56
Figura 4.4 - Diagrama de Gantt das máquinas de um dos sectores para o dia do primeiro teste.....	57

Figura 4.5 – Diagrama de Gantt do sequenciamento proposto pelo modelo para o primeiro teste.	60
Figura 4.6 Diagrama de Gantt de um dos sectores para o dia do segundo teste.	61
Figura 4.7 - Diagrama de Gantt do sequenciamento proposto pelo modelo para o segundo teste.	62
Figura 4.8 - Captura de Ecrã do modelo no Simul8.....	64
Figura 4.9 - Código de VisualLogic para alocação da tarefa na máquina menos carregada.	65

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Exemplo de resultados do aplicativo.	31
Tabela 4.1– Exemplo de consulta dos moldes em máquina	43
Tabela 4.2 – Exemplo de consulta das restantes referências de moldes em máquina	44
Tabela 4.3 - - Exemplo do acréscimo de dados de consulta da BD tal como data da necessidade e quantidade.....	44
Tabela 4.4 - Remoção dos códigos não necessários até 30 mar.	45
Tabela 4.5 - Exemplo das listagem de necessidades com informação completa das referências.	46
Tabela 4.6 - Exemplo da listagem final de todas as referências com necessidades.	47
Tabela 4.7 - Exemplo da análise dos moldes e versões das necessidades.	48
Tabela 4.8 – Exemplo da lista de moldes proveniente das necessidades.	49
Tabela 4.9 - Listagem de moldes e versões, quantidades a produzir, datas das necessidade, máquinas possíveis, matérias-primas, cadências, tempo de produção e IMA dos moldes necessários às necessidades do exemplo.	50
Tabela 4.10 – IFM inicial das máquinas solicitadas a partir da lista de moldes e versões..	50
Tabela 4.11 - Resultado da alocação das OF às máquinas	52
Tabela 4.12 - Mudanças de molde.....	53
Tabela 4.13 - Tabela de apuramento das necessidades do ERP até ao dia 30 Abril.	59
Tabela 4.14 - Resultdo da alocação do primeiro teste.....	60
Tabela 4.15 - Tabela de apuramento das necessidades do ERP até ao dia 5 Junho.	62
Tabela 4.16 - Resultado da alocação do segundo teste.....	62

SIGLAS

ADU – Average Daily Use (Utilização média diária)

BOM – Bill of Materials (Lista de materiais)

CR – Critical Ratio (Rácio crítico)

DD – Due Date(s) (Data(s) de entrega)

DDMRP – Demand Driven Material Requirements Planning

EDD – Earliest DD (Ordem crescente de data de entrega)

ERP – Enterprise Resource Planning

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

IMA – Índice de Máquina Alternativa

IFM – Índice de Flexibilidade de Máquina

MPS – Master Production Schedule (Plano mestre de produção)

MRP – Material Requirements Planning

MTO – Make To Order (Produção por encomenda)

MTS – Make To Stock (Produção para stock)

OEE – Overall Equipment Effectiveness (Eficiência Global do Equipamento)

OF – Ordem de Fabrico

RCT – Limite Inferior de Makespan

SPT – Shortest Processing Time (menor tempo de processamento)

UDIF – Última Data de Início de Fabrico

WIP – Work In Progress (Carga de trabalho em execução)

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se fazer um breve enquadramento ao trabalho desenvolvido no âmbito do estágio curricular do curso de mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Coimbra.

Faz-se ainda uma descrição da estrutura adotada neste documento e dá-se a conhecer a organização onde foi realizado o estágio curricular.

1.1. Enquadramento e relevância do tema para a organização

O trabalho desenvolvido nesta dissertação consistiu em analisar e propor um modelo mais consistente para o planeamento da produção de uma empresa industrial portuguesa que injeta componentes de plástico para a indústria sanitária. Parte dos componentes injetados por esta organização são, posteriormente, sujeitos a montagem criando o produto final.

A organização dispõe de 87 máquinas de injeção paralelas, idênticas e não idênticas. Nestas máquinas trabalham os mais de 1000 moldes que a organização tem neste momento. Consoante as características das máquinas os vários moldes são alocados às mesmas. De notar que, por características, se entende a tonelagem das máquinas, capacidade de injeção, dimensões, mas também os equipamentos de suporte ao equipamento tais como robôs, passadeiras, entre outros. Quanto à matéria-prima, as máquinas estão alocadas, por defeito, a uma matéria-prima. Porém, podem trabalhar com outras matérias-primas diferentes se for necessário.

A organização Oliveira & Irmão, S.A. foi fundada em 1954 como uma organização familiar de pequenas dimensões. Ao longo do tempo foi passando por várias áreas de negócio tendo começado na área da agricultura e em 1981 a organização direcionou a área de negócio para o setor dos sistemas sanitários e criou a primeira unidade fabril dedicada a produzir autoclismos.

Com o rápido crescimento, em 1993, a organização foi integrada ao Grupo Silmar, com sede em Itália, presente em quatro sectores de atividade – aquecimento, redes

de esgotos e água, metalização em plásticos e fundição em alumínio. Ainda nesse ano foi inaugurada uma filial da organização em Itália.

Mais recentemente, em 2007, a organização implementou o sistema de melhoria contínua e conseguiu aumentar produtividade em 30%, diminuir o trabalho em curso na mesma proporção (30%), diminuir o stock de produto final em 40% e diminuir os tempos de resposta também em 40%. A OLI chegou mesmo a ganhar o Prémio Kaizen na categoria “Excelência na Produtividade”.

A OLI tem vindo a crescer pelo seu elevado nível de inovação, quer ao nível de produtos como de design. Tem desenvolvido vários produtos mais sustentáveis como: a torneira de bóia silenciosa, inventou o sistema de dupla descarga, desenvolveu vários produtos com a parceria de arquitetos de renome, produtos que lhe têm atribuído vários prémios de design.

Em 2015, a OLI renova o seu laboratório de testes de vida e torna-o num laboratório de última geração onde são realizados todos os testes de qualidade necessários para validar os produtos e adquirir os certificados de qualidade. Nestes laboratórios são desenvolvidos novos projetos e realizadas experiências para o desenvolvimento de produtos inovadores, sempre de olhos postos nas necessidades futuras.

No ano seguinte, a OLI abre uma filial na Alemanha que tem funções da área comercial e, constrói uma nova fábrica para a OLI Moldes que permite duplicar a capacidade de produção e a qualidade dos moldes que fabrica para indústrias hidro-sanitárias e automóvel em todo o mundo.

Atualmente a OLI tem uma área total de 82 mil metros quadrados, com cerca de 400 trabalhadores, e controla toda a cadeia de valor desde a ideia, industrialização, produção até há comercialização. A organização é reconhecida pelo design contemporâneo e pelas novas tecnologias e novos materiais, é detentora de 45 patentes, com o foco na eficiência hídrica e no respeito pelo meio ambiente. A faturação do ano passado ficou na ordem dos 56.3 milhões de Euros sendo que produz 2 milhões de autoclismos e 2.8 milhões de mecanismos anualmente. É atualmente um dos maiores produtores de mecanismos para a indústria cerâmica e de mecanismo interiores da Europa (OLI, 2019).

A atividade industrial tem crescido na ordem dos 5/10% ao ano, todos os anos. Por outras palavras, o investimento em novos produtos, com consequente aumento em moldes, e na atividade industrial tem sido avultado. Esta informação pode ser confirmada

nos relatórios de contas da organização e torna-se de mais fácil perceção analisando os gráficos das figuras 1.1 e 1.2 relativos ao crescimento da organização nos vários sectores e ao valor investido pelos vários sectores respetivamente. (OLI, 2019; OLI, 2018; OLI, 2017; OLI, 2016)

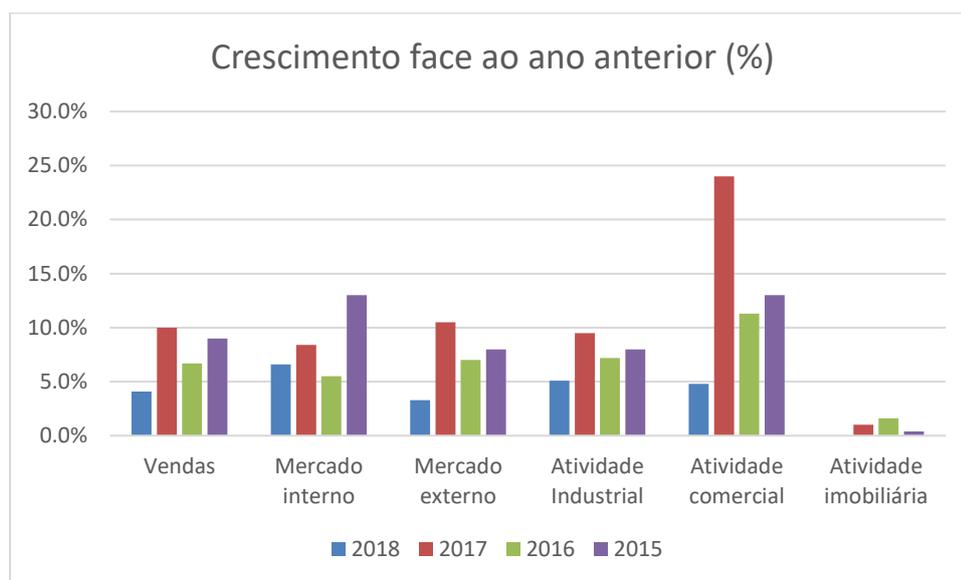


Figura 1.1 – Gráfico do crescimento da organização face a anos anteriores

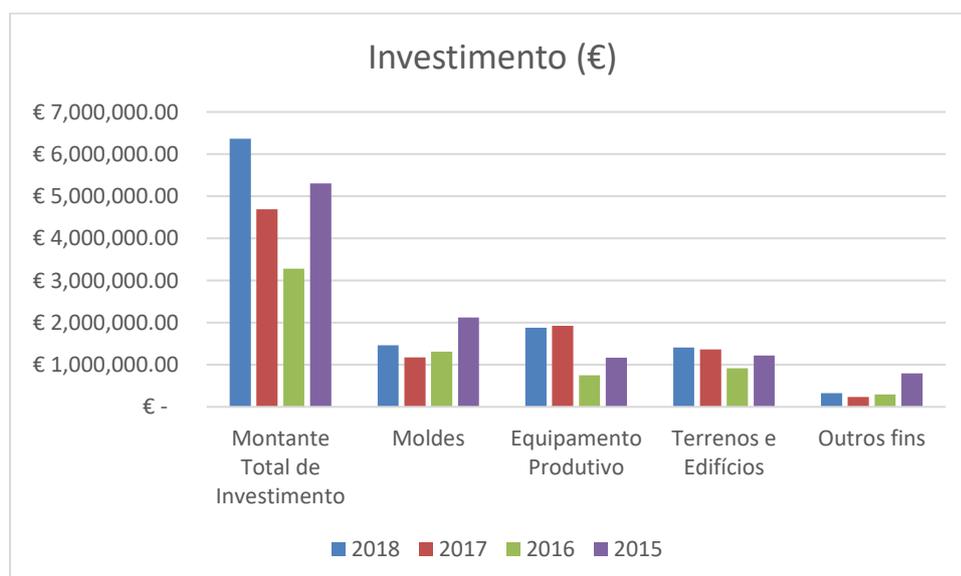


Figura 1.2 – Gráfico do Investimento da organização ao longo dos últimos anos

Torna-se claro que o número de moldes e máquinas têm vindo a aumentar ao longo do tempo o que torna o processo do planeamento industrial cada vez mais complexo.

1.2. Objetivos

Atualmente o processo de planeamento dos injetados é executado de forma manual. A gestão do parque de máquinas está distribuída por dois planeadores que executam o plano diário de mudança de moldes. O exercício e a lógica associada são sempre os mesmos. No fundo, trata-se de um grande exercício de loteamento e sequenciamento executado diariamente, quase na íntegra, de forma manual.

O processo é moroso, cansativo, exige muita concentração e, acima de tudo, pouco fiável do ponto de vista da uniformidade de tomada de decisão. O rápido crescimento da organização trouxe a necessidade de alterar a forma como o planeamento é executado e melhorar o mesmo. Para tal, foi necessário criar regras claras de procedimento do planeamento, executar um plano de automatização do mesmo sendo que essas regras têm conta objetivos específicos como minimizar os atrasos e controlar o número de mudança de moldes.

Em conclusão, neste momento são necessárias 16 horas.homem diárias para a execução desta tarefa. Tratando-se de uma tarefa repetitiva, em termos lógicos, é um processo passível de caracterizar e, através de sequências lógicas obter a informação, do sistema ERP, necessária ao planeamento, e executar esse mesmo plano de mudança de moldes informaticamente.

O trabalho desta dissertação consiste na caracterização deste processo do planeamento de produção de injetados, e na análise e proposta de um modelo de planeamento, que mais tarde possa vir a ser implementado informaticamente, capaz de propor soluções admissíveis.

1.3. Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos principais:

No capítulo 1 podemos encontrar a introdução, onde é realizado um breve enquadramento do tema e a relevância deste estudo para a organização. Neste capítulo também são apresentados os objetivos deste trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura do tema em estudo, o planeamento da produção. Primeiramente são dadas noções básicas sobre o tema; de seguida faz-se referência a algumas regras de sequenciamento mais utilizadas na indústria; logo depois faz-se um apanhado das ferramentas computacionais que dão apoio ao planeamento da produção dando especial atenção aquelas que são utilizadas na organização; e, finalmente, termina-se fazendo um apanhado de situações de planeamento da produção documentados e estudados específicos desta indústria da injeção de plásticos.

No capítulo 3 é realizada uma análise há forma de como atualmente é executado o planeamento da produção na organização em questão. Tentou-se perceber todas as etapas da realização do planeamento de injetados, pressupostos e os indicadores que levam à tomada de decisão dos trabalhos que são definidos para produção no plano diário de mudança de moldes.

No capítulo 4 propõe-se um modelo para a automatização do processo de execução do plano diário de mudança de moldes e apresentam-se as suas vantagens e limitações para a organização.

Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões do estudo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo pretende-se realizar um enquadramento teórico aos conceitos utilizados no decorrer do estágio. A primeira abordagem será relativa ao tema do planeamento industrial seguido de uma introdução a regras de sequenciamento e tipos de layout. De seguida, uma breve referência aos sistemas e conceitos computacionais mais utilizados como ferramenta de apoio ao planeamento e, finalmente, o foco no planeamento da indústria de injeção de plásticos.

2.1. Planeamento da produção

Drexel e Kimms (1996) argumentam que o planeamento é um dos trabalhos mais desafiadoras no ramo da gestão industrial. Sule, em 2007, afirma que uma boa implementação de técnicas adequadas de planeamento resulta na redução de custos de produção e de gestão de inventário. Os clientes ficam mais satisfeitos pela melhor capacidade de resposta e resulta um melhor planeamento e controlo de produção.

O planeamento da produção determina o quê, quando e em que quantidade produzir para satisfazer as necessidades dos clientes, e qual a melhor forma de planear quando não é possível satisfazer a necessidade do cliente por forma a minimizar os custos associados ao não cumprimento (Sule, 2007).

Hopp e Spearman (2011) acrescentam que o planeamento visa conseguir entregar o produto sem atraso, minimizar o trabalho em chão de fábrica, diminuir os lead-times dos produtos e maximizar a utilização dos recursos. Contudo, é muito mais simples cumprir as datas de entrega dos produtos se a taxa de utilização dos recursos for menor.

Quanto mais sobrecarregado estiverem os recursos e, conseqüentemente, maior for a taxa de utilização, menor será a probabilidade de cumprir o fabrico de todos os produtos para as respetivas datas de entrega (Due Dates - DD). Da mesma forma quanto maior for o nível de stock de produto final disponível, menor será o lead-time para o cliente, podendo mesmo ser nulo. Porém, os custos de stocks irão aumentar.

Portanto, apesar de um dos objetivos principais e comum qualquer planeamento ser o cumprimento das datas de entrega o desafio do planeamento industrial é obter um equilíbrio rentável entre estes vários objetivos conflituosos, as DD são um deles.

Num modelo de produção por encomenda (Make To Order - MTO) são as DD provenientes dos produtos encomendados por clientes que definem todas as restantes datas. Como será abordado na secção 2.3, a partir destas DD despoletadas pelas encomendas dos clientes irão ser explodidas as necessidades de todos os produtos e subprodutos necessários com base nos ficheiros de árvore de produto. Desta forma são definidas todas as necessidades para todas as peças de níveis inferiores.

Já num modelo de produção para stock (Make to Stock - MTS) todas as encomendas feitas por clientes são satisfeitas de imediato. Quando o nível de stock baixa, devido ao consumo, esta diminuição do nível do stock que despoleta necessidades de fabrico no sistema. De igual modo, esta necessidade que surgiu dos produtos finais irá gerar as necessidades para as peças de níveis inferiores (Hopp e Spearman, 2011).

2.2. Tipos de indústria e sequenciamento de ordens de fabrico

O sequenciamento é a alocação de recursos ao longo do tempo por forma a realizar determinadas tarefas no prazo para as quais foram destinadas e tem como objetivo cumprir prazos definidos pelos clientes, ou mesmo, atingir metas de stock definidos. O sequenciamento de tarefas é crítico para o sucesso de uma organização, contudo, facilmente se pode transformar numa tarefa muito complicada.

O sequenciamento afeta a atribuição de uma tarefa a uma determinada máquina, o tempo que essa tarefa leva a ser realizada, a alocação de recursos (pessoas, matérias-primas) e o sequenciamento temporal das tarefas. Normalmente é ainda necessário um controlo para avaliar os desvios ao sequenciamento definido no plano inicial.

O sequenciamento tem bastante influência na avaliação do desempenho produtivo de uma organização, pelo que o procedimento de sequenciamento deve ir de encontro aos objetivos de desempenho definidos pela própria organização. Abaixo indica-se uma listagem dos indicadores, tipicamente utilizados nas organizações, que são diretamente afetados pela tarefa do sequenciamento: (Hopp e Spearman, 2011)

- Utilização dos recursos
 - ✓ Makespan – tempo total necessário para processar todas as OF (ordens de Fabrico) (minimizar);
 - ✓ Utilização: é a percentagem de tempo que uma máquina ou recurso esteve a trabalhar, ou seja, efetivamente a produzir (maximizar);

- Cumprimento dos prazos de entrega
 - ✓ OF concluídas após a data de entrega (minimizar);
 - ✓ Past Due – mede a percentagem do tempo de atraso (minimizar);

- Nível de stock intermédio
 - ✓ WIP Inventory – qualquer stock em chão de fábrica a aguardar por processamento ou a ser processado. Os Buffers são um exemplo disso e stock é dinheiro parado (minimizar);
 - ✓ Stock total – é a soma do stock que existe fisicamente na organização e o material já encomendado.

Os objetivos do sequenciamento são fazer o melhor uso possível dos equipamentos e recursos disponíveis, aumentar lucros, aumentar capacidade e aumentar o nível de serviço. Neste sentido esta tarefa é, como referido anteriormente, de extrema importância para a competitividade da organização.

Sequenciamento é uma tarefa que tem vários propósitos importantes, como pode ser consultado na figura 2.1:

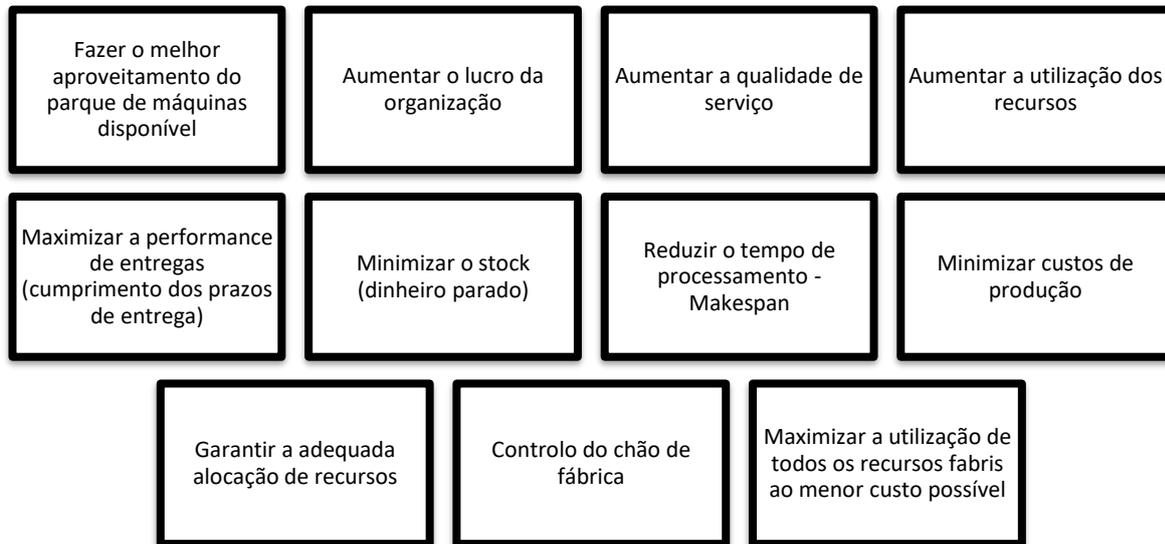


Figura 2.1 – Propósitos do sequenciamento

Todos contribuem para a determinação da sequência dos trabalhos. Também o controlo do plano definido no sequenciamento é importante para poder reagir a desvios do mesmo.

Na figura 2.2, são apresentadas algumas das regras de sequenciamento básicas utilizadas em várias tipologias de indústria.

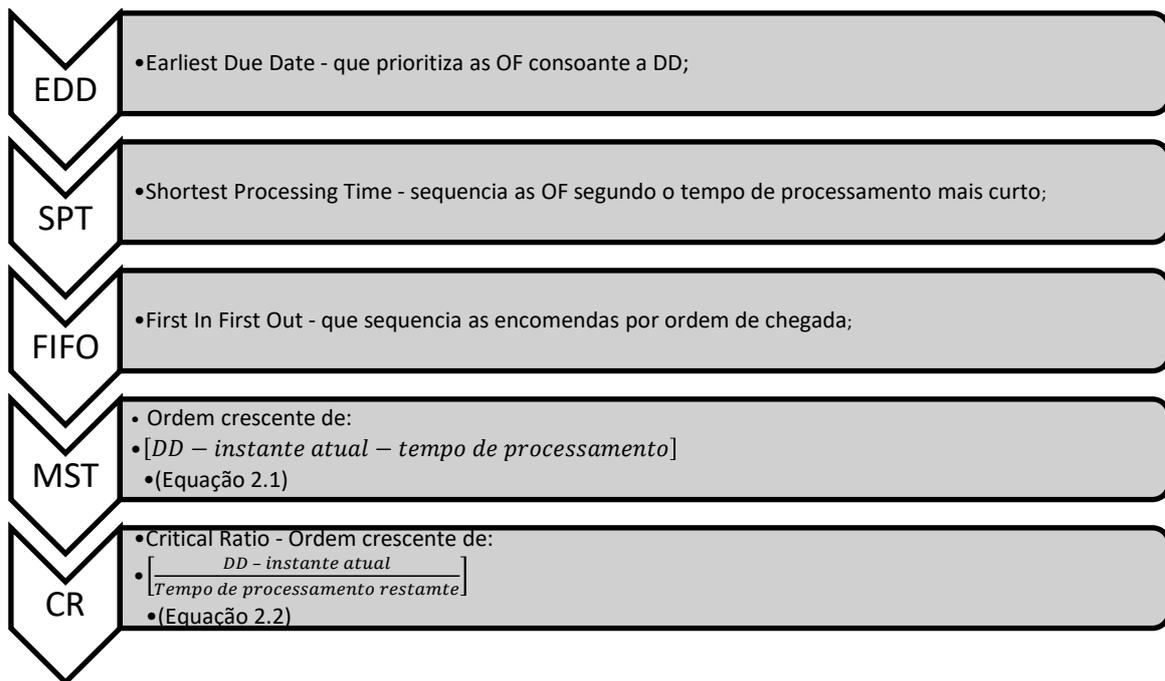


Figura 2.2 - Regras de sequenciamento

As regras de sequenciamento variam consoante a tipologia do chão de fábrica em questão. Consoante essa tipologia, e de acordo com Hopp e Spearman (2011), existem as seguintes categorias (figura 2.3):

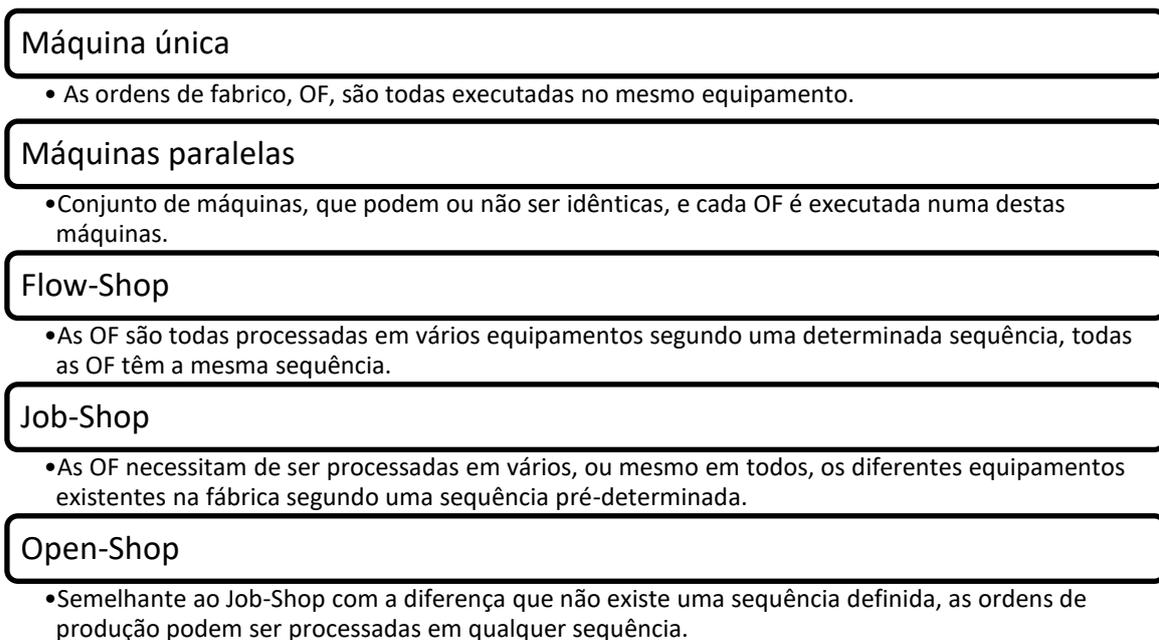


Figura 2.3 - Tipologias de chão de fábrica.

É importante definir uma certa disciplina aquando do sequenciamento das tarefas. Esta disciplina é normalmente implementada através de uma regra de sequenciamento (Harrison e Petty, 2002).

Consoante a tipologia de chão de fábrica são mais adequadas determinadas regras em detrimento de outras.

Para o efeito deste trabalho apenas se focou nas tipologias de máquina única e máquinas paralelas. Pois são os casos que se adaptam à organização deste estudo.

2.2.1. Máquina Única

As regras de sequenciamento aplicáveis à tipologia de máquina única são as que se encontram na figura 2.4 abaixo:

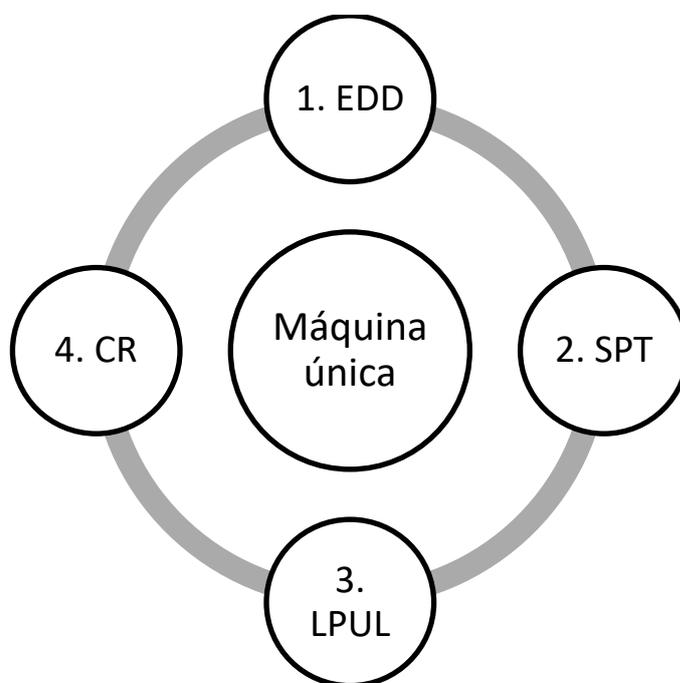


Figura 2.4 - Regras de sequenciamento típicas da tipologia de máquina única.

1. EDD que prioriza as OF consoante a DD;
2. SPT sequencia as OF segundo o tempo de processamento mais curto;
3. LPUL - Sequência das OF pela menor penalidade por unidade de tempo por ordem decrescente. Esta penalidade é obtida pela divisão da prioridade definida para essa OF pelo tempo de processamento da mesma. Esta regra implica dar um código de priorização a cada OF.

4. Rácio Crítico, CR, é uma regra que implica a obtenção do somatório de todos os tempos de ciclo, T, que foram sequenciados e calcula-se $Cri=(Di-T)/Pi$ e depois faz-se a sequência por ordem crescente de CR.

Para evitar casos de empate pode fazer-se a combinação de várias regras de sequenciamento. Por exemplo, podem utilizar-se a regra 2) SPT e desempatar com 3) Sequência das OF pela menor penalidade por unidade de tempo por ordem decrescente.

Existem outras regras e também algumas heurísticas mais completas para o sequenciamento de máquinas únicas, que não será aprofundado neste documento.

Para este trabalho de dissertação, em concreto, estas regras de máquina única poderão vir a ser aplicadas para definir a sequência dos trabalhos em cada máquina depois de se ter alocado as várias tarefas às diferentes máquinas (Stevenson, 2015)

2.2.2. Máquinas Paralelas

Na tipologia de máquinas paralelas as várias OF estão distribuídas por várias máquinas idênticas o que permite uma redução considerável do makespan. Uma das regras de sequenciamento desta tipologia é precisamente a minimização do Makespan. O primeiro passo é ordenar as OF por ordem decrescente dos seus tempos de processamento. De seguida, calcula-se o limite inferior para o Makespan, RCT, que é a divisão do somatório dos tempos de processamento pelo número de máquinas. Por fim aloca-se as OF a uma das máquinas, segundo a ordem obtida no primeiro passo até que a soma dos tempos de processamento alocadas à máquina em questão seja igual ao limite calculado no passo anterior. As restantes OF passam para a máquina seguinte.

Ter em conta que se a última OF ultrapassar o RCT, então essa deve também ser alocada para a máquina seguinte. Caso o RCT seja ultrapassado em todas as máquinas a OF deve ser colocada na máquina que tiver menos carregada.

Outra regra utilizada nesta tipologia tem a ver com as datas de entrega. O objetivo é minimizar a penalidade relativa ao atraso no processamento das OF. Primeiro calcula-se o RCT, de seguida dividem-se as OF por prioridade e em cada uma das listas ordenam-se as OF por ordem decrescente das DD. Seleciona-se o número de OF correspondente ao número de equipamentos em cada uma das listas geradas no passo anterior começando pelas primeiras tarefas quando ordenadas de forma ascendente de DD. Calcula-se a

penalidade associada à alocação de cada OF a cada uma das máquinas. Seleciona-se a combinação, testada anteriormente, que minimiza a penalidade, atribuem-se as OF selecionadas às máquinas e recalcula-se o RCT. Repete-se o procedimento desde a seleção do número de OF correspondente ao número de equipamentos em cada uma das listas até alocar todas as tarefas. Caso alguma OF transgrida o RCT esta deve ser colocada no início da sequência de cada uma das máquinas e deve ser aplicada a lógica abaixo a cada uma delas, e opta-se pela que tiver uma menor penalidade.

i - corresponde ao intervalo entre duas OF;

j - número da OF;

N - Número total de OF;

1. $i = N - 1$;
2. Primeiro o número da OF passa a ser $j + 1$;
3. De seguida, troca-se a OF da posição j a OF da posição $j - i$. (se $j - i$ for menor ou igual a 0 (zero) passa-se ao ponto 6). Verifica-se se há melhoria para o critério de desempenho;
4. Se a sequência obtida no ponto 3 melhorar ou mantiver o desempenho, deve seguir-se para o ponto 5; senão rejeita-se a alteração. $j = j + 1$. Se j for menor ou igual a N deve seguir-se para o ponto 3; senão deve seguir-se para o ponto 6;
5. Volta-se ao ponto 1;
6. i perde uma unidade;
7. Se $i > 0$ deve voltar-se para o passo 2, ou seguir para o passo 7 caso contrário;
8. Fim da lógica.

Quando as máquinas paralelas não são idênticas, as OF têm tempos de processamento diferentes nas diferentes máquinas. Primeiro calcula-se o somatório dos tempos de processamento de todas as OF, assumindo que são todas alocadas à máquina mais eficiente, TT1. O passo seguinte passa por trocar a máquina das OF, por ordem decrescente dos seus tempos de processamento, para as restantes máquinas. Volta-se a

calcular TT1 e TTi e alocam-se as OF nas máquinas com menor TTi. Compara-se o novo makespan obtido com anterior e se novo for inferior aceita-se.

(Hopp e Spearman, 2011)

2.3. Sistemas e conceitos computacionais utilizados como ferramenta para o planeamento industrial

2.3.1. Material Requirements Planning – MRP

Segundo Plak e Smith (2016), o Material Requirements Planning, MRP, é um método e ferramenta de planeamento industrial utilizado por muitas médias e grandes organizações espalhadas pelo mundo.

O MRP é um método de planeamento conhecido e utilizado mundialmente que foi desenvolvido na década de 70 por Joe Orlicky. Para a sua implementação este método necessita das previsões da procura, da informação das encomendas externas, dos ficheiros da árvore de produto, da informação sobre o inventário disponível e da informação do estado execução de produção. Com essa informação o método planeia todas as necessidades de fabrico. É um sistema Push que, através dos sistemas computacionais, é capaz de executar os cálculos complexos de forma rápida. Estes cálculos permitem saber o que produzir ou encomendar, quando produzir ou encomendar e em que quantidade. Quanto maior for a complexidade dos produtos maior é a eficiência do sistema, pois permite fazer cálculos complexos de forma rápida através de um computador. Na figura 2.5 está o esquema da informação necessária à execução do sistema MRP.

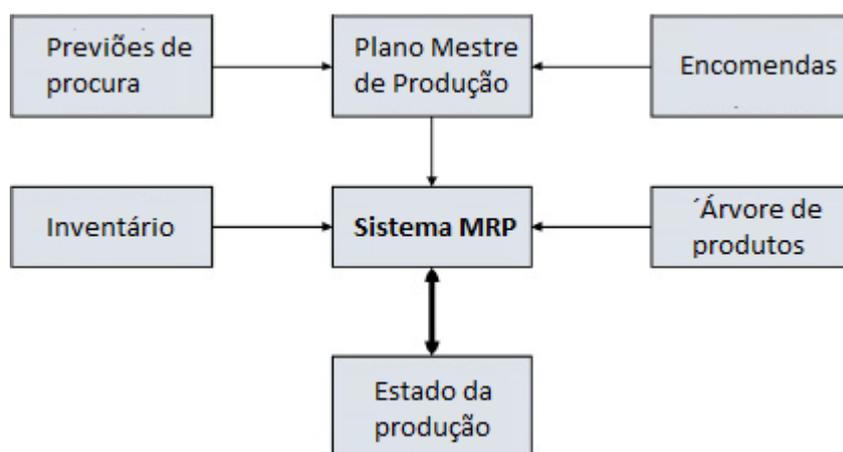


Figura 2.5 – Esquema de informação necessária ao MRP

Em 1980 foi percebida a importância dos custos operacionais e de inventário e incorporado no sistema MRP. Surgiu o Manufacturing Resources Planning, MRP II e em 1990 este sistema já era incorporado nos sistemas ERP, Enterprise Resource Planning, utilizado pela maioria das organizações.

O MRP é aplicável em várias situações de peças com vários componentes montados desde que tenha listas de materiais. O MRP não é útil para job-shops ou para processos contínuos que estão intimamente ligados.

Na figura 2.6 estão os principais objetivos de um sistema MRP são:

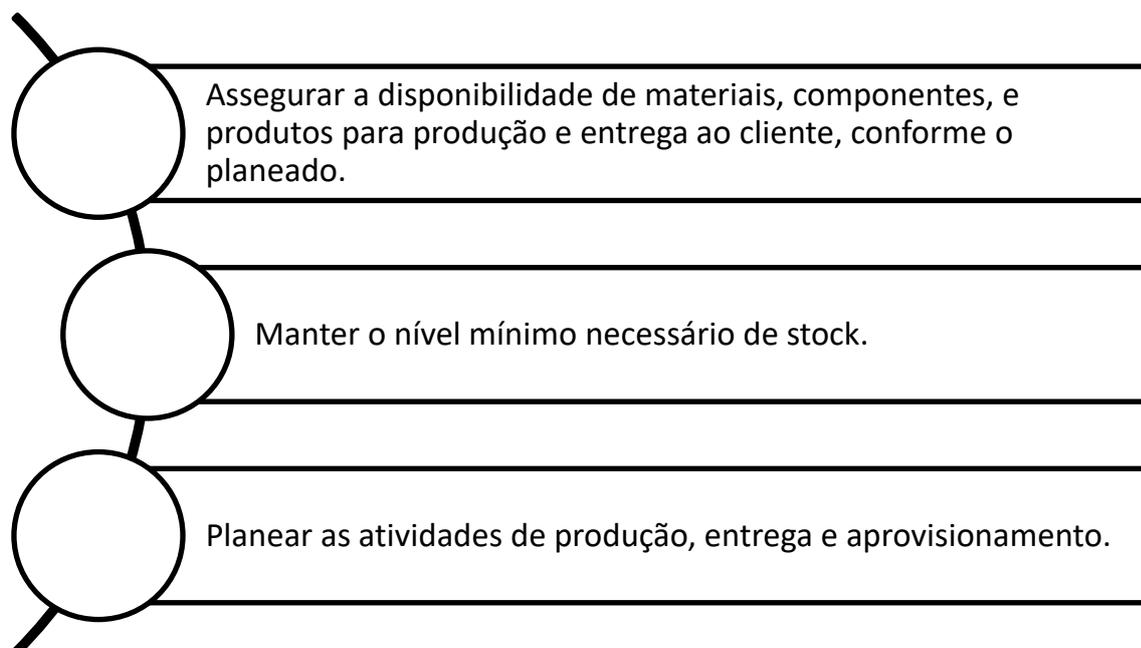


Figura 2.6 - Principais objetivos do MRP

Ainda segundo os autores Plak e Smith (2016), o MRP é especialmente adequado para configurações de fabricação onde a procura da maioria dos componentes e subconjuntos dependem da procura de componente provenientes de procuras externas. Em contraste, a procura por componentes usados para fabricar produtos finais depende da procura dos próprios produtos finais. Aqui faz-se a distinção de procura dependente e procura independente. A primeira provém da procura dos produtos acabados enquanto a segunda provém diretamente do cliente. Os sistemas MRP foram desenvolvidos para lidar melhor com itens de procura dependente.

O sistema MRP precisa de três inputs que estão representados na figura 2.7

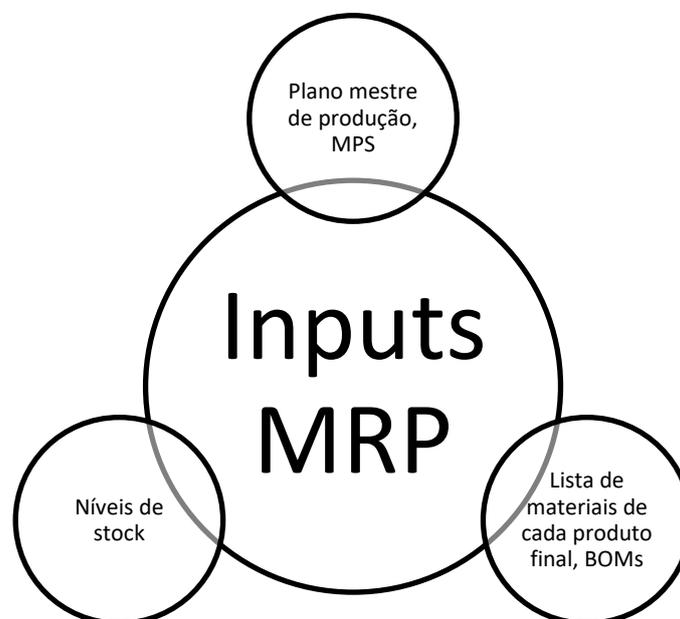


Figura 2.7 - Inputs básicos do MRP.

Sem algum destes inputs básicos o MRP não funciona.

O plano mestre de produção (Master Production Schedule, MPS) é criado a partir de previsões e encomendas de clientes para produtos finais. O MRP pega nesta informação e devolve os requisitos necessários de cada componente individual temporalmente no calendário, tendo em conta os lead-times de fabrico e montagem até chegar ao produto final.

A lista de material, (Bill of Materials, BOM), tem a informação de cada componente ou montagem necessária para produzir o produto final. Para cada produto

final, tem a informação de cada componente necessário, nomeadamente, a referência do componente, a sua descrição, a quantidade necessária por montagem, a próxima montagem de nível hierárquico superior, quantidade de componentes e lead-times.

Os níveis de stock incluem as quantidades de cada componente em stock, incluído stock real e em trânsito e esta informação tem de estar sempre atualizada.

Em suma, o MRP, através do MPS e das BOMs, calcula as necessidades (quantidades e data de calendário) de cada componente. Posteriormente, a estas necessidades brutas vão ser reduzidas a necessidades líquidas tendo em conta o stock existente.

2.3.1.1. Inconvenientes do MRP

O propósito de um sistema de planeamento é determinar o tempo, a quantidade e a sincronização conjunta das ordens de fornecimento entre todos os níveis da rede de produtos e subprodutos. Contudo, é muito comum os utilizadores destes sistemas exportarem os dados do sistema MRP para folhas de cálculo, para posteriormente as manipular e organizar de forma a tornar o plano mais conveniente. Estas alterações são introduzidas manualmente no sistema (Plak e Smith, 2016).

2.3.1.1.1. MRP e a incerteza - Um sistema nervoso

O MRP não lida bem com a incerteza, assume que os dados que utiliza são os corretos. Na procura são utilizadas previsões. Sendo previsões, os erros podem ser maiores ou menores mas há sempre erros. No que toca ao abastecimento de componentes, o MRP não tem em conta o rendimento, se precisa naquela data de determinada quantidade de componentes, assume que os terá disponíveis. Também no que toca ao Lead-Time, o MRP não é flexível nem prevê atrasos ou, eventualmente, antecipações. Portanto, habitualmente, para contornar este problema, as organizações inflacionam os leadtimes dos componentes e alteram prioridades de ordens de fabrico, OF. Outra forma de combater a falta de flexibilidade do MRP há incerteza é criar stocks de produto acabado e buffers em operações de bottleneck (Vollmann et al., 1992).

Os dados mudam várias vezes ao longo do dia. À medida que os pedidos dos clientes se consolidam, as previsões tornam-se mais eficazes, um novo MPS é alimentado para o MRP, o sistema lança então novas OF atualizadas que podem variar muito face ao

que estava definido na versão anterior. Mesmo que a nova versão de MPS tenha pequenas modificações face à versão anterior, podem resultar grandes alterações nas OF (Vollmann et al., 1992).

O MRP assume os dados como corretos. Sempre que é feita alguma alteração de dados no sistema, o resultado é diferente. O que o planeador aprovar agora, já não estará correto no dia seguinte. O MRP está constante e dramaticamente a alterar o cenário, e o facto de cada planeador utilizar folhas de cálculo para ajustes do planeamento faz com que essas mesmas folhas sejam de carácter muito personalizado e de difícil compreensão por outra pessoa que necessite da informação. Esta situação faz com que a tarefa do planeamento e a sua eficiência nas mãos de poucos colaboradores que não podem ser substituídos, seja por motivo de promoção, doença ou férias sem graves consequências para a organização (Plak e Smith, 2016).

2.3.1.1.2. Capacidade

O MRP assume que o lead-time de cada componente é sempre constante independentemente da carga de trabalho em execução (work in progress - WIP). O MRP assume capacidade infinita o que causará problemas quando o WIP estiver próximo ou mesmo ao nível da capacidade máxima. Uma forma de contornar este inconveniente é garantir que o MPS tem em conta a capacidade do sistema fabril.

Os sistemas de MRP mais avançados têm a informação sobre a capacidade mais detalhada e permitem analisar a capacidade e propor alternativas de sequenciamento para estas situações de ultrapassagem da capacidade instalada (Vollmann et al., 1992).

2.3.1.1.3. Lead-times longos

Como já mencionado anteriormente, inflacionar lead-times para combater a incapacidade do MRP lidar com a incerteza é prática comum. O MRP assume lead-times fixos, quando na realidade os lead-times são variáveis, e por veze consideráveis. Para compensar os planeadores tipicamente escolhem sempre p

revisões pessimistas para realizar as suas tarefas, o que acontece é que o MRP aumenta o inventário WIP (Vollmann et al., 1992).

2.3.2. Demand Driven Material Requirements Planning - DDMRP

O DDMRP é um sistema que pretende colmatar os inconvenientes do MRP, nomeadamente o nervosismo e a pouca flexibilidade do sistema bem como a alta reatividade a pequenas alterações. A utilização de dados relativos de venda significa que todos os comportamentos de todos componentes no sistema são conhecidos. Para combater a incerteza, o DDMRP assume o posicionamento estratégico de stock e permite atenuar o efeito chicote associado ao MRP de Orlicky.

O DDMRP está assente em cinco fundamentos principais representados abaixo na figura 2.8: (Plak e Smith, 2016)

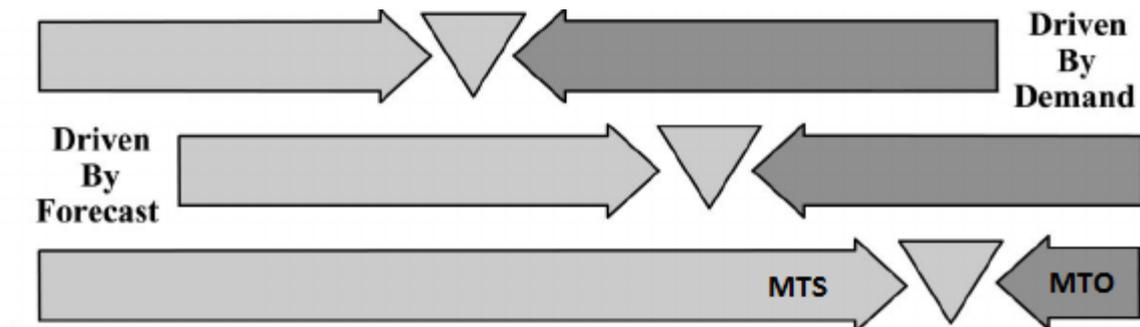
1	Posicionamento estratégico de inventário – pontos de desacoplamento (Modelação do sistema).
2	Perfis e níveis de buffer (Modelação do sistema).
3	Ajustes dinâmicos (Modelação do sistema).
4	Planeamento alinhado com a procura.
5	Execução.

Figura 2.8 – Pilares do sistema DDMRP.

2.3.2.1. Posicionamento estratégico de inventário

A localização dos pontos de desacoplamento na estrutura de produto ou na rede de distribuição, onde o stock é estrategicamente posicionado permite a independência da secção a montante e da secção a jusante. O posicionamento destes pontos de desacoplamento é uma decisão estratégica que tem influência no lead-time e nos custos e investimentos em stock (Plak e Smith, 2016).

Na figura 2.9 podemos verificar a influência de um ponto de desacoplamento. Antes do ponto de desacoplamento a política de abastecimento é de MTS. Depois deste ponto, e caso não haja outro a montante, a política de abastecimento é MTO. No caso do MTO, estamos a alinhar a produção diretamente com a procura, no caso da política MTS estamos a alinhar a produção com base em previsões (Hoekstra e Romme, 1992).



Source: Hoekstra and Romme, 1992

Figura 2.9 - Make to Order & Make to Stock

Os pontos de desacoplamento permitem também diminuir o efeito chicote, uma vez que há uma quebra do mesmo em cada um destes pontos, conforme pode ilustrado na figura 2.10 abaixo.

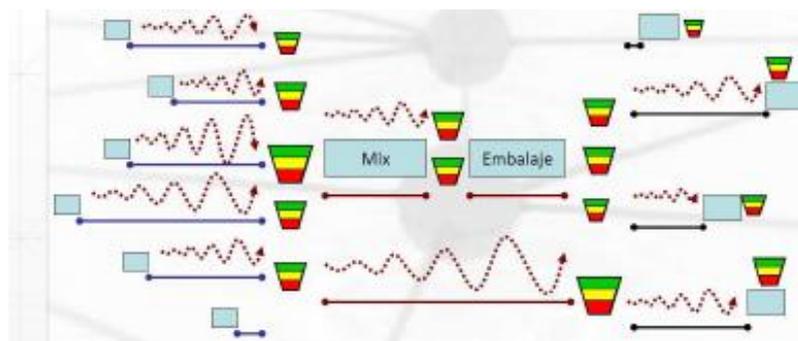


Figura 2.10 - Efeito chicote com pontos de desacoplamento.

Os principais fatores decisores para a localização dos pontos de desacoplamento são:

- O tempo típico que os clientes estão dispostos a esperar;
- O lead-time do mercado;
- A variabilidade da procura;

- A periodicidade e capacidade e entrega por parte dos fornecedores;
- Proteção de processos e etapas mais críticos e vulneráveis.

No que toca a este último aspeto podemos verificar o exemplo descrito no esquema que se segue da árvore de um produto na figura 2.11

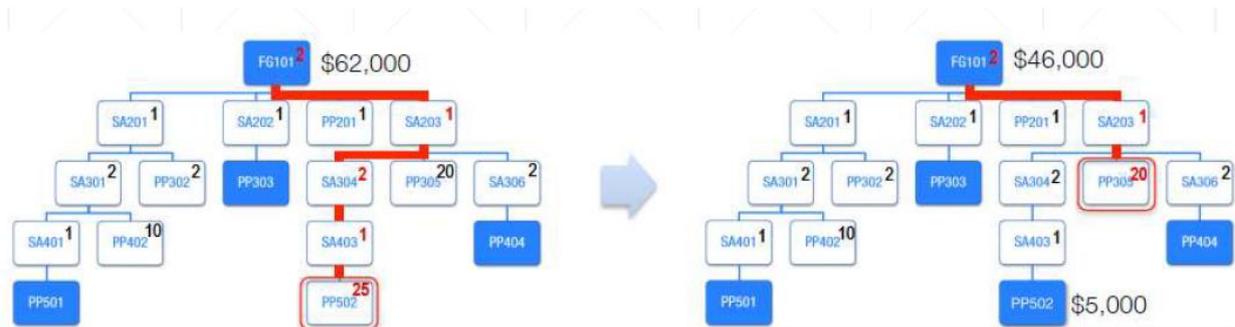


Figura 2.11 - Árvore de produto com e sem buffer.

A peça PP502 limita o lead-time do montado FG101 a 31 dias. Se for considerado um ponto de desacoplamento na PP502 o lead-time do montado FG101 passa para 23 dias.

2.3.2.2. Perfis e níveis de Buffer

Cada perfil de buffer tem definido a dimensão de cada zona (cor) consoantes os atributos acima descritos. Um exemplo de perfil de buffer pode ser visualizado na figura 2.12.



Figura 2.12 - Perfil de buffer genérico.

A coloração dos perfis de buffer indica o estado do sistema de stock em questão tem o seguinte significado:

- Verde – Peças não precisam de ação;
- Amarelo – Peça precisa de ser reabastecida;
- Vermelho - Peça requer especial atenção por níveis de stock muito baixos.

Os perfis de cada buffer variam consoante atributos que os definem, são eles:

- Tipo de peça (fabricado, comprado, distribuído)
- Nível de variabilidade na procura e oferta (curto, médio, longo)
- Tempos de lead-time de cada setor de desacoplamento (curto, médio, longo)

O cálculo da dimensão de cada buffer tem em conta estes atributos e ainda a utilização média diária, (Average Daily Use - ADU), o lead-time alinhado com a procura e a política de encomendas.

Na figura 2.13 está um exemplo do cálculo da dimensão de cada zona de um buffer de uma peça.

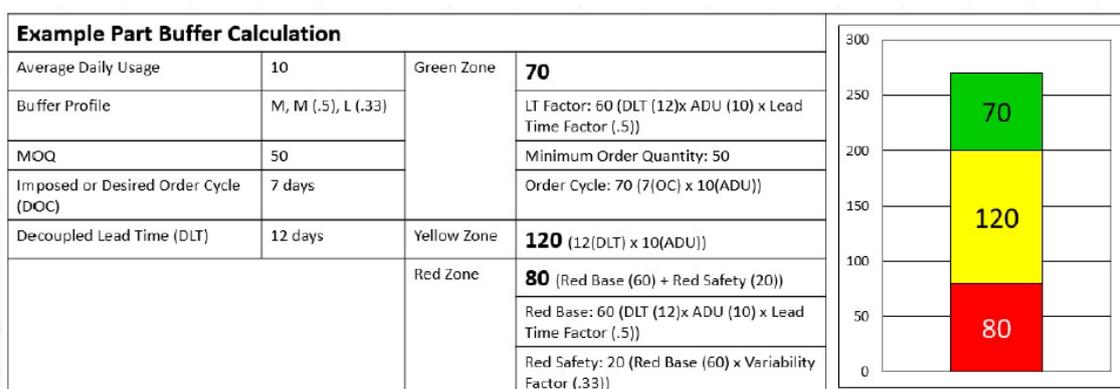


Figura 2.13 - Exemplo de cálculo de dimensão de buffer.

De notar que a zona vermelha tem duas subzonas: base e segurança. A dimensão da zona vermelha é a soma de cada uma das subzonas.

(Plak e Smith, 2016)

2.3.2.3. Ajustes dinâmicos

A maioria dos sistemas de ERP das organizações tem informação da utilização diária de cada peça e, com base no histórico dos consumos reais o valor do ADU é alterado de forma automática e desta forma as dimensões dos buffers são atualizadas de forma automática (Plak e Smith, 2016).

Se houver um pico de procura muito grande este vai influenciar o tamanho do buffer e a situação pontual deveria ser desprezada. Alguns softwares têm isto em consideração mas é difícil decidir se deverá ou não ter em conta determinadas situações.

2.3.2.4. Planeamento alinhado com a procura

O reabastecimento não tem em conta o stock físico, mas sim a equação de fluxo de produto (Plak e Smith, 2016).

Stock disponível

= stock físico + stock em trânsito

– procura (real + picos futuros previstos)

(Equação 2.3)

2.3.2.5. Execução

O planeamento da produção passa a ser executado com prioridade baseada no estado do buffer e não na data de entrega, DD, como no MRP. O foco deixa de ser o fluxo entre pontos de desacoplamento e o fornecimento, no MRP, e passa a ser o stock disponível. Na figura 2.14 podemos verificar um exemplo da diferença funcionamento do sistema MRP face ao DDMRP.

Order #	Order Type	Due Date	Customer
MO 12367	Stock	5/12/2011	Internal
MO 12379	MTO	5/12/2011	Super Tech
MO 12465	Stock	5/12/2011	Internal
MO 12401	Stock	5/14/2011	Internal
MO 12411	Stock	5/16/2011	Internal

Order #	OH Buffer Status	Order Type	Due Date	Customer
MO 12379		MTO	5/12/2011	Super Tech
MO 12401	12% (RED)	Stock	5/14/2011	Internal
MO 12465	27% (RED)	Stock	5/12/2011	Internal
MO 12367	33% (YELLOW)	Stock	5/12/2011	Internal
MO 12411	41% (YELLOW)	Stock	5/16/2011	Internal

Figura 2.14 - MRP vs. DDMRP

2.4. Planeamento na indústria de injeção de plásticos

A injeção de plásticos é, tipicamente, uma indústria cujo processo consiste no fabrico de produtos que são injetados em máquinas partilhadas com ferramentas específicas, os moldes. Para que cada produto seja injetado é necessária uma preparação, o setup do equipamento, para que a ferramenta correta e necessária ao fabrico de cada produto seja devidamente montada na máquina de injeção, bem como o ajuste dos parâmetros de máquina bem como matéria-prima e pigmento.

O tempo e os custos de setup dependem da sequência dos produtos a fabricar. Pode ser uma operação simples de troca de ferramenta e afinação dos parâmetros de máquina, como pode também haver necessidade de alteração de matéria-prima e pigmento. Para além disso, outros recursos, tais como, passadeiras e robôs que podem ser necessários para os diferentes produtos, têm também de ser considerados e adaptados a cada produto a produzir. Estes recursos são limitados e o seu tempo de setup também depende da sequência de fabrico.

Portanto, como afirmaram Drexl e Kimms (1996), o desafio é chegar a um bom sequenciamento e alocação de tarefas tendo, em conta todos estes constrangimentos, para conseguir um plano exequível.

O problema de loteamento e sequenciamento tem várias variantes. No parque industrial pode haver apenas uma máquina única ou múltiplas máquinas, Quando existem múltiplas máquinas estas podem ser consideradas como trabalho em paralelo ou em sequência, em termos de sequenciamento de produção de um dado produto e, as máquinas paralelas ainda podem ser máquinas idênticas ou não idênticas.

Nesta indústria, o problema é claramente o de máquinas paralelas não idênticas, pois cada molde só pode entrar num conjunto reduzido de máquinas. Porém este problema principal de máquinas não idênticas tem vários sub-problemas de máquinas idênticas uma vez que alguns moldes podem trabalhar em mais que uma máquina, embora num conjunto de máquinas muito restrito. A consulta dos autores Drexl e Kimms (1996) permite perceber mais detalhadamente a classificação dos diferentes tipos de problemas de loteamento e sequenciamento. Porém, para o âmbito deste trabalho vamos manter o foco neste tipo de problema.

Os autores Tamaki et al. (1993) apresentam um trabalho muito idêntico na indústria de termo formação plástica. Setor muito idêntico ao da injeção de plásticos no que toca aos constrangimentos a ter em consideração, quanto ao layout fabril.

Também Silva e Ferreira (2003) apresentam um trabalho de um sistema de apoio à decisão para o planeamento da produção na indústria da injeção de plásticos que em parte ajudou a estruturar o modelo proposto neste trabalho de dissertação.

A preparação do sequenciamento desenvolvido no trabalho destes autores, bem como as heurísticas desenvolvidas para a afetação dos moldes aos equipamentos e o serviram de base para o modelo desenvolvido.

O conceito de Última Data de Início de Fabrico, UDIF, apresentado no trabalho destes autores é de extrema importância pois tem em consideração a dimensão do lote a produzir e DD, e não apenas a DD. Numa situação em que o lote de produção é grande pode, no limite, haver necessidade de produzir primeiro uma referência com DD mais a jusante que outra mais a montante.

Como tal também foi considerado o UDIF no modelo desenvolvido nesta tese.

3. CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO DE PLANEAMENTO DE MATERIAIS INJETADOS

Neste capítulo pretendeu-se caracterizar o processo de planeamento da produção de injetados na organização e fazer referência aos constrangimentos a que o planeamento está sujeito.

Cada molde tem associado um conjunto de máquinas em que pode trabalhar, tendo em conta as características do mesmo, a compatibilidade com as características das máquinas, incluindo a necessidade de equipamentos de suporte, e o tipo de equipamentos de suporte necessita.

Atualmente o planeamento é feito de forma manual. O único automatismo implementado é a exportação, do sistema ERP, de uma lista de referências que são necessárias até uma data especificada pelo utilizador.

Diariamente, a partir dessa lista, todas as referências são pesquisadas individualmente no sistema ERP. Verifica-se o dia efetivo da necessidade e o planeamento é feito de forma manual a partir deste ponto. Se uma dada referência tem a necessidade de ser produzida, verificam-se as máquinas onde o molde em questão pode trabalhar e faz-se a alocação do molde à máquina. O plano final é executado numa folha de Excel que é entregue ao departamento de produção com o plano de mudança de moldes do dia seguinte.

Em adição à já complexa tarefa do planeamento, nesta organização há moldes que têm várias versões, que podem trabalhar produzindo uma ou mais referências, e ainda a possibilidade fazer várias combinações de referências no mesmo molde.

No APÊNDICE A pode ser consultado o fluxograma do procedimento para execução do plano de mudança de moldes.

3.1. Constrangimentos específicos a considerar neste caso de estudo

Os moldes desta organização têm uma particularidade que vem conferir alguma complexidade à tarefa do planejamento. O mesmo molde pode ter várias versões. É necessário ter em conta que existem quatro tipos de moldes (figura 3.1):

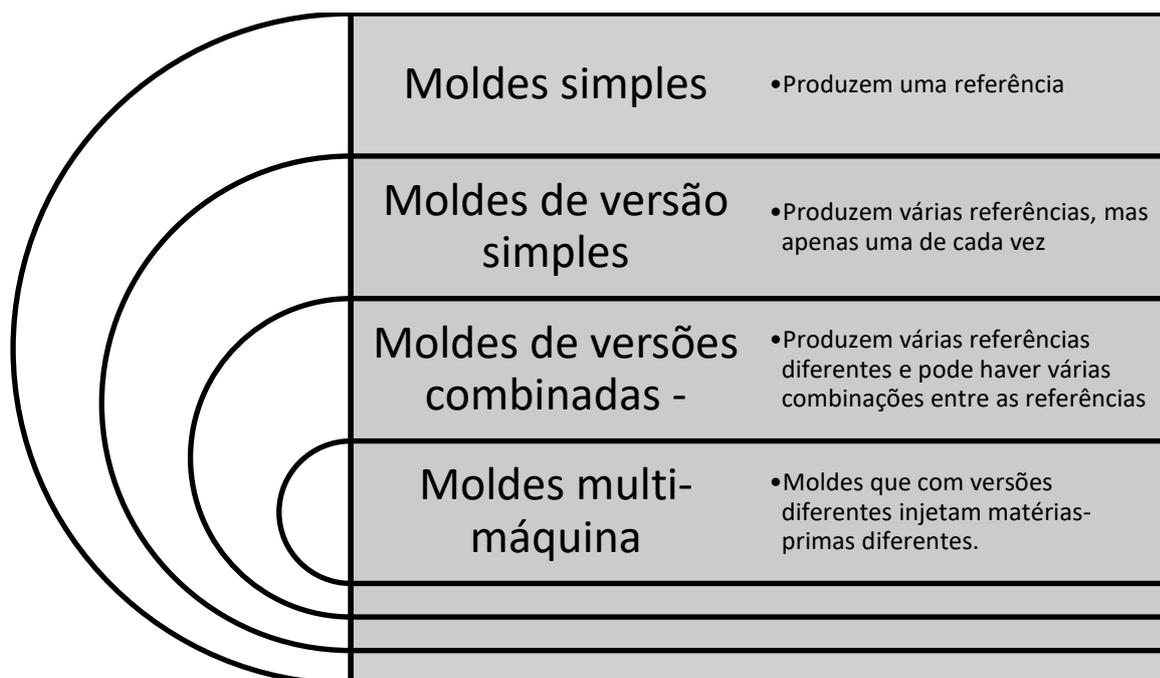


Figura 3.1 - Tipos de molde.

A alteração das versões nos moldes é feita através da troca de algumas peças do mesmo às quais se referem como posições.

Também deve ser tido em conta que alguns moldes têm máquinas alternativas e podem trabalhar em mais que uma máquina, e outros que podem trabalhar em apenas uma máquina. Esta atribuição de máquinas, aos diferentes moldes, está a cargo de outro departamento da organização, o departamento de engenharia. Os recursos necessários ao fabrico de cada lote, como passadeiras, robôs e/ou outros, são tidos em conta aquando da atribuição das máquinas possíveis para cada molde, uma vez que são as próprias máquinas que têm associados estes recursos de forma fixa. Na verdade, para este caso em concreto, cada recurso está alocado especificamente a uma determinada máquina. Considera-se recurso, ou recursos, como parte integrante da máquina. Logo, o fator máquina inclui o recurso ou o fator recurso não tem cabimento neste problema específico.

Finalmente, número de mudanças de molde é limitado, tipicamente 31 mudanças de molde por dia. Isto deve-se ao facto de a capacidade de mão-de-obra disponível para o efeito ser limitada.

3.2. O sistema DDMRP na organização

Existe implementado o sistema DDMRP na organização e os buffers estão calculados e adequados a cada produto. Consoante as encomendas e o seu historial, dos últimos 3 meses, o cálculo dos buffers é atualizado automaticamente e regularmente. Na figura 3.2 abaixo encontra-se uma captura de ecrã do quadro do sistema DDMRP num determinado momento.

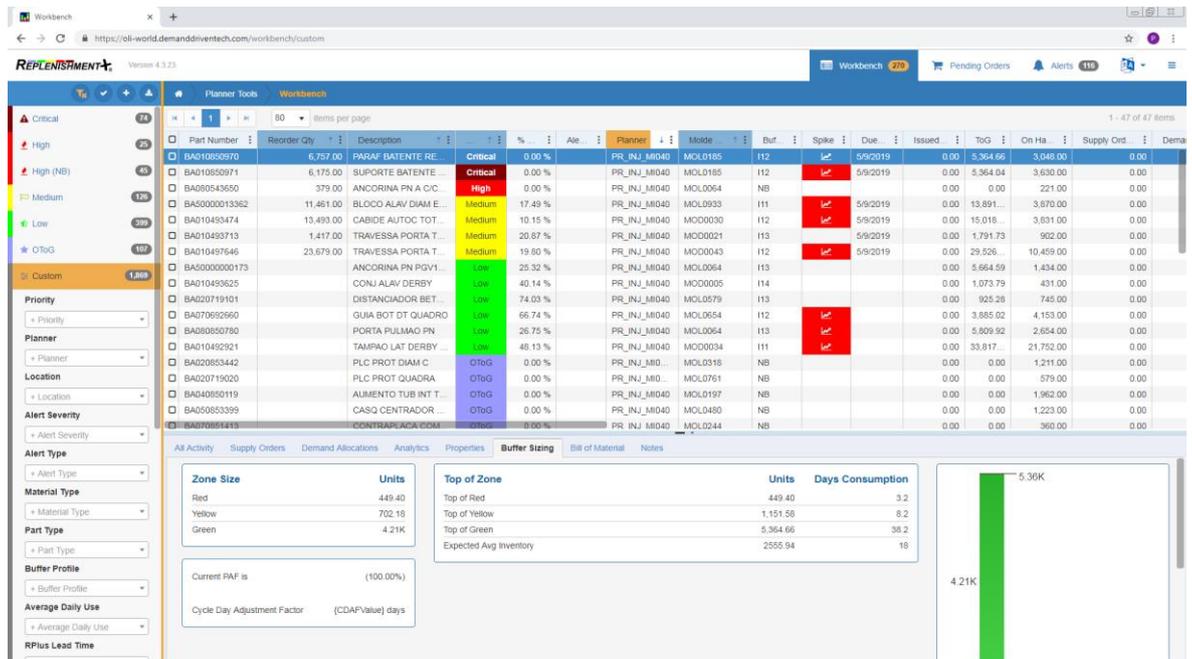


Figura 3.2 - Exemplo do estado do sistema DDMRP para um determinado do momento.

Como sabemos o ideal será ter os stocks em níveis **Medium** e **Low** e produzir as referências com níveis **Critical** e **High** nas quantidades sugeridas pelo sistema DDMRP, que corresponde à diferença entre o topo do verde e o stock atual de cada referência, ou simplesmente a necessidade efetiva se a referência for NB – no buffer.

Contudo a capacidade de produção é limitada e o sistema DDMRP não contempla essa situação. Como tal não é possível produzir todos os códigos em níveis Critical e High

de uma vez já que não há capacidade instalada para tal. A média diária de referências em nível crítico costuma andar entre as 70 e 90 códigos críticos (análise realizada para um período de 2 meses específicos e consecutivos). Outro problema do DDMRP é que estes níveis são atribuídos unicamente com base no stock existente. Portanto, quando o sistema DDMRP nos dá a indicação do nível dos buffers de cada referência não está determinado se existe necessidade de produzir para satisfazer encomendas de clientes ou simplesmente para nivelar os buffers. Obviamente que, numa situação com capacidade produtiva limitada, como a deste caso de estudo em concreto, temos de priorizar as necessidades que são efetivamente para satisfazer encomendas de clientes.

O sistema DDMRP tem um modo de funcionamento baseado apenas nos níveis dos buffers, pelo que temos de fazer o apuramento das necessidades de outra forma. Há que diferenciar se a necessidade de produção é para satisfazer pedidos de clientes ou se é simplesmente para satisfazer buffers, para poder priorizar as necessidades mais importantes de produzir.

De notar ainda que, em situações de pico de procura, pode ser necessário produzir mais quantidade que a definida como o topo do verde e, uma vez que o nível de stock se baseia na quantidade do mesmo também há situações de referências que estão com nível Low de buffer, sendo necessário produzir porque a necessidade é superior ao valor topo do verde.

Na prática, a informação que este sistema nos dá é uma sugestão da quantidade que devemos produzir, de cada referência, para cada lote de produção.

Para combater estes inconvenientes, a primeira operação a ser executada é a exportação de uma lista de necessidades até uma determinada data, definida pelo utilizador, com as referências dos produtos que necessitam de ser produzidos até à data escolhida, através de um pequeno aplicativo informático obtido e desenvolvido na organização. Este aplicativo acede à base de dados do sistema ERP.

3.3. Sequência lógica do aplicativo de consulta das necessidades do ERP

A lista de necessidades é obtida através de um aplicativo informático que acede à base de dados de sistema ERP e verifica o stock de cada referência e as suas DD. Na Tabela 3.1 encontra-se uma captura de ecrã do ficheiro Excel obtido depois de correr este aplicativo num determinado momento.

Tabela 3.1 – Exemplo de resultados do aplicativo.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Código	--Qty até dia	Molde	Máquina	Stock seg	Planner	Lot mínimo
2	BA50000878512	2019-03-27	MOL1282			0 PR_INJ_M	0
3	BA50000879794	2019-04-24	MOL1269			0 PR_INJ_M	480
4	BA50000879795	2019-04-29	MOL1269			0 PR_INJ_M	480
5	BA50000879270	2019-04-26	MOL1259			0 PR_INJ_M	240
6	BA50000879272	2019-04-11	MOL1259		2000	PR_INJ_M	240
7	BA50000880867	2019-04-24	MOL1259			0 PR_INJ_M	240
8	BA50000880869	2019-04-18	MOL1259		2000	PR_INJ_M	240
9	IB00000880296	2019-04-11	MOL1258			0 PR_INJ_M	0
10	BA50000878912	2019-04-17	MOL1255			0 PR_INJ_M	240
11	BA50000032315	2019-04-24	MOL1246		1000	PR_INJ_M	17963
12	BA50000132066	1904-01-01	MOL1246		2000	PR_INJ_M	12000
13	BA50000878685	2019-05-28	MOL1237		2000	PR_INJ_M	10443
14	BA50000878526	2019-03-26	MOL1236			0 PR_INJ_M	200
15	BA50000878530	2019-05-08	MOL1236			0 PR_INJ_M	200
16	BA50000878507	2019-04-24	MOL1235			0 PR_INJ_M	200
17	BA50000878547	2019-03-06	MOL1234			0 PR_INJ_M	200
18	BA50000878564	2019-03-06	MOL1234			0 PR_INJ_M	200
19	BA50000878312	2019-04-18	MOL1233			0 PR_INJ_M	480
20	BA50000015353	2019-04-25	MOL1230		8000	PR_INJ_M	44673
21	BA50000014290	2019-04-18	MOL1229		5000	PR_INJ_M	44673
22	BA50000014292	2019-04-18	MOL1228		8000	PR_INJ_M	44673
23	BA50000000000	2019-04-24	MOL1226		10000	PR_INJ_M	85295

Este aplicativo não é mais que uma consulta (query) de acesso à base de dados do sistema ERP.

Para cada referência, são consultados o seu stock e o valor do stock de segurança, bem como a ferramenta (molde) a que pertencem. De seguida é subtraído esse valor, do stock de segurança, ao valor do stock da respetiva referência e verifica-se até que data é que essa quantidade existe em stock, com base nas DD de cada referência. Essa data é a que se encontra na coluna B do ficheiro Excel demonstrado na tabela 3.1. Ou seja, a consulta permite verificar até que dia é que a quantidade [Stock - Stock de Segurança] cobre as necessidades.

De seguida são listadas todas as referências cuja data calculada é inferior ou igual à data definida pelo utilizador, antes de correr o aplicativo. O APÊNDICE B contém o diagrama de processo deste aplicativo. De notar que a data indicada normalmente não corresponde à data real em que o stock dessa referência se esgota, uma vez que é retirado o tal valor definido como Stock de Segurança. Este cálculo é executado com o intuito de combater os erros de stock. Apesar de se chamar Stock de Segurança esta variável associada a cada referência, não é mais que uma almofada de segurança para evitar falhas de encomendas por motivo de erros de stock. Na figura 3.3 está representado uma captura de ecrã deste aplicativo aqui descrito.

Código	Qty até dia	Molde	Máquina	Stock seg	Planner	Lot minimo
BA50000879766	27-05-2019	MOL1258		500	PR_INJ_MII25	576
BA50000879767	27-05-2019	MOL1258		500	PR_INJ_MII25	1152
BA50000014290	29-05-2019	MOL1229	MII104	5000	PR_INJ_MII104	44673
BA50000014292	27-05-2019	MOL1228		8000	PR_INJ_MII104	44673
BA020730003	03-06-2019	MOL1226		10000	PR_INJ_MII076	85295
BA50000878340	29-05-2019	MOL1208		2000	PR_INJ_MII056	5411
BA50000202619	01-01-1904	MOL1203		300	PR_INJ_MII066	240
BA50000195284	28-05-2019	MOL1201		50000	PR_INJ_MII052	1152
BA50000195259	13-05-2019	MOL1200	MII052	100000	PR_INJ_MII052	60366
BA50000179647	01-01-1904	MOL1196		12000	PR_INJ_MII054_NI	26261
BA50000179648	01-01-1904	MOL1196		12000	PR_INJ_MII054	33557
BA50000183053	01-01-1904	MOL1196		30000	PR_INJ_MII054_NI	516
BA50000183056	01-01-1904	MOL1196		30000	PR_INJ_MII054_NI	464
BA50000194758	01-01-1904	MOL1195		10000	PR_INJ_MII119	19281
BA50000067087	24-05-2019	MOL1188	MII054	1000	PR_INJ_MII054	218
BA50000132428	01-01-1904	MOL1180		500	PR_INJ_MII059	360
BA50000136017	27-05-2019	MOL1176		300	PR_INJ_MII053	416
IS00000187212	01-01-1904	MOL1166		9000	PR_INJ_MII25	15000
BA50000879879	01-01-1904	MOL1164		1500	PR_INJ_MII073	480
BA50000120011	16-05-2019	MOL1163		8000	PR_INJ_MII064	10000
BA50000120012	24-05-2019	MOL1163		8000	PR_INJ_MII064	10000
BA50000183568	01-01-1904	MOL1152		2000	PR_INJ_MII055	7020
BA060581337	27-05-2019	MOL1151		4000	PR_INJ_MII070	10000
BA50000104265	28-05-2019	MOL1151		2000	PR_INJ_MII070	3140
BA50000130554	01-01-1904	MOL1146		500	PR_INJ_MII056	312

Figura 3.3 - Captura de ecrã do aplicativo de necessidades.

3.4. Verificação das necessidades reais

O próximo passo é verificar, no sistema ERP, as necessidades de todos as referências que aparecem na lista exportada do aplicativo no passo anterior. No fundo, o passo anterior serve para limitar a lista de códigos a consultar.

Ao consultar cada referência no sistema ERP obtemos informação como a que está na figura 3.4 abaixo. Em cada uma das referências temos de verificar o somatório dos campos “Demand” até à data pretendida e comparar com o stock disponível.

Due Date	Type	Status	Supply	Demand	Reserved	Pegged	Shortage	Projected	Plannable	Proj Not Res	Plan Not Res	Proj Not Peg	Plan Not Res	Proj Not Res	Proj Not Res
07-05-2019	Material res SO	Planned	0	480	0	0	0	3390	99999999.99	3390	99999999.99	3390	99999999.99	3390	99999999.99
07-05-2019	Material res SO	Planned	0	487	0	0	0	2903	99999999.99	2903	99999999.99	2903	99999999.99	2903	99999999.99
08-05-2019	Material res SO	Planned	0	720	0	0	0	2183	99999999.99	2183	99999999.99	2183	99999999.99	2183	99999999.99
09-05-2019	MRP planned demand		0	20	0	0	0	2163	99999999.99	2163	99999999.99	2163	99999999.99	2163	99999999.99
09-05-2019	Material res SO	Planned	0	1440	0	0	0	723	99999999.99	723	99999999.99	723	99999999.99	723	99999999.99
10-05-2019	Shop ord req	ProposalCreated	8306	0	0	0	0	9029	99999999.99	9029	99999999.99	9029	99999999.99	9029	99999999.99
10-05-2019	Material res SO	Planned	0	240	0	0	0	8789	99999999.99	8789	99999999.99	8789	99999999.99	8789	99999999.99
14-05-2019	Material res SO	Planned	0	240	0	0	0	8549	99999999.99	8549	99999999.99	8549	99999999.99	8549	99999999.99
15-05-2019	MRP planned demand		0	480	0	0	0	8069	99999999.99	8069	99999999.99	8069	99999999.99	8069	99999999.99
15-05-2019	Material res SO	Planned	0	240	0	0	0	7829	99999999.99	7829	99999999.99	7829	99999999.99	7829	99999999.99
15-05-2019	Material res SO	Planned	0	720	0	0	0	7109	99999999.99	7109	99999999.99	7109	99999999.99	7109	99999999.99
16-05-2019	MRP planned demand		0	240	0	0	0	6869	99999999.99	6869	99999999.99	6869	99999999.99	6869	99999999.99
16-05-2019	Material res SO	Planned	0	960	0	0	0	5909	99999999.99	5909	99999999.99	5909	99999999.99	5909	99999999.99
23-05-2019	MRP planned demand		0	384	0	0	0	5525	99999999.99	5525	99999999.99	5525	99999999.99	5525	99999999.99
12-06-2019	MRP planned demand		0	152	0	0	0	4373	99999999.99	4373	99999999.99	4373	99999999.99	4373	99999999.99
27-11-2019	MRP planned demand		0	90	0	0	0	4283	99999999.99	4283	99999999.99	4283	99999999.99	4283	99999999.99

Figura 3.4 - Necessidades de uma determinada referência num determinado momento.

De notar, que todas as linhas que contenham a coluna “Type”: “MRP Planned Demand”, não devem ser consideradas e tal não é contemplado no cálculo do aplicativo do passo anterior. Portanto o aplicativo não pode ser fiável a cem por cento por 2 motivos:

- A data calculada não tem em conta o stock real (retira o stock de segurança)
- O aplicativo conta com as necessidades “MRP Planned Demand” (e não podem ser contabilizadas estas necessidades)

Ao fazer esta consulta às várias referências ficamos com a indicação exata da data de necessidade das mesmas e depois de todas analisadas, dá-se início ao processo de alocação das referências aos equipamentos. Na prática, o que o aplicativo faz, é limitar as

referências a consultar manualmente. Contudo é um processo longo e moroso que poderia ser automatizado.

3.5. Alocação das referências às máquinas

Por norma avaliam-se quais os moldes que estão em produção em primeiro lugar. Verifica-se se alguma referência produzida por esses moldes tem necessidades de produção para os próximos dias. Tende-se a priorizar os moldes que já estejam em produção por forma a trocar apenas posições para alterar a versão do molde e evitar que o molde saia da máquina e tenha de voltar a entrar nos dias seguintes. Não faria sentido tirar o molde pois seria aumentar o número de mudanças de molde que é limitado e, conseqüentemente, aumentar os tempos de setup.

Depois de avaliadas as necessidades dos moldes em máquina, aí sim, começa-se a alocar as referências analisadas nos passos anteriores. Cada referência tem associada a máquina principal e as alternativas onde pode ser produzida. Quando a máquina principal já está ocupada faz-se a alocação da referência a uma máquina alternativa. É necessário verificar se todas as referências são produzidas, ou se é necessário trocar os moldes para máquinas alternativas menos sobrecarregadas.

Um ponto favorável das versões dos moldes é que poderá existir a possibilidade de fabricar várias referências na mesma produção de uma só vez. E dessa forma “compensar” o número de mudanças de molde máximo definido.

3.6. Sequenciamento das ordens de fabrico às máquinas

Uma vez definidas as mudanças de molde, cujo somatório deverá ser menor ou igual ao número máximo de mudança de moldes definido, avança-se para o processo de sequenciamento.

O sistema ERP também tem informação da cadência de produção de cada molde (versão) e sabendo a quantidade a produzir podemos calcular o tempo de produção para cada um. Este cálculo está automatizado numa folha de Excel cujos dados são atualizados sempre que necessário.

A quantidade definida é, no mínimo, o suficiente para cobrir as necessidades analisadas no sistema ERP para os dias seguintes (+-1 mês e depende de caso para caso) ou se possível fazer o lote sugerido pelo sistema DDMRP. Normalmente a sugestão do DDMRP é superior às necessidades, contudo, à que ter em conta a questão descrita no capítulo 3.2 que em situações de pico de procura pode ser necessário produzir mais do que a sugestão do sistema DDMRP.

Tendo informação da quantidade e da cadência podemos fazer os cálculos necessários ao tempo de produção dos lotes a produzir e quando termina a produção dos lotes em produção no momento. Assim sendo, para cada máquina, sequenciam-se os moldes a esta alocados, tendo em conta o molde e a matéria-prima que já se encontra na máquina por forma a minimizar mudanças de moldes (trocar posições em máquina sempre que possível) e mudanças de matéria prima/pigmento (fazer todos os lotes da mesma matéria prima/pigmento de seguida), para evitar tempos de setup maiores.

3.7. Análise do acompanhamento do cumprimento do plano na produção

Para além da realização do plano de mudança de moldes para o dia seguinte, o planeador também tem de fazer o acompanhamento do plano lançado no dia anterior. Este tem de ser atualizado ao longo do dia para ser alinhado com os problemas que vão surgindo na produção. É necessário reordenar as várias OF nas máquinas de injeção e, no caso de avarias prolongadas de molde, planejar a entrada de um molde alternativo para essa máquina ou mesmo acrescentar outro molde. Por norma, são lançadas três revisões ao plano em vigor durante o dia.

A primeira é lançada logo na primeira hora da manhã para fazer o ajuste ao plano conforme os problemas, atrasos e avarias que ocorreram durante o turno da noite.

A segunda é lançada a meio do dia, antes da pausa do almoço para atualizar face aos desvios ao plano durante o período da manhã.

Por fim, a última revisão é lançada ao final do dia para deixar o plano atualizado para o período da noite.

Na realidade, este procedimento existe para compensar os desvios existentes ao longo do dia, face ao planeado. No entanto, deveriam ser tomadas ações para permitir a

eliminação deste procedimento. Taiichi Ohno é o autor dos 7 desperdícios LEAN e esta tarefa encaixa no desperdício de sobre-processamento. Na realidade está a realizar-se o mesmo plano quatro vezes, o original, lançado no dia anterior, e as três revisões lançadas ao longo do próprio dia.

O resto deste capítulo será dedicado ao apuramento das causas raiz que levam aos desvios do planeado.

O diagrama de Ishikawa, também denominado diagrama de causa-efeito ou diagrama de espinha de peixe, é uma ferramenta que permite apurar as potenciais causas raiz de um dado problema. Este diagrama é tipicamente obtido por brainstorming em equipa (Wedgwood, 2006).

Com base em dados recolhidos ao longo de dois meses, e com a colaboração de pessoal dos departamentos de injeção, manutenção, e oficina de moldes, com a sua experiência e sabedoria, foi possível apurar várias razões pela qual as máquinas param de forma não programada. Construiu-se um diagrama causa-efeito, diagrama Ishikawa, que pode ajudar a perceber o motivo que leva que uma máquina a parar e interromper a produção. Na figura 3.5 pode ser consultado o diagrama resultante da análise efectuada.

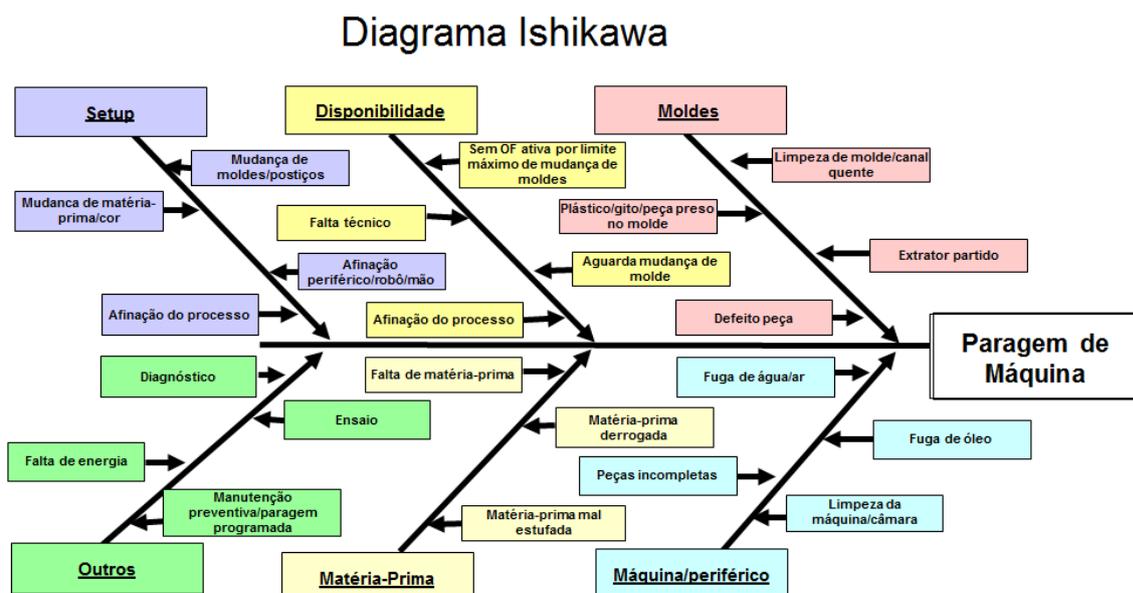


Figura 3.5 - Diagrama Ishikawa para averiguação das causas de paragem das máquinas de injeção.

Depois de identificadas as causas que levam aos desvios do plano inicial é necessário averiguar quais as que provocam maiores perturbações, que se refletem em tempo de paragem, e averiguar as que ocorrem em maior frequência.

A organização dispõe de um software que acompanha as máquinas em tempo real que estão ligadas em rede. Este software permite verificar o estado atual das máquinas e obter um histórico de operações e incidências.

Ou seja, é possível consultar o histórico de paragens das máquinas, os tempos e motivo de paragem, uma vez que sempre que uma paragem acontece esta fica registada e operador tem de seleccionar um motivo de paragem para efeitos de registo.

A análise destes dados ao longo de dois meses possibilitou chegar a conclusões que confirmam o resultado obtido no diagrama Ishikawa realizado anteriormente. Mais, uma análise mais profunda permite identificar quais os problemas mais relevantes, que devem ser motivo do foco de concentração para trabalhar no sentido da minimização das paragens.

O diagrama de Pareto é uma ferramenta que permite uma análise simples dos dados e ajuda a identificar os problemas chave para os quais se deve direccionar o foco de atenção. Qualquer projeto começa com um escopo amplo de todos os problemas que o processo exhibe. Porém, um foco tão amplo tornaria o projeto muito difícil de gerir. O diagrama de Pareto permite identificar quais são as maiores oportunidades, que causam mais impacto, e focar nessas. (Wedgwood, 2006).

Analisando os dados, com a média do número de paragem por motivo, podemos obter um diagrama de Pareto, figura 3.6, que permite concluir que 80% do número de paragens se deve a 15% das causas apuradas:

- Ajuste do processo;
- Mudança de molde;
- Avaria de molde;
- Paragem programada;
- Diagnóstico.

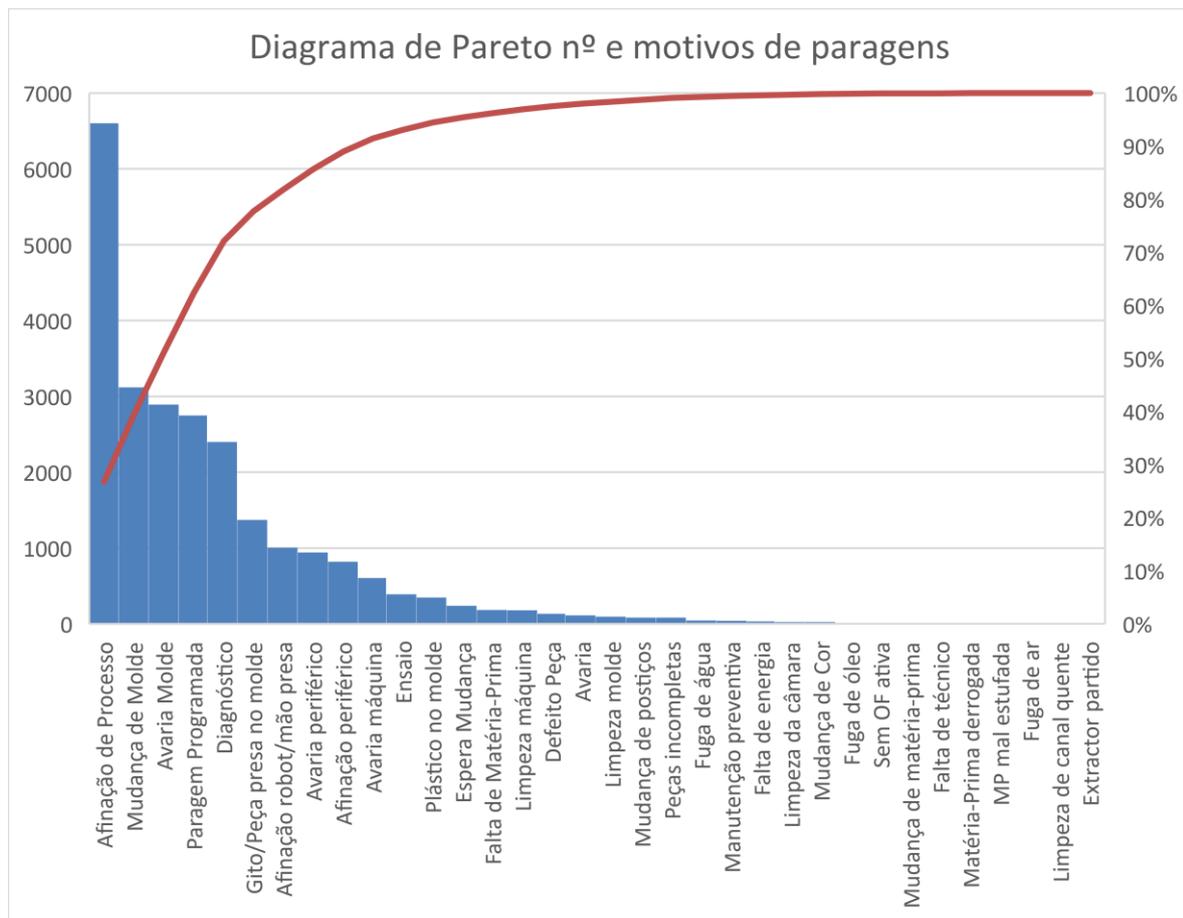


Figura 3.6 - Diagrama de Pareto do número e motivo de paragens.

Uma vez identificadas as principais causas de paragem é também necessário analisar quais as que causam maior desvio ao planeado, e quais as que duram mais tempo.

Fazendo a análise por média de tempo de paragem por motivo de paragem obtemos resultados que demonstram que a matéria-prima mal estufada; avarias de molde; avarias de máquina; extrator partido; fuga de água; limpeza de câmara; mudança de moldes; mudança de posições; mudança de posições e diagnóstico são as causas que mais prejudicam o cumprimento do plano original. A figura 3.7 demonstra essa análise.

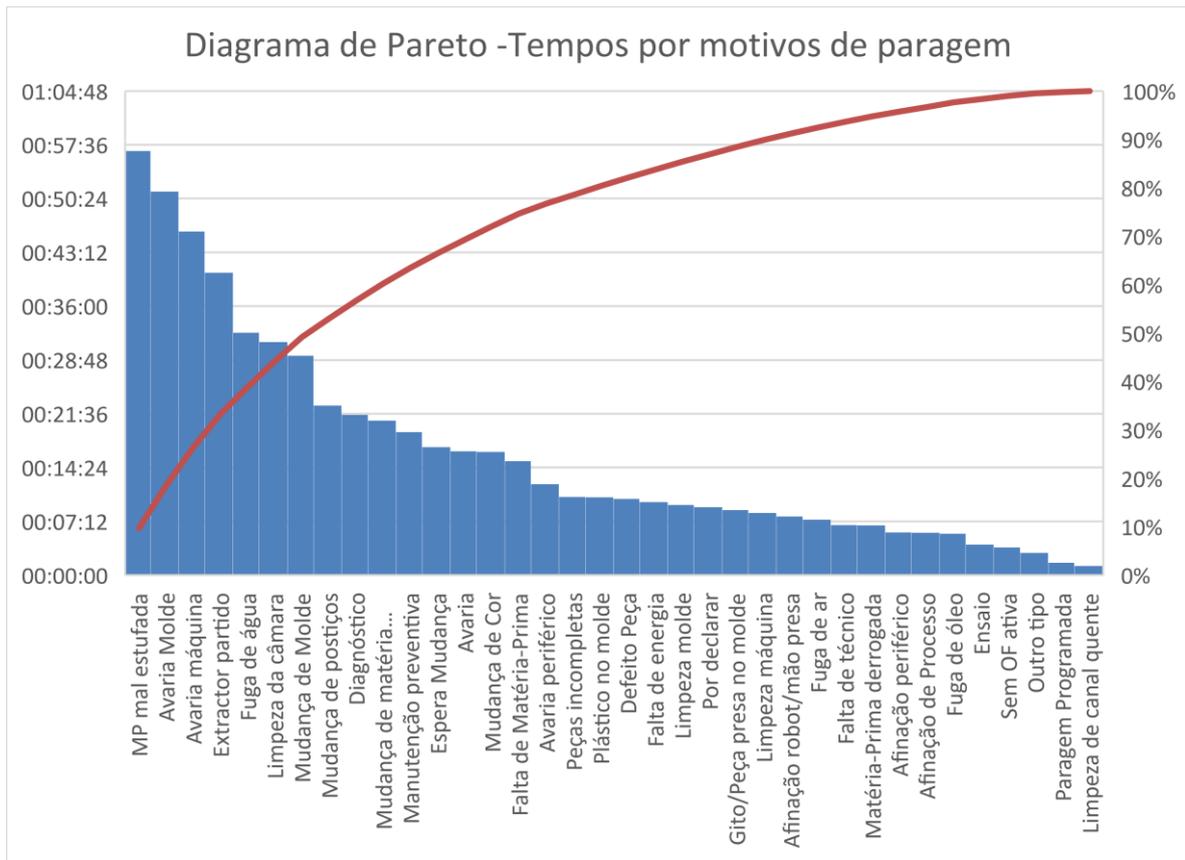


Figura 3.7 - Diagrama de Pareto do tempo por motivo de paragens.

Cruzando esta informação com a anterior podemos concluir que os problemas que mais contribuem para os desvios ao plano original são:

1. Afinação do processo
2. Mudança de molde
3. Mudança de posições
4. Mudança de matéria-prima
5. Limpeza de câmara
6. Avaria de molde
7. Paragem programada
8. Diagnóstico
9. Matéria-prima mal estufada
10. Avaria de Máquina
11. Extratores partidos

É notório que os motivos 2, 3 4 e 5 podem ser agrupados pois todos eles estão relacionados com tempo de setup. Uma ação recomendada para abordar estes 4 problemas seria uma abordagem SMED (Single Minute Exchange of Die) às máquinas de injeção.

Depois desta análise, estes dados foram enviados para os respetivos departamentos para que tomem ações de melhoria, no sentido de minimizar estas situações e evitar as revisões do plano de mudança de moldes.

De notar que existem motivos de paragem que aparentemente podem parecer redundantes. Exemplo desta situação podem ser os motivos *avaria de molde* e *extrator partido*. Obviamente que o segundo também é avaria de molde, mas o software apenas permite inserir um número limitado de opções o que leva a que os operadores possam diferenciar o problema se este estiver nas opções mas caso não esteja colocam uma outra opção que visa contemplar todos os problemas de molde que não estão especificados nas restantes opções.

Ou seja, se for necessário analisar todas as avarias de molde tem de se somar os dados de *avaria de molde* com os dados de outras opções que sejam relacionados com avaria de molde, como *extratores partidos*.

Para efeitos futuros aconselha-se eliminar a opção *avaria* do software uma vez que esta informação acaba por ser redundante a todas as outras opções e não permite obter conclusões de análise. Os dados inseridos nesta opção são dados de paragem que não conseguimos associar a nenhum motivo.

O modelo proposto no capítulo que se segue aplicar-se-á de forma mais eficiente se apenas for executado uma vez por dia, aliás a sua concepção parte desse pressuposto, uma vez que o plano de mudança de moldes é lançado diariamente. Portanto, a eliminação do procedimento de atualização dos planos de mudança de molde é sempre uma mais valia para o processo global, independentemente das ferramentas utilizadas para a execução do plano original (automatismo ou de forma manual).

4. PROPOSTA DE MODELO PARA AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEAMENTO DE MOLDES

Como disse Shigeo Shingo em 1988, há quatro propósitos para a melhoria: simplificar, melhorar, ser mais rápido e tornar mais barato. Precisamente seguindo esta filosofia surgiu esta proposta de automatizar o processo de planeamento do programa diário de mudança de moldes.

Diariamente, o trabalho efetuado para a realização deste programa passa pela resolução de um grande exercício de loteamento e sequenciamento manual. Este exercício é extenso, longo e moroso para o planeador e é executado diariamente com a diferença que os dados de entrada mudam, mas mantendo sempre a mesma lógica e raciocínio. Como tal, é possível automatizar, tendo definidas as regras e os fatores de decisão deste exercício.

O rápido crescimento desta organização e, conseqüentemente, o aumento do parque de máquinas, moldes e produtos torna este exercício cada vez maior, mais complexo e mais demorado. Sendo um exercício executado de forma manual a probabilidade de falha é elevada e claro que o resultado final poderá não ser o melhor.

Este capítulo pretende fazer a descrição do modo de funcionamento de uma proposta de modelo para automatizar uma parte significativa deste processo e tornar o planeamento do mesmo mais simples, rápido, melhor e mais barato.

4.1. Estrutura do modelo proposto

O modelo terá funções a três níveis para obter e trabalhar os dados para o seu funcionamento:

- **Interação com o utilizador** – pedir informação ao utilizador para direcionar as acções do automatismo;
- **Acesso a bases de dados** – consultar os dados necessários á execução do automatismo;
- **Automatismo/modelo** – cálculos e ações necessárias para obtenção do programa final de mudança de moldes.

O modelo tem ainda três fases aquando do seu funcionamento. São elas:

1. Preparação da informação

- a) Recolha de informação pertinente ao planeamento por parte do utilizador (máquinas operacionais, dias de análise, definição do número de mudanças de moldes, entre outros);
- b) Consulta de bases de dados para obtenção de dados necessários ao exercício (referências, datas, quantidades, moldes máquinas, matérias primas, entre outros);
- c) Preparação dos dados recolhidos numa listagem por referência, das necessidades até à data definida pelo utilizador, por ordem crescente com informação do molde, quantidade, máquinas, matéria-prima, entre outros;

2. Alocação dos moldes às máquinas

- a) Execução das regras definidas para a alocação dos diferentes trabalhos a uma máquina;

3. Sequenciamento dos trabalhos

- a) Depois de definidos os trabalhos que estão atribuídos a cada máquina execução das regras definidas ao devido sequenciamento dos trabalhos.

No APÊNDICE C pode ser consultado o diagrama de processo do modelo. É aconselhada a sua consulta aquando da leitura das secções seguintes deste capítulo por forma a facilitar a sua compreensão.

De seguida verifica-se o funcionamento desta proposta de forma mais detalhada. Nas próximas secções serão explicadas as sequências lógicas de cada fase do modelo de forma exhaustiva. Por forma a uma melhor compressão do modelo será executado um exemplo à medida que a sequência lógica é explicada.

Depois ainda foram executados testes ao modelo proposto em situações de carga diferentes para analisar as oportunidades e fraquezas deste modelo.

4.1.1. Preparação da informação

A primeira ação do algoritmo é obter informação por parte do utilizador, do número máximo de mudança de moldes e da data até à qual devem ser analisadas as necessidades.

No passo seguinte o utilizador desselecciona as máquinas que não estejam disponíveis (manutenção, avarias, outros) bem como os moldes (reparação, indisponível, outro).

De seguida devem ser averiguadas quais as referências que estão em máquina, em que máquina e respetivos moldes. Para tal, o algoritmo deve consultar as OF (Started & Released) do sistema ERP. Na tabela 4.1 está representado um exemplo desta averiguação.

Tabela 4.1– Exemplo de consulta dos moldes em máquina

Referência	Molde	Máquinas
BA040853308	MOL0019	MI078
BA020850803	MOL0028	MI063
BA50000012795	MOL0035	MI046
BA040540421	MOL0054	MI106
BA010853070	MOL0055	MI108
BA040850119	MOL0197	MI060
BA50000064003	MOL0206	MI096

De seguida, o modelo, cria uma lista com **todas** as referências dos moldes em produção, com exceção das que já estão com ordens de fabrico (Started & Released) no sistema, tal como pode ser verificado no exemplo da tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Exemplo de consulta das restantes referências de moldes em máquina

Referência	Molde	Máquinas
BA040851117	MOL0019	MI078
BA020850879	MOL0028	MI063
BA060581531	MOL0028	MI097
BA060850298	MOL0035	MI046
BA060581688	MOL0035	MI046
BA040850873	MOL0054	MI106
BA50000061899	MOL0055	MI108

A partir da tabela 4.2 é preciso verificar as datas das necessidades dessas referências. A data da necessidade é o dia anterior àquele em que o stock já não satisfaz a necessidade. A quantidade necessária a produzir, é a quantidade necessária para cobrir as necessidades para 30 dias a partir do dia atual. Os 30 dias é o período definido, para o qual o molde, se tiver efetivamente que produzir (outras versões) não tenha de voltar a produzir no mesmo mês. Nesta fase analisa-se outras referências de moldes em produção. Neste caso, alarga-se o período de pesquisa das necessidades uma vez que não compensa estar a desmontar o molde da máquina para o voltar a colocar nos próximos dias. Não seria lógico em termos de tempos de setup.

Na tabela 4.3 pode ser verificado o acréscimo da informação consultada neste passo.

Tabela 4.3 - - Exemplo do acréscimo de dados de consulta da BD tal como data da necessidade e quantidade.

Referência	Molde	Máquinas	Data Nec	Qt. Nec
BA040851117	MOL0019	MI078	12-mar	12000
BA020850879	MOL0028	MI063	15-mar	6000
BA060581531	MOL0028	MI097	12-mai	400
BA060850298	MOL0035	MI046	05-mar	1200
BA060581688	MOL0035	MI046	14-mar	3000
BA040850873	MOL0054	MI106	06-mai	8000
BA50000061899	MOL0055	MI108	14-abr	6000

De notar que caso o sistema não forneça nenhuma data dentro deste período de análise a referência é desconsiderada da listagem.

O modelo prossegue com a análise das datas da necessidade destas referências e verifica se há necessidades até 10 dias após a data definida pelo utilizador. No entanto este valor deverá ser flexível e ser possibilitada a sua alteração nas definições do automatismo para que o planeador possa definir à medida da situação. Se não houver necessidades até essa data, elimina-se a linha dessa referência da lista, caso contrário, mantém-se. A tabela 4.4 exemplifica esta tarefa.

Tabela 4.4 - Remoção dos códigos não necessários até 30 mar.

Data definida: 25 mar		Número de mudanças: 10		
Referência	Molde	Máquinas	Data Nec	Qt. Nec
BA040851117	MOL0019	MI078	12-mar	12000
BA020850879	MOL0028	MI063	15-mar	6000
BA060581531	MOL0028	MI097	12-mai	400
BA060850298	MOL0035	MI046	05-mar	1200
BA060581688	MOL0035	MI046	14-mar	3000
BA040850873	MOL0054	MI106	06-mai	8000
BA50000061899	MOL0055	MI108	14-abr	6000

Na próxima fase o modelo atribui à característica “máquinas”, cada uma das referências, unicamente a máquina em que o molde está a trabalhar. As máquinas alternativas da referência em questão não são consideradas, neste passo, uma vez que se pretende que o molde trabalhe na máquina em que já está a trabalhar. O objetivo é exatamente evitar a mudança de molde e evitar mais tempos de setup.

O modelo prossegue fazendo uma nova pesquisa à base de dados do sistema ERP, lista as referências que têm necessidades até à data definida pelo utilizador e a quantidade necessária produzir para o próximo mês. As referências dos moldes já analisados em passos anteriores não são contempladas neste passo. Uma vez tendo a listagem, averiguam-se as máquinas em que o molde pode trabalhar para cada uma das referências. Esta lista é acrescentada à lista anterior das referências dos moldes em máquina, como pode ser verificado na tabela 4.5.

Nesta fase podem ser consultadas mais informações relevantes para cada referência desta lista como a sugestão da quantidade a produzir do DDMRP, molde e MP.

Tabela 4.5 - Exemplo das listagem de necessidades com informação completa das referências.

Data definida: 25 mar		Número de mudanças: 10				
Referência	Molde	Máquinas	Data Nec	Qt. Nec	Sugestão DDMRP	
BA040851117	MOL0019	MI078	12-mar	12000	15215	
BA020850879	MOL0028	MI063	15-mar	6000	8000	
BA060850298	MOL0035	MI046	05-mar	1200	1300	
BA060581688	MOL0035	MI046	14-mar	3000	2500	
BA50000009087	MOL0059	MI060; MI61	09-mar	15735	24000	
BA040851395	MOL0062	MI119	10-mar	5337	6000	
BA50000007767	MOL0066	MI059; MI60	15-abr	17541	20000	
BA010493331	MOL0080	MI106; MI100	25-mar	6433	7000	
BA010850134	MOL0080	MI106; MI100	28-mar	7703	9000	
BA050850346	MOL0084	MI036	10-mar	18211	20000	
BA010853304	MOL0096	MI096	12-mar	4340	5000	
BA040530106	MOL0108	MI084; MI96	20-mar	10265	8000	

O próximo passo, desta fase, é verificar todas as referências dos moldes das referências que já estão na lista (exceto os castanhos, porque essa análise já foi feita) acrescentar aquelas onde se verificar que há necessidades até 10 dias após a data definida pelo utilizador. As que houver e não tiverem sido já contempladas devem ser adicionadas há lista. Deverá completar os restantes campos nas referências acrescentadas. (quantidade das necessidades, quantidade DDMRP, máquinas possíveis e molde). Pode verificar-se o exemplo na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Exemplo da listagem final de todas as referências com necessidades.

Data definida: 25 mar		Número de mudanças: 10				
Referência	Molde	Máquinas	Data Nec	Qt. Nec	Sugestão DDMRP	
BA040851117	MOL0019	MI078	12-mar	12000	15215	
BA020850879	MOL0028	MI063	15-mar	6000	8000	
BA060850298	MOL0035	MI046	05-mar	1200	1300	
BA060581688	MOL0035	MI046	14-mar	3000	2500	
BA50000009087	MOL0059	MI060; MI61	09-mar	15735	24000	
BA040851395	MOL0062	MI119	10-mar	5337	6000	
BA50000007767	MOL0066	MI059;MI60	15-abr	17541	20000	
BA010493331	MOL0080	MI106;MI100	25-mar	6433	7000	
BA010850134	MOL0080	MI106;MI100	28-mar	7703	9000	
BA050850346	MOL0084	MI036	10-mar	18211	20000	
BA010853304	MOL0096	MI096	12-mar	4340	5000	
BA040530106	MOL0108	MI084;MI96	20-mar	10265	8000	
BA040819269	MOL0108	MI084;MI96	29-mar	5711	7500	
BA040850749	MOL0108	MI084;MI96	02-abr	19520	22500	

Para definir a quantidade a produzir o modelo deverá optar pelo valor máximo dos campos da quantidade das necessidades e da sugestão do DDMRP.

O último passo desta fase é averiguar a versão do molde para cada referência. Se as versões de referências do mesmo molde forem a mesma, então ambas as referências podem ser feitas na mesma produção. Para consulta das versões destes moldes do exemplo, que aqui se descreve, deve-se analisar o APÊNDICE D.

Tabela 4.7 - Exemplo da análise dos moldes e versões das necessidades.

Referência	Data Nec	QT	Molde	versão
BA040851117	12-mar	15215	MOL0019	c
BA020850879	15-mar	8000	MOL0028	d
BA060850298	05-mar	1300	MOL0035	a
BA060581688	14-mar	3000	MOL0035	c
BA50000009087	09-mar	24000	MOL0059	
BA040851395	10-mar	6000	MOL0062	c
BA50000007767	15-abr	20000	MOL0066	
BA010493331	25-mar	7000	MOL0080	a
BA010850134	28-mar	9000	MOL0080	a
BA050850346	10-mar	20000	MOL0084	
BA010853304	12-mar	5000	MOL0096	
BA040530106	20-mar	10265	MOL0108	f
BA040819269	29-mar	7500	MOL0108	b/c
BA040850749	02-abr	22500	MOL0108	d/e/f

Uma vez definida a listagem de referências necessárias conforme a data estipulada pelo utilizador, prossegue-se fazendo a alocação dos respetivos moldes às máquinas.

Os moldes das referências com necessidades apuradas na tabela 4.4 já estão alocados nas respetivas máquinas em que o molde está a funcionar.

4.1.2. Alocação dos moldes às máquinas

Nesta nova fase o modelo prossegue e, em caso de várias referências que possam ser produzidas da mesma versão, as datas da necessidade atribuída será a primeira, cronologicamente. No caso, da quantidade a produzir, será a mais alta das várias referências da versão.

O resultado desta análise, segundo o exemplo que está aqui a ser desenvolvido, encontra-se na tabela 4.8 abaixo.

Tabela 4.8 – Exemplo da lista de moldes proveniente das necessidades.

Data Nec	QT	Molde	versão
12-mar	15215	MOL0019	c
15-mar	8000	MOL0028	d
05-mar	1300	MOL0035	a
14-mar	3000	MOL0035	c
09-mar	24000	MOL0059	
10-mar	6000	MOL0062	c
15-abr	20000	MOL0066	
25-mar	9000	MOL0080	a
10-mar	20000	MOL0084	
12-mar	5000	MOL0096	
20-mar	22500	MOL0108	f
29-mar	7500	MOL0108	b

Importante notar que, no caso do molde MOL0080, sendo a mesma versão do molde, a data que ficou definida foi a primeira, cronologicamente, e a quantidade foi a mais alta.

No caso do molde MOL0108 averiguou-se as versões que podem produzir cada uma das referências e verificou-se que a f é a mais comum e colmatou a necessidade de duas das três referências. As restantes referências terão de ser fabricadas numa versão diferente.

Tendo as quantidades, as datas e os moldes já é possível agregar a restante informação necessária, como a matéria-prima, máquinas em que cada versão pode trabalhar, cadência e, conseqüentemente, o tempo de produção. Logo de seguida deve ser calculado um Índice de Máquinas Alternativas, IMA, que não é mais do que o número de máquinas em que cada molde pode entrar, subtraído de uma unidade. Para cada máquina também deve ser calculado um índice de flexibilidade de máquina, IFM, que indica o número de moldes que podem operar numa máquina a partir da listagem adquirida no passo anterior. O resultado das ações deste modelo pode ser verificado nas tabelas 4.9 e 4.10 abaixo. Também a lista com informação contida na tabela 4.9 pode ser exportada pelo utilizador nesta fase.

Tabela 4.9 - Listagem de moldes e versões, quantidades a produzir, datas das necessidade, máquinas possíveis, matérias-primas, cadências, tempo de produção e IMA dos moldes necessários às necessidades do exemplo.

OF	Data Nec	QT	Molde	versão	Máquinas	Matéria Prima	Cadência (p/h)	Tempo Prod. (dd:hh:mm)	IMA
1	12-mar	15215	MOL0019	c	MI078	POM	213	02:23:25	0
2	15-mar	8000	MOL0028	d	MI063	POM	123	02:17:02	0
3	05-mar	1300	MOL0035	a	MI046	ABS	179	00:07:15	0
4	14-mar	3000	MOL0035	c	MI046	PP	277	00:10:49	0
5	09-mar	24000	MOL0059		MI060; MI61	POM	128	07:19:30	1
6	10-mar	6000	MOL0062	c	MI119	POM	263	00:22:48	0
7	15-abr	20000	MOL0066		MI059;MI60	ABS	112	07:10:34	1
8	25-mar	9000	MOL0080	a	MI106;MI100	POM	188	01:23:52	1
9	10-mar	20000	MOL0084		MI036	POM	249	03:08:19	0
10	12-mar	5000	MOL0096		MI096	ABS	263	00:19:00	0
11	20-mar	22500	MOL0108	f	MI084;MI96	PP	168	05:13:55	1
12	29-mar	7500	MOL0108	b	MI084;MI96	ABS	105	02:23:25	1

Tabela 4.10 – IFM inicial das máquinas solicitadas a partir da lista de moldes e versões.

Máquinas IFM	
36	1
46	2
59	1
60	2
61	1
63	1
78	1
84	2
96	3
100	1
106	1
119	1

Estes índices são necessários para a tomada de decisão nas fases de alocação e sequenciamento deste algoritmo. Tem de ser tido em conta que as OF do mesmo molde devem ser alocadas à mesma máquina.

Regra geral de alocação:

Alocar o molde/versão com IMA menor à máquina possível com menor carga acumulativa, em tempo. Em caso de empate no IMA deve escolher-se o molde associado à máquina com menor IFM e, ainda em caso de empate, alocar a ordem de fabrico que tiver data da necessidade primeiro (cronologicamente). A cada alocação recalcula-se o valor do IFM de todas as máquinas e o tempo de carga do equipamento acumulado.

Seguindo esta regra vai-se alocando cada molde/versão até atingir o número definido de mudança de moldes. Considera-se que o mesmo molde na mesma máquina, mais do que uma vez, não é considerada mais uma mudança, uma vez que se faz mudança de posições em máquina.

Portanto, tendo em conta esta regra e a listagem da tabela 4.9 apresentada acima, as primeiras ordens de fabrico a ser alocadas são a OF 6 na máquina 119 e a OF 9 na máquina 36, uma vez que empatam no IMA e têm ambas o IFM menor. Portanto, foi a DD que ditou que fossem estas as primeiras OF a serem alocadas. Logo de seguida, é alocada a OF 1 à máquina 78 e de seguida a OF 2 na máquina 63 uma vez que a OF 4, apesar de ter o mesmo IMA e DD mais próximo, o desempate é feito pelo IFM.

De seguida, por empate de IMA, entre as OF 3, 10 e 4, é excluída a OF 10 uma vez que é a que tem IFM maior. Entre as OF 3 e 4 primeiro é alocada a OF 3 por ter uma DD mais próxima. Assim a OF 3 é alocada à máquina 46 seguida da OF 4 alocada na mesma máquina por se tratar do mesmo molde.

Nesta fase, apenas falta alocar uma OF com IMA de valor 0, que será a próxima a ser alocada. A OF 10 é alocada na máquina 96. As restantes OF estão neste momento empatadas com IMA igual a 1, pelo que o desempate será executado por IFM ou por DD se empatar o IFM.

As próximas OF a serem alocadas, avaliando pelo IFM são as OF 5, 8 e 11. Todas elas empatam também por IFM e por isso serão alocadas por DD. Primeiro a OF 5 é alocada na máquina 61, pois a 60 tem IFM maior, logo depois é alocada a OF 11 na máquina 84, a máquina 96 tinha IFM maior, e, conseqüentemente a OF 12 é alocada na mesma máquina por se tratar do mesmo molde. Finalmente a OF 8 é alocada a uma das suas máquinas visto que o IFM de cada máquina é igual. Aqui o desempate seria pela máquina com menos carga, mas nesta fase estavam ambas vazias. Assumimos uma, aleatoriamente, e a escolhida foi a máquina 100.

Apenas faltam alocar OF 7, que, entre as máquinas 59 e 60, é alocada na máquina 59, uma vez que o seu IFM é menor que o da máquina 60.

O resultado final das alocações conforme as regras impostas pelo algoritmo é demonstrado na tabela 4.11 abaixo.

Tabela 4.11 - Resultado da alocação das OF às máquinas

Máquinas	OF
36	9
46	3 4
59	7
60	
61	5
63	2
78	1
84	11 12
96	10
100	8
106	
119	6

Neste momento temos de contabilizar o número de mudanças de molde e verificamos que as OF 3 e 4 são do mesmo molde, pelo que apenas representam uma mudança. O mesmo se verifica nas OF 11 e 12. Neste caso é gerada a lista de mudanças de moldes do plano, ordenadas por DD. A tabela 4.12 demonstra esta operação.

Tabela 4.12 - Mudanças de molde

Data Nec	Molde			Data Nec	Molde
12-mar	MOL0019			12-mar	MOL0019
15-mar	MOL0028			15-mar	MOL0028
05-mar	MOL0035			05-mar	MOL0035
14-mar	MOL0035			09-mar	MOL0059
09-mar	MOL0059			10-mar	MOL0062
10-mar	MOL0062			15-abr	MOL0066
15-abr	MOL0066			25-mar	MOL0080
25-mar	MOL0080			10-mar	MOL0084
10-mar	MOL0084			12-mar	MOL0096
12-mar	MOL0096			20-mar	MOL0108
20-mar	MOL0108			29-mar	MOL0108
29-mar	MOL0108				

De notar que a data da necessidade associada a cada molde foi a primeira data (cronologicamente). Neste caso o número de mudanças ficou igual ao atribuído inicialmente para este exemplo (coincidência).

4.1.3. Sequenciamento dos trabalhos

Uma vez finalizada a alocação das OF às máquinas e apurado o número de mudança de moldes segue-se o sequenciamento das tarefas

Calcula-se, para cada OF, a última data de início de fabrico, UDIF que não é mais que a DD subtraída do somatório entre o tempo de processamento e o tempo de setup (para todo os casos considerou-se um tempo de setup de 30 minutos uma vez que a organização em causa apenas tem contabilizado o valor médio).

Posteriormente, as OF são agrupadas por família, sendo que o que define cada família é o molde, independentemente da versão. Em cada família as OF são ordenadas por ordem crescente da UDIF. O UDIF é mais relevante que a DD, uma vez que este tem em conta não só o fator DD mas também o tamanho do lote que, logicamente, faz diferença uma vez que difere o tempo de fabrico.

As tarefas são sequenciadas, em cada máquina, por ordem crescente do UDIF. Quando é sequenciado o primeiro molde de cada família, todas as restantes OF da mesma família são alocados por ordem crescente de UDIF.

Aqui é sugerida uma interação do utilizador com a proposta do plano executado com a informação completa de máquina, molde, versão, matéria-prima/pigmento, cadência e tempo de produção. Nesta interação o utilizador pode fazer alterações ao plano final como eliminar OF, trocar sequência em cada máquina e/ou trocar alocações.

No caso de haver mais mudanças do que aquelas que foram definidas pelo utilizador, estas podem ser removidas das máquinas que tiverem maior carga acumulativa. Porém, decidiu-se que seria mais eficiente se fosse o próprio planeador a fazer a seleção das famílias a remover. O modelo interage com o utilizador para que este elimine o número excedente de famílias do plano.

O plano de mudança de moldes é completo e exportado para um ficheiro Excel.

4.2. Sequência simplificada do modelo

Nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3 pode verificar-se a sequência simplificada das tarefas que o modelo terá de desempenhar. Novamente, O diagrama de processo mais detalhado do modelo encontra-se no APÊNDICE C.

4.2.1. Preparação da informação

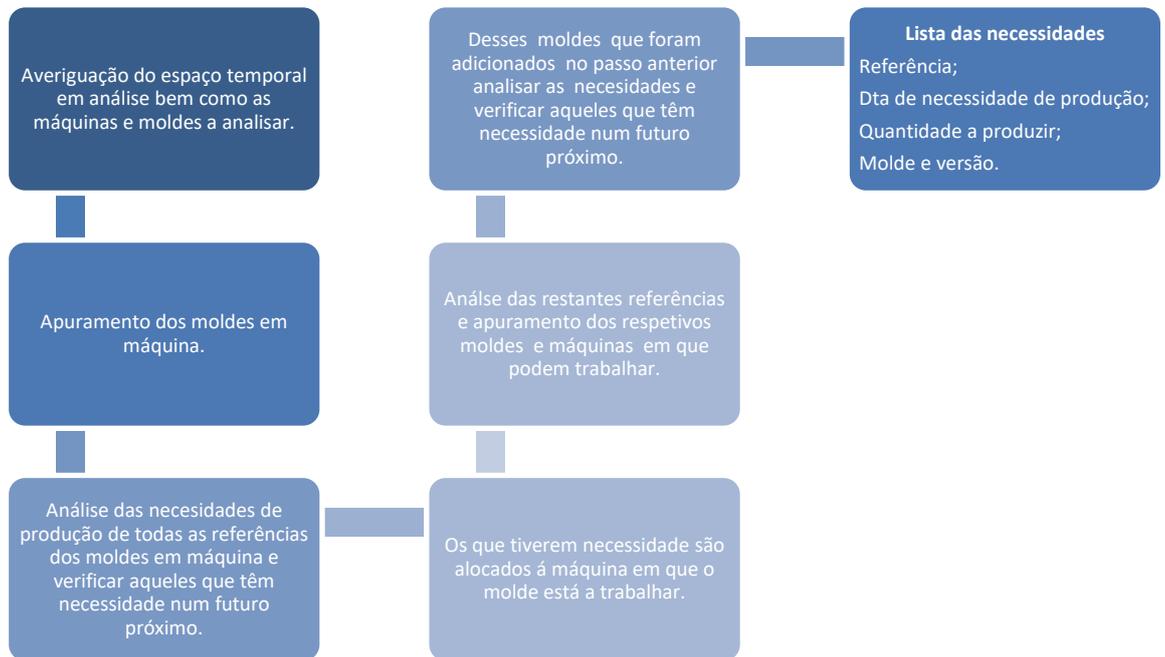


Figura 4.1 - Sequência simples do modelo da fase de preparação da informação.

4.2.2. Alocação dos moldes às máquinas

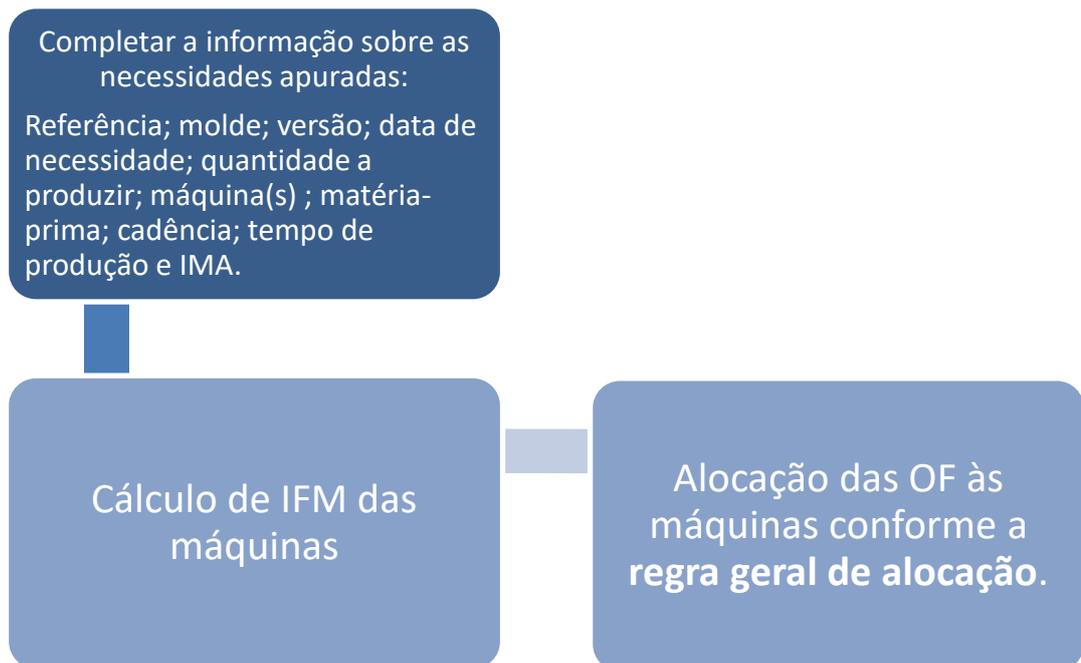


Figura 4.2 - Sequência simples do modelo da fase de alocação dos moldes às máquinas.

4.2.3. Sequenciamento dos trabalhos

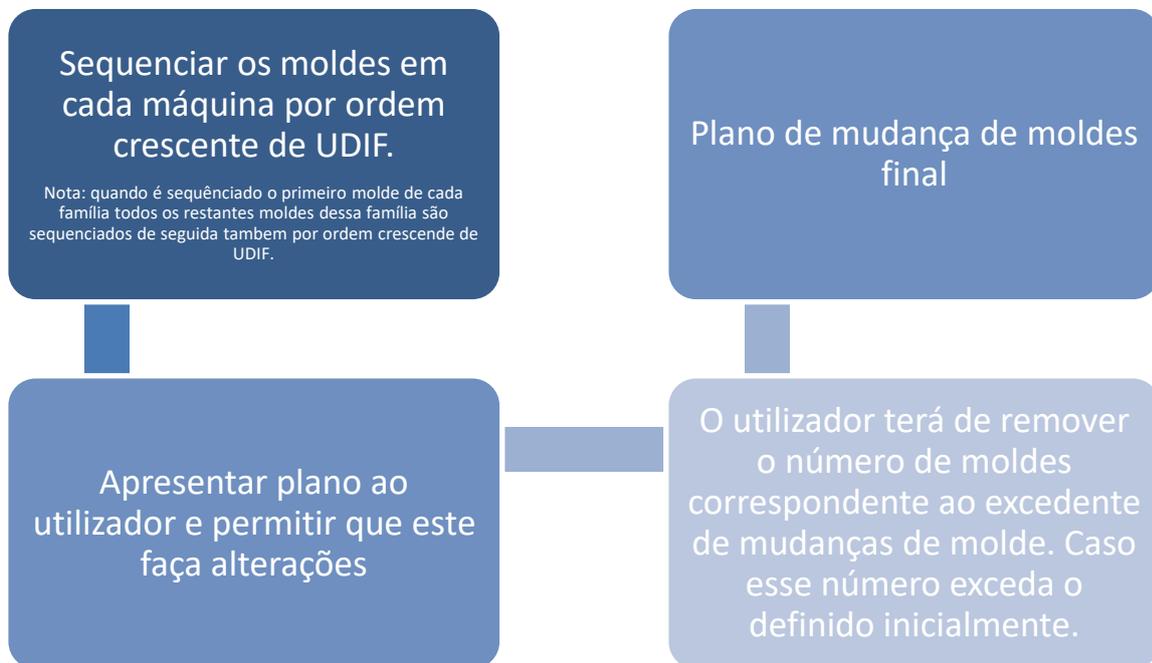


Figura 4.3 - Sequência simples do modelo da fase de sequenciamento dos trabalhos.

4.3. Requisitos necessários ao bom funcionamento do modelo proposto e pressupostos

Requisitos:

O modelo aqui proposto irá buscar grande parte da informação que necessita ao sistema ERP, e pressupõe que a informação nele contida está correta e atualizada. A atualização deve ser praticamente imediata, mesmo quando a introdução de dados é de forma manual.

É comum haver erros de stock consideráveis no sistema. Este problema deverá ser abordado de forma prévia à implementação deste modelo, uma vez que este utiliza esses dados para a execução do plano.

Outra necessidade é a implementação da informação relativa à versão dos moldes no sistema para que possa ser consultado pelo modelo. Atualmente, esta informação não se encontra disponível no sistema ERP, deverá ser incluída antes da implementação do modelo.

Pressupostos:

Neste modelo a questão da matéria-prima e pigmento não é tida em conta para o sequenciamento das tarefas. Esta questão deveria ser considerada no futuro.

Para efeitos de sequenciamento, o modelo assume que todos os moldes da mesma família podem ser trocados para outra versão em máquina. Fato é que existem moldes que não podem trocar posições em máquina. Estas situações têm de ser corrigidas de forma manual pelo planeador.

4.4. Testes ao modelo

Para averiguar possíveis falhas de conceção e as limitações do modelo proposto, fizemos testes ao modelo, nas máquinas de um dos quatros setores de máquinas do departamento de injeção da organização. As máquinas em análise são: 40; 42; 46; 54; 55; 56; 64; 67.

O primeiro teste foi realizado num dia muito carregado em termos de encomendas e consequentemente com mais necessidades efetivas. O segundo teste foi num dia mais folgado em que existem poucas necessidades oriundas do sistema ERP, diretamente de encomendas, onde se pode planear mais pelas sugestões do sistema DDMRP. O terceiro teste foi realizado através de simulação do modelo proposto numa tentativa de obter resultados quantitativos do mesmo.

4.4.1. Primeiro teste – muitas necessidades do sistema ERP

Tendo em conta as produções em máquina, o estado das mesmas para o dia seguinte encontra-se no gráfico de Gantt da figura 4.4.

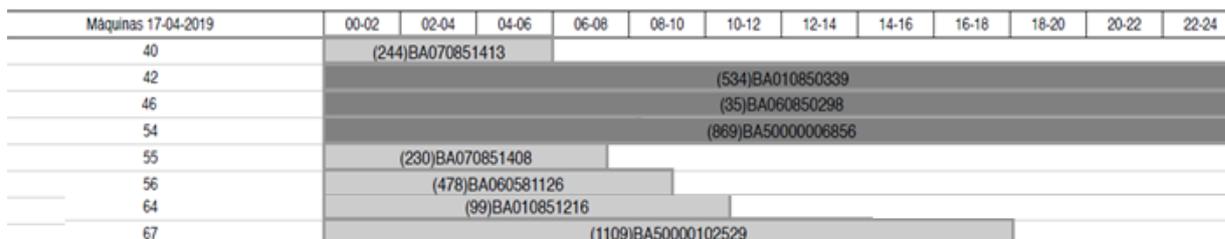


Figura 4.4 - Diagrama de Gantt das máquinas de um dos sectores para o dia do primeiro teste.

Desde já se verifica que as máquinas 42, 46 e 54 estavam indisponíveis. Pelo que, no modelo, o primeiro passo seria desseleccionar estas máquinas e indicar ao sistema o número de mudança de moldes que se pretende. Neste caso, optou-se, arbitrariamente para este teste, por 5 mudanças visto que se está a planear 5 máquinas. O espaço temporal de análise foi até ao dia 30 de Abril.

De seguida o modelo procura os moldes e referências que estão em produção, que podemos averiguar também no diagrama de Gantt acima.

Verifica-se que há outras referências dos moldes em máquina que têm necessidade de produção para os 10 dias seguintes. Fazendo essa análise chega-se à conclusão de que não há moldes nesta primeira situação de análise.

De seguida analisam-se todas as referências com necessidade até ao dia indicado pelo utilizador. São listadas todas referências com necessidade no sistema ERP, até ao dia 30 e consulta-se a quantidade a produzir pelo sistema ERP, até 30 dias após a data do dia deste plano de moldes e a sugestão da quantidade de produção do sistema DDMRP. Define-se o máximo das duas consultas como a quantidade a produzir. Faz-se ainda mais consultas relevantes ao planeamento e o cálculo do IMA e IFM inicial. A cada alocação, é atualizado o valor do IFM para a alocação seguinte. Os resultados encontram-se na tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Tabela de apuramento das necessidades do ERP até ao dia 30 Abril.

Código	Molde	Máquin	Máq. Alterr	IMA	UDIF	dia	Quantidade	Tempo Prod
BA50000013362	MOL0933	40	64	1	18-4-19 8:10	23-abr	13419	04:15:49:30
BA010497646	MOD0043	40		0	21-4-19 3:54	24-abr	25740	02:20:05:43
BA010497647	MOD0043	40		0	23-4-19 22:00	24-abr	758	00:02:00:00
BA010492921	MOD0034	40	46/64	2	29-4-19 17:57	30-abr	6000	00:06:02:32
BA500000187312	MOL1096	42		0	15-4-19 12:10	18-abr	11306	02:11:49:12
BA50000013432	MOL0193	42	54/46	2	22-4-19 10:26	24-abr	17427	01:13:33:29
BA080850558	MOL0118	42	46/54	2	22-4-19 14:18	24-abr	6065	01:09:41:40
BA50000081263	MOL1096	42	46/54	2	27-4-19 0:48	29-abr	8918	01:23:11:07
BA040541717	MOL0773	46		0	29-4-19 18:09	30-abr	1500	00:05:50:12
BA040541718	MOL0773	46		0	29-4-19 18:09	30-abr	1500	00:05:50:12
BA50000032630	MOL0971	54		0	23-4-19 17:32	24-abr	400	00:06:27:06
BA50000012716	MOL0135	55		0	29-4-19 19:00	30-abr	1200	00:05:00:00
BA50000012717	MOL0917	56		0	14-4-19 3:19	18-abr	157005	03:20:40:59
BA50000077588	MOL1090	56		0	23-4-19 6:18	24-abr	4245	00:17:41:15
BA50000032315	MOL1246	56		0	24-4-19 15:31	26-abr	28000	01:08:28:57
BA010499901	MOD0023	64		0	19-4-19 5:37	23-abr	12019	03:18:22:06
BA50000009032	MOL0881	64		0	23-4-19 9:30	24-abr	2000	00:14:29:34
BA010499401	MOD0010	64		0	23-4-19 20:05	24-abr	250	00:03:54:22
BA50000009030	MOL0882	64		0	23-4-19 20:46	24-abr	400	00:03:13:33
BA010499911	MOD0023	64		0	23-4-19 21:44	24-abr	300	00:02:15:20
BA50000120011	MOL1163	64		0	25-4-19 22:21	29-abr	9500	03:01:38:36
BA50000120012	MOL1163	64		0	26-4-19 23:56	29-abr	6200	02:00:03:43
BA020719627	MOL0714	67		0	20-4-19 10:49	23-abr	18841	02:13:10:19
BA50000088221	MOL1061	67		0	22-4-19 20:47	23-abr	500	00:03:12:18
BA50000010246	MOL0883	67		0	23-4-19 16:58	24-abr	1200	00:07:01:03

De seguida aplica-se a regra geral de alocação e o resultado é o que se verifica na tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Resultdo da alocação do primeiro teste.

Alocação	Referência	Molde	Máquina	UDIF
1	BA50000012716	MOL0135	55	29-4-19 19:00
2	BA50000012717	MOL0917	56	14-4-19 3:19
3	BA50000077588	MOL1090	56	23-4-19 6:18
4	BA50000032315	MOL1246	56	24-4-19 15:31
5	BA010497646	MOD0043	40	18-4-19 8:10
6	BA010497647	MOD0043	40	21-4-19 3:54
7	BA020719627	MOL0714	67	20-4-19 10:49
8	BA50000088221	MOL1061	67	22-4-19 20:47
9	BA50000010246	MOL0883	67	23-4-19 16:58
10	BA010499901	MOD0023	64	19-4-19 5:37
11	BA010499911	MOD0023	64	23-4-19 9:30
12	BA50000009032	MOL0881	64	23-4-19 20:05
13	BA010499401	MOD0010	64	23-4-19 20:46
14	BA50000009030	MOL0882	64	23-4-19 21:44
15	BA50000120011/BA50000120012	MOL1163	64	25-4-19 22:21
16	BA50000013362	MOL0933	40	23-4-19 22:00
17	BA010492921	MOD0034	40	29-4-19 17:57

De seguida faz-se uma averiguação do número de mudança de moldes e prosseguiu-se com o sequenciamento. Por máquina, cada OF é sequenciada por UDIF.

Quando o modelo apura as alocações necessárias para as necessidades recolhidas este poderá obter mais mudanças de molde que aquelas que o utilizador indicou. Contudo, todas as alocações são sequenciadas mesmo que ultrapasse as 23h59m do dia a planear. Posteriormente o utilizador elimina manualmente e ordena como melhor convier.

Na figura 4.5 está o gráfico de Gantt das máquinas em análise, mas apenas contemplando o dia em planeamento.

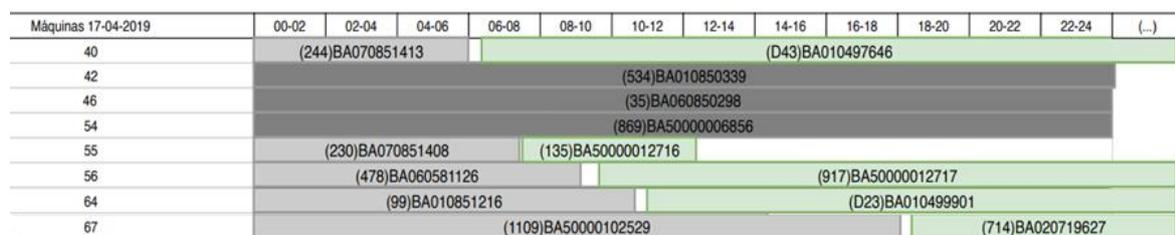


Figura 4.5 – Diagrama de Gantt do sequenciamento proposto pelo modelo para o primeiro teste.

Neste caso, o número de mudanças de molde para este dia fica exatamente o estipulado pelo utilizador. As restantes alocações ficaram sequenciadas fora do dia em análise, e foram as que se eliminaram para este exemplo.

Podemos concluir que face ao plano real lançado neste dia, as mudanças apuradas no modelo não coincidem. Fazendo uma análise aos planos seguintes a estes dias, verificou-se que as referências apuradas pelo modelo entraram nos dias seguintes e alguns em máquinas diferentes (numa das alternativas). Também há diferenças devido a ensaios, que não são contemplados neste modelo.

4.4.2. Segundo teste – poucas necessidades do sistema ERP

Tendo em conta as produções em máquina, o estado das mesmas para o dia seguinte encontra-se no gráfico de Gantt da figura 4.6.

Máquinas 05-06-2019	00-02	02-04	04-06	06-08	08-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	(...)
40	(D21)BA010493713												
42						(193)BA040851038							
46						(869)BA50000006856							
54						(482)BA50000012340							
55		(1159)BA50000125126											
56	(1208)BA50000183796/BA50000183796/BA50000878924												
64						(99)BA010851216							
67						(336)BA040558150							

Figura 4.6 Diagrama de Gantt de um dos sectores para o dia do segundo teste.

Verifica-se que as máquinas 42, 46, 54, 64 e 67 estão indisponíveis. Novamente, o primeiro passo seria desseleccionar estas máquinas e indicar ao sistema o número de mudança de moldes que se pretende, quatro mudanças neste caso visto que estamos a planear 3 máquinas. O espaço temporal de análise foi até ao dia 12 de Junho.

De seguida o modelo procura os moldes e referências que estão em produção, que podemos averiguar também no diagrama de Gantt acima.

Posteriormente verificou-se se que há outras referências dos moldes em máquina que têm necessidade de produção nos próximos 10 dias. Fazendo essa análise chegou-se também à conclusão que não há moldes nesta situação de análise.

De seguida analisaram-se todas as referências, com necessidade de produção até à data definida. São listadas todas referências com necessidade do sistema ERP até ao dia 12, consulta-se a quantidade a produzir pelo sistema ERP até 30 dias após a data do plano em execução e a sugestão da quantidade de produção do sistema DDMRP. Define-se o máximo das duas consultas, como a quantidade a produzir. Fez-se ainda mais consultas relevantes ao planeamento e o cálculo do IMA e IFM inicial. A cada alocação, é atualizado o valor do IFM para a alocação seguinte. Os resultados encontram-se na tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Tabela de apuramento das necessidades do ERP até ao dia 5 Junho.

Código	Molde	Máquina	Máq. Alter	IMA	UDIF	dia	quantidade	Tempo Prod
BA50000132066	MOL1246	56		0	05-06-2019 18:57	07-jun	25029	01:05:02:09
BA020850153	MOL0038	64		n/a	10-06-2019 21:16	11-jun	500	00:02:43:03
BA50000087485	MOL1072	67		n/a	10-06-2019 19:00	11-jun	1000	00:05:00:00
BA040853017	MOL0374	67	55	0	10-06-2019 05:13	11-jun	5878	00:18:46:46
BA040853019	MOL0374	67	55	0	10-06-2019 05:04	11-jun	5924	00:18:55:35
BA020719627	MOL0714	67		n/a	04-06-2019 05:33	07-jun	20465	02:18:26:41
BA020719623	MOL0672	67		n/a	05-06-2019 22:29	10-jun	18429	04:01:30:29

Tendo em conta as necessidades do sistema ERP e as máquinas indisponíveis apenas temos três referências por alocar. Aplicando a regra geral de alocação o resultado é o demonstrado na tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Resultado da alocação do segundo teste.

Alocação	Referência	Molde	Máquina	UDIF
1	BA50000132066	MOL1246	56	05-06-2019 18:57
2	BA040853017/BA040853019	MOL0374	55	10-06-2019 05:04

Dois referências pertencem ao mesmo molde e versão pelo que podem produzir em simultâneo resultando em apenas duas alocações. O sequenciamento é obvio e o resultado foi o que se encontra no diagrama de Gantt da figura 4.7.

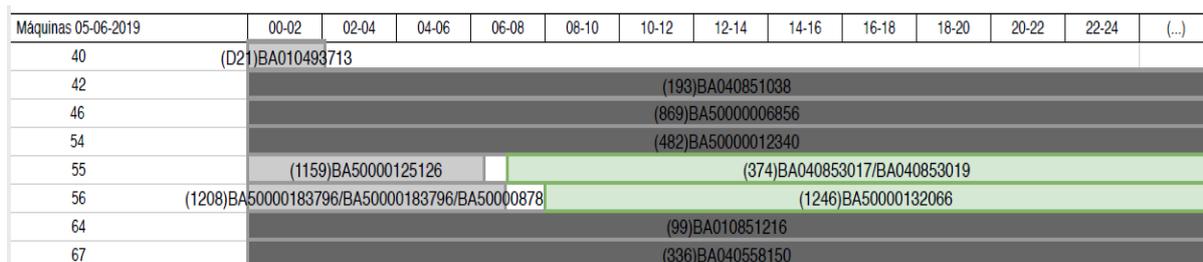


Figura 4.7 - Diagrama de Gantt do sequenciamento proposto pelo modelo para o segundo teste.

Neste caso, o número de mudanças de molde para este dia ficou bem abaixo do estipulado pelo utilizador. Nesse caso, o planeador pode e deve, manualmente, colocar outras mudanças por sugestão do sistema DDMRP. Note-se que se OF seguidas forem do mesmo molde, contam apenas como uma mudança.

Mais uma vez, conclui-se que face ao plano real lançado neste dia as mudanças apuradas no modelo também não coincidem. Analisando-se os planos dos dias seguintes a este, verificou-se que as referências apuradas nesta análise, pelo modelo, entraram nos dias seguintes. De notar também que o planeador nem sempre segue a sugestão de produção completa do sistema DDMRP, o que afeta sempre o sequenciamento porque altera a duração de produção.

4.4.3. Simulação do modelo simplificado

No sentido de obter resultados mais globais acerca da eficácia e comportamento do modelo proposto na situação do caso de estudo, realizou-se uma simulação deste modelo no software Simul8.

Pretendeu-se simular o sistema fabril do caso de estudo e chegou-se mesmo a incluir as eficiências globais dos equipamentos (Overall Equipment Effectiveness, OEE), calculadas no período de dois meses, março e abril. A figura 4.8 demonstra a captura de ecrã do modelo no software de simulação e, o APÊNDICE E demonstra os dados utilizados para a execução da simulação e os resultados da mesma nas três últimas colunas. As informações temporais como datas e tempos de processamento foram formatadas para aparecer em dias. Considerando que a data 17-Abril-2019 é o dia zero (0).

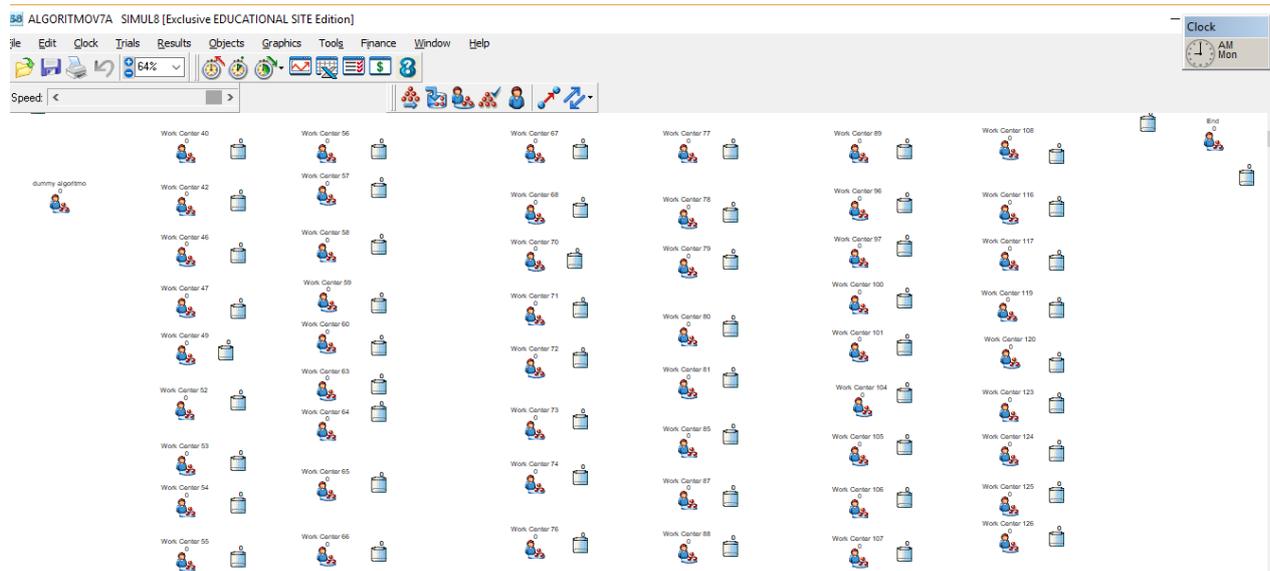


Figura 4.8 - Captura de Ecrã do modelo no Simul8

Como o tempo acesso ao software foi limitado (inferior a uma semana), o modelo teve de ser simplificado e não reflete a cem por cento o modelo proposto.

Apenas foram consideradas versões simples de moldes e, a própria regra geral de alocação e o sequenciamento teve de ser simplificada para um coeficiente, Q , associado a cada referência, para decidir o sequenciamento dos trabalhos. Este coeficiente não é mais que um cálculo que agrega todos os fatores de decisão destas fases, num valor para permitir o sequenciamento direto dos trabalhos. Na equação 4.1 está o cálculo de Q :

$$Q = 1000 * IMA + ordemUDIF$$

(Equação 4.1)

Desta forma garante-se que o fator IMA tem bastante peso na definição da ordem de sequenciamento. A ordemUDIF não é mais que a posição de cada referência quando estas estão ordenadas por ordem crescente de UDIF e desta forma quanto menor for Q maior a prioridade de sequenciamento. Por outras palavras, no momento de escolher a ordem de alocação e sequenciamento dos trabalhos o coeficiente Q determina a ordem. A referência com menor Q será a próxima a ser alocada.

Em relação à máquina em que a referência é alocada, esta é determinada pela carga temporal da máquina. A referência é alocada à máquina menos carregada de entre as

máquinas possíveis dessa mesma referência. Na figura 4.9 está o código VisualLogic utilizado para fazer a seleção da máquina menos carregada temporalmente.

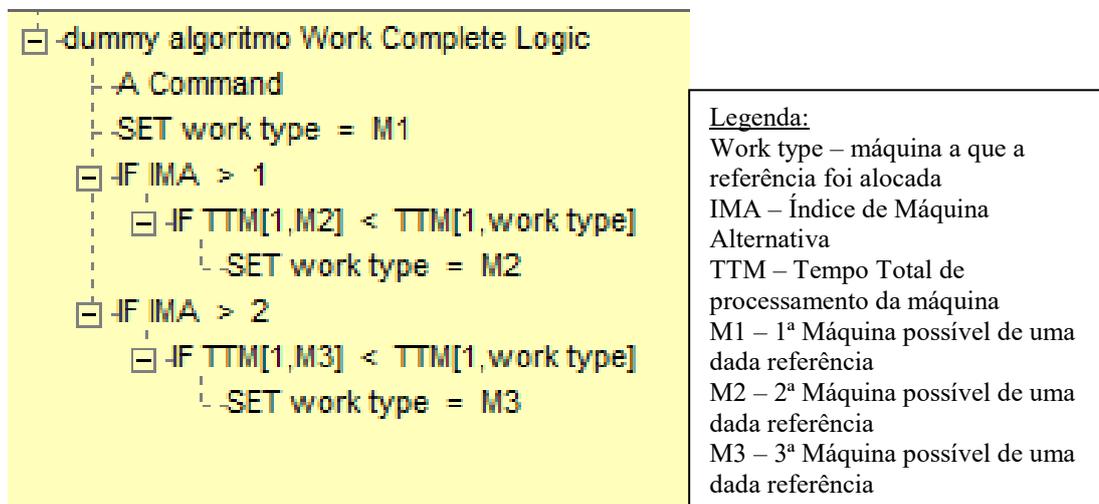


Figura 4.9 - Código de VisualLogic para alocação da tarefa na máquina menos carregada.

O código para a alocação de referências às máquinas atribui sempre a máquina M1 à referência. De seguida, caso o IMA seja superior a 1 verifica se o tempo total de processamento da máquina M2 é menor que a atribuída anteriormente (M1) e, caso seja, atribui a alocação à máquina M2 ou, em caso contrário, mantém a M1.

Por fim, caso o IMA seja superior a 2 verifica se o tempo total de processamento da máquina M3 é menor que a atribuída anteriormente (M1 ou M2, a que tiver menor TTM) e, caso seja, atribui a alocação à máquina M3 ou, em caso contrário, mantém a anterior. Em suma, o código escolhe, de entre as máquinas possíveis, aquela que tiver TTM menor naquele momento.

De notar, que este coeficiente Q não contempla o primeiro fator de desempate da regra de alocação geral, a alocação à máquina com menor IFM. Esta é mais uma das simplificações desta simulação.

Quanto ao sequenciamento consecutivo de referências da mesma família fez-se um ajuste manual ao coeficiente Q para que estes fossem consecutivos. Contudo, não é garantido que essas referências sejam sequenciadas na mesma máquina revelando uma outra simplificação do modelo.

Os resultados obtidos nesta simulação permitem uma avaliação mais global do modelo. A simulação foi feita com dados de um período em que as encomendas do sistema ERP eram muitas. Logo, seria de esperar, que os trabalhos executados com atraso fossem

elevados. Como previsto, verificou-se que os resultados são de apenas 41.4% de referências executadas sem atraso.

Os resultados do APÊNDICE E comprovam que a simulação correu como foi programada, seguindo a lógica definida, sem erros de programação.

Porém, deve ser lembrado que o modelo, para além das várias simplificações que teve aquando da simulação, não tem em conta os cortes de produção muito utilizados nestes períodos de elevadas necessidades do sistema ERP. O modelo utiliza a sugestão do DDMRP como quantidade total a produzir e não apenas a necessidade efetiva. Como tal, mesmo sendo uma abordagem mais global que os testes anteriores os resultados não podem refletir os resultados reais.

4.4.4. Conclusões dos testes e aspetos a melhorar no futuro

Na fase inicial, o modelo foi desenvolvido com o objetivo de contemplar uma parte significativa das situações. Contudo é necessário ter em atenção que nem tudo é tido em conta nesta proposta de modelo.

O modelo proposto neste documento tem em conta as necessidades do sistema ERP e dos moldes em máquina. Em períodos em que as necessidades do sistema ERP são baixas, o resultado do modelo provavelmente será um plano com poucas mudanças de molde, como demonstrou o segundo teste. A resolução deste problema pode passar por correr novamente o modelo com um período de análise mais alargado. No entanto, este fator não é propriamente uma desvantagem. O modelo tem em conta as necessidades efetivas, que são as necessárias para satisfazer as encomendas. Quando há liberdade de escolha, o planeador pode manualmente analisar o sistema DDMRP e as suas sugestões de produção e escolher a referência mais conveniente. À partida, nenhuma opção será errada uma vez que nestas situações se está a trabalhar para encher os buffers.

Outra dessas situações não contempladas, é a descrita no capítulo anterior, relativamente à identificação das versões de moldes que não podem trocar os postigos em máquina. Se esta informação poder ser incluída no modelo, e o sequenciamento tiver estas exceções em conta, é menos um processo a ser analisado, posteriormente à aplicação do modelo, pelo planeador manualmente.

No modelo atual não é considerada a matéria-prima das referências a injetar. Isto porque as máquinas estão, por defeito, alocadas a uma matéria-prima, e quando são definidas as máquinas de cada molde esse fator é tido em conta. No entanto, também à exceções que obrigam a trocar a matéria-prima. A questão da matéria-prima é de extrema importância para o planeamento dos injetados uma vez que os tempos de setup são maiores entre OF de matéria-prima diferente. Devia ser feita uma sequência lógica, com pesos de prioridade, para que o modelo incluía, aquando do sequenciamento, essa informação. Deveria haver um equilíbrio entre atrasar o início de uma produção de uma OF de matéria-prima diferente e falhar o prazo de entrega, ou sequenciar uma OF com matéria-prima igual à anterior, apesar da sua data de entrega não ser tão crítica como a anteriormente descrita.

Outra situação não contemplada neste modelo, é o corte de produções em curso para entrada de OF com maior urgência. Quando o planeador se apercebe que uma OF já atingiu a quantidade a produzir que cobre as necessidades de encomenda, apesar de não ter terminado o lote fabrico atribuído (sugerido pelo sistema DDMRP), mas existe uma outra referência que irá faltar ou atrasar, caso não entre em produção, o planeador corta a produção da referência que está em máquina para que essa referência possa começar a ser produzida. No futuro esta complexidade deveria ser contemplada no modelo.

Quanto aos ensaios, estes também não são considerados no modelo proposto. Os ensaios de novos produtos, melhorias ou outros, são pedidos ao planeador à medida que os respetivos departamentos necessitam da sua execução e são aplicados no plano conforme o espaço de manobra da máquina em questão, ou mesmo por imposição. Porém, esta situação é difícil de inserir no modelo uma vez que não tem um processo lógico evidente.

Por fim, a possibilidade, prevista no modelo, do planeador poder reordenar e alocar o plano de forma diferente após a sua implementação, também permite flexibilidade para responder a situações que este modelo não contempla. Também no caso de haver um período com poucas encomendas e necessidades, poderá haver dias em que o número de mudanças não atinge o número indicado pelo utilizador. Neste caso o utilizador deverá acrescentar mudanças manualmente com base nas sugestões do sistema DDMRP ou aumentar o período de análise e voltar a correr o modelo.

Assim sendo, o planeador terá sempre de fazer ajustes ao plano, após a sua execução com modelo aqui proposto, o próprio modelo permite essa situação. Porém, no

futuro seria interessante minimizar essa necessidade de ajuste, indo de encontro aos aspetos referidos neste capítulo, trabalhando de forma contínua no modelo para que este contemple o maior número de cenários possível.

5. CONCLUSÕES

Num mundo cada vez mais competitivo e com clientes cada vez mais exigentes, as organizações que querem sobreviver em negócios altamente competitivos devem abordar a necessidade de uma gama diversificada de produtos. Numa economia global crescente, a fabricação a custos rentáveis tornou-se uma exigência para se ser competitivo.

Quanto à eficiência do processo de planeamento dos injetados, especificamente, a execução do plano diário de mudança de moldes, o modelo aqui proposto tem potencial para proporcionar um aumento de eficiência considerável, uma vez que a parte mais morosa e que toma mais tempo da execução desta tarefa, é a consulta de todas as referências provenientes da consulta realizada no início do dia. Para cada uma dessas referências, é necessário analisar o stock existente, as necessidades e analisar a data em que é necessário produzir.

O modelo executado engloba grande parte das situações identificadas no apuramento do processo de planeamento de injetados. O foco desta dissertação, foi precisamente apresentar um modelo simples que permita automatizar e padronizar a maioria dos procedimentos e tratar os casos mais específicos de forma manual.

Apesar deste modelo não contemplar todas as situações, no futuro, esta questão deveria ser trabalhada de forma a tornar o modelo gradualmente mais complexo, adicionar-lhe conjuntos lógicos que consigam satisfazer a maioria das situações e aos poucos incluir todas as questões abordadas no capítulo 4.4.

Mesmo com a realização dos dois testes ao modelo não foi possível apurar todas as situações em que o modelo poderá fracassar ou errar. Os testes realizados foram muito limitados. No início, aquando da realização dos testes, os requisitos mencionados no capítulo 4.3 não estavam assegurados. Também o número de máquinas em teste não foi o número total de máquinas, o que impede a verificação de todas as situações e avaliar a eficácia do modelo de forma quantitativa. Porém, fazer manualmente a execução do modelo proposto para todo o parque de máquinas da organização é muito moroso e, claro,

altamente falível pois exige um estado de concentração muito elevado durante muito tempo.

A dificuldade em obter uma avaliação quantitativa ao modelo proposto é evidente. Mesmo com a simulação do modelo com o intuito de obter resultados tendo em conta uma aplicação mais global do modelo, os resultados deixam a desejar, uma vez que, com o pouco tempo disponível para utilização do software, o modelo teve de ser simplificado.

Neste modelo a flexibilidade é uma característica muito importante. O modelo prevê a interação do utilizador, permite a completa manipulação do plano proposto para que o planeador possa fazer face a situações que não foram contempladas no modelo, mas também para situações excecionais. Por este motivo, e apesar desta característica ter sido criada com o intuito de satisfazer as situações não contempladas no modelo, esta deve ser mantida para as situações de exceção.

O planeamento não é tarefa fácil, cada vez tem tendência a tornar-se mais moroso e complexo devido ao crescimento das organizações. Desta forma, é sempre vantajoso poder automatizar o máximo possível, por forma a tornar o processo mais rápido, mais simples e, idealmente, mais barato.

O objetivo é aliviar a carga humana necessária para a execução do planeamento dos injetados da organização e tornar o processo menos flexível, para que em circunstâncias idênticas as decisões tomadas sejam coerentes e evitem situações de planeamento diferentes, executados por pessoas diferentes.

Sem resultados fiáveis na execução de testes ao modelo, deveria seguir-se a implementação informática do modelo para se poderem executar testes exaustivos e analisar a sua eficácia. Avaliar os pontos fortes e os pontos fracos, e melhorar o modelo de forma gradual.

Contudo, antes de implementar o modelo devem ser assegurados os pressupostos previstos no capítulo 4.3, com especial atenção para a situação de erros de stock. Sobre este tema devem ser trabalhados novos procedimentos operacionais para evitar erros, já que a influência dos mesmos no plano proposto pelo modelo é evidente. Também devem ser tomadas as medidas necessárias, e ser implementados procedimentos, por forma a que a informação do sistema ERP seja atualizada com frequência e garanta a informação atualizada quando se corre o modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

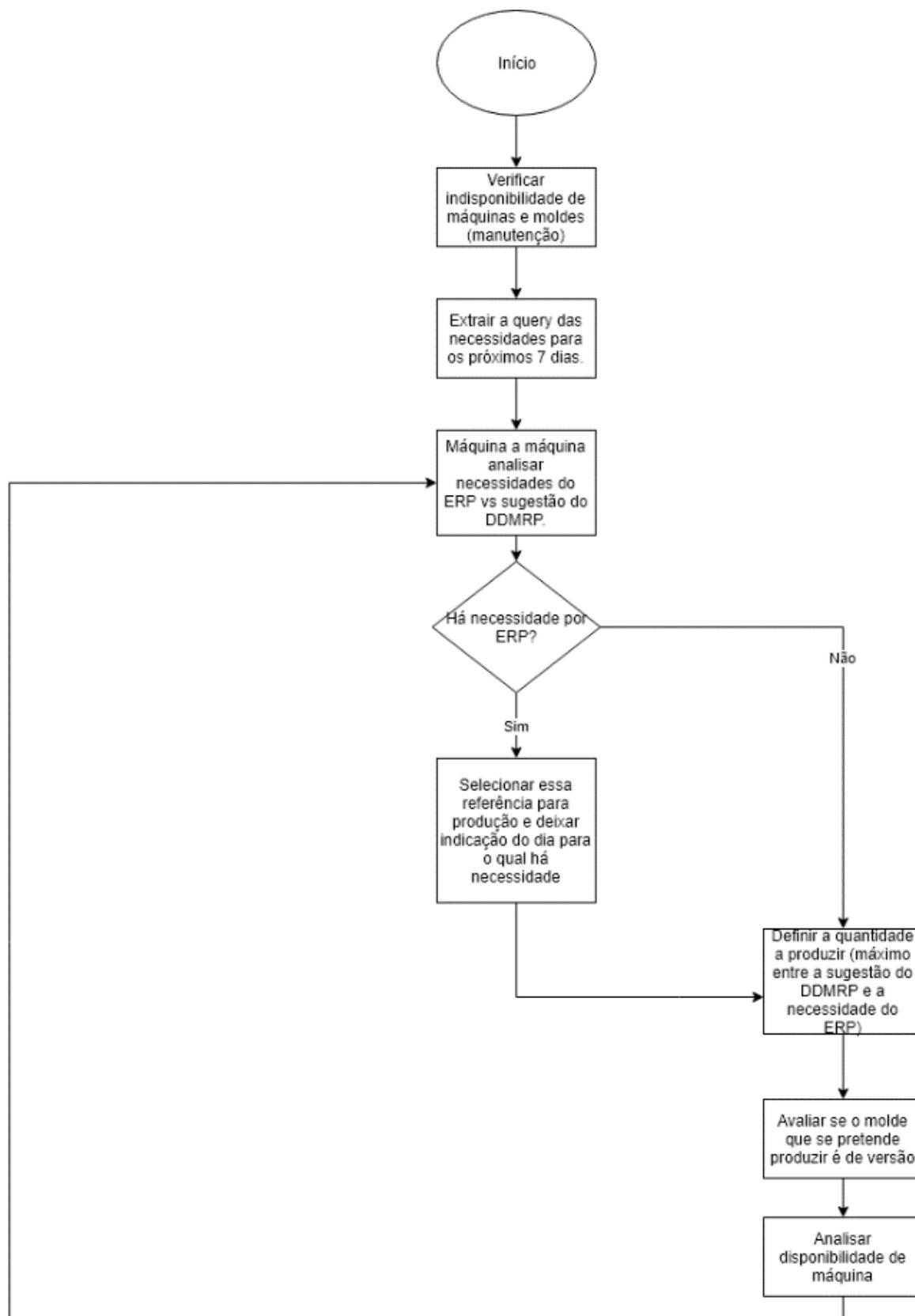
- Drexl, A. e Kimms, A. (1997) “Lot sizing and scheduling – Survey and extensions”, *European Journal of Operational Research*, 99, 221-235.
- Harrison, D., Petty, D., “Systems for Planning and Control in Manufacturing”, Newnes, Oxford, 2002.
- Hoekstra, S. e Romme, J. (1992), “Integrated Logistics Structures: Developing Customer Oriented Goods Flow”, McGraw-Hill, London.
- Hopp, W. and Spearman, M., (2011) "Factory Physics", Waveland Press, Inc.
- OLI - Sistemas Sanitários, S. A. (2019), “ OLI – Sistemas Sanitários S.A.”, Acedido a 12 de Maio de 2019, em <https://www.oli-world.com/pt/empresa/a-oli/>
- OLI - Sistemas Sanitários, S. A. (2019), “ Vídeo Institucional OLI 2019”, Acedido a 12 de Maio de 2019, em: <https://www.oli-world.com/pt/servicos/videos/video-institucional-oli-2019/>
- OLI - Sistemas Sanitários, S. A. (2019), “Relatório e Contas 2018”, Acedido a 20 de Junho de 2019, em: <https://www.oli-world.com/pt/empresa/relatorio-e-contas/>
- OLI - Sistemas Sanitários, S. A. (2018), “Relatório e Contas 2017”, Acedido a 20 de Junho de 2019, em: <https://www.oli-world.com/pt/empresa/relatorio-e-contas/>
- OLI - Sistemas Sanitários, S. A. (2017), “Relatório e Contas 2016”, Acedido a 20 de Junho de 2019, em: <https://www.oli-world.com/pt/empresa/relatorio-e-contas/>
- OLI - Sistemas Sanitários, S. A. (2016), “Relatório e Contas 2015”, Acedido a 20 de Junho de 2019, em: <https://www.oli-world.com/pt/empresa/relatorio-e-contas/>
- Ptak, C., Smith, C. (2016) “Demand driven requirements planning (DDMRP)”, Industrial Press, Inc.
- Silva, C. e Ferreira, L. (2003) “MICROPLANO – Um sistema de apoio à decisão para o planeamento da produção na indústria dos plásticos”, *Associação Portuguesa de Investigação Operacional*, 23, 131-144.
- Stevenson, W. (2015) “Operations Management”, Twelfth Edition, McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York, NY.
- Sule, D., (2008) “Production Planning and Industrial Scheduling”, CRC Press, Second Edition, New York.
- Tamaki, H., Hasegawa, Y., Kozasa, J. e Araki, M. (1993) “Application of Search Methods to Scheduling Problem in Plastics Forming Plant: A Binary Representation Approach”, *Proceedings of the 32nd Conference on Decision and Control*, San Antonio, Texas, December 1993. pp. 3845-3850.

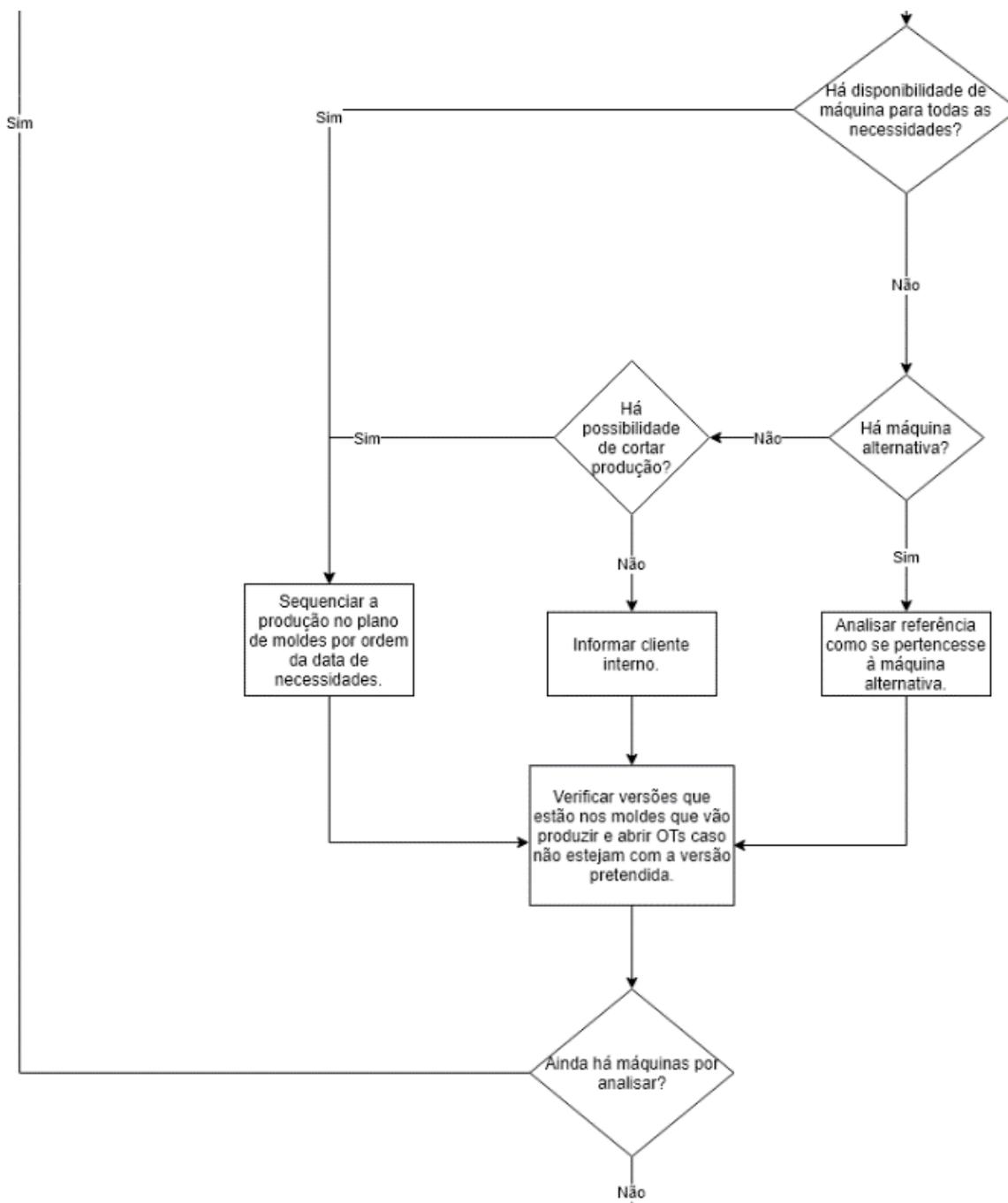
Vollmann, T., Berry, W. e Whybark, D. (1992) “Manufacturing Planning and Control Systems”, Third Edition, IRWIN, Burr Ridge, IL.

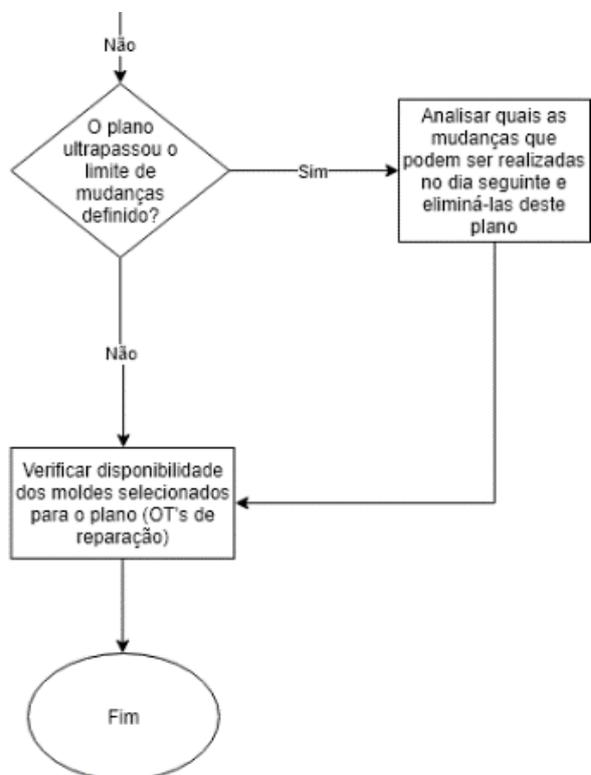
Wedgwood, I., (2006) “Lean Sigma: A Practitioner's Guide”, Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ.

APÊNDICE A

Fluxograma do procedimento para execução do plano de mudança de moldes

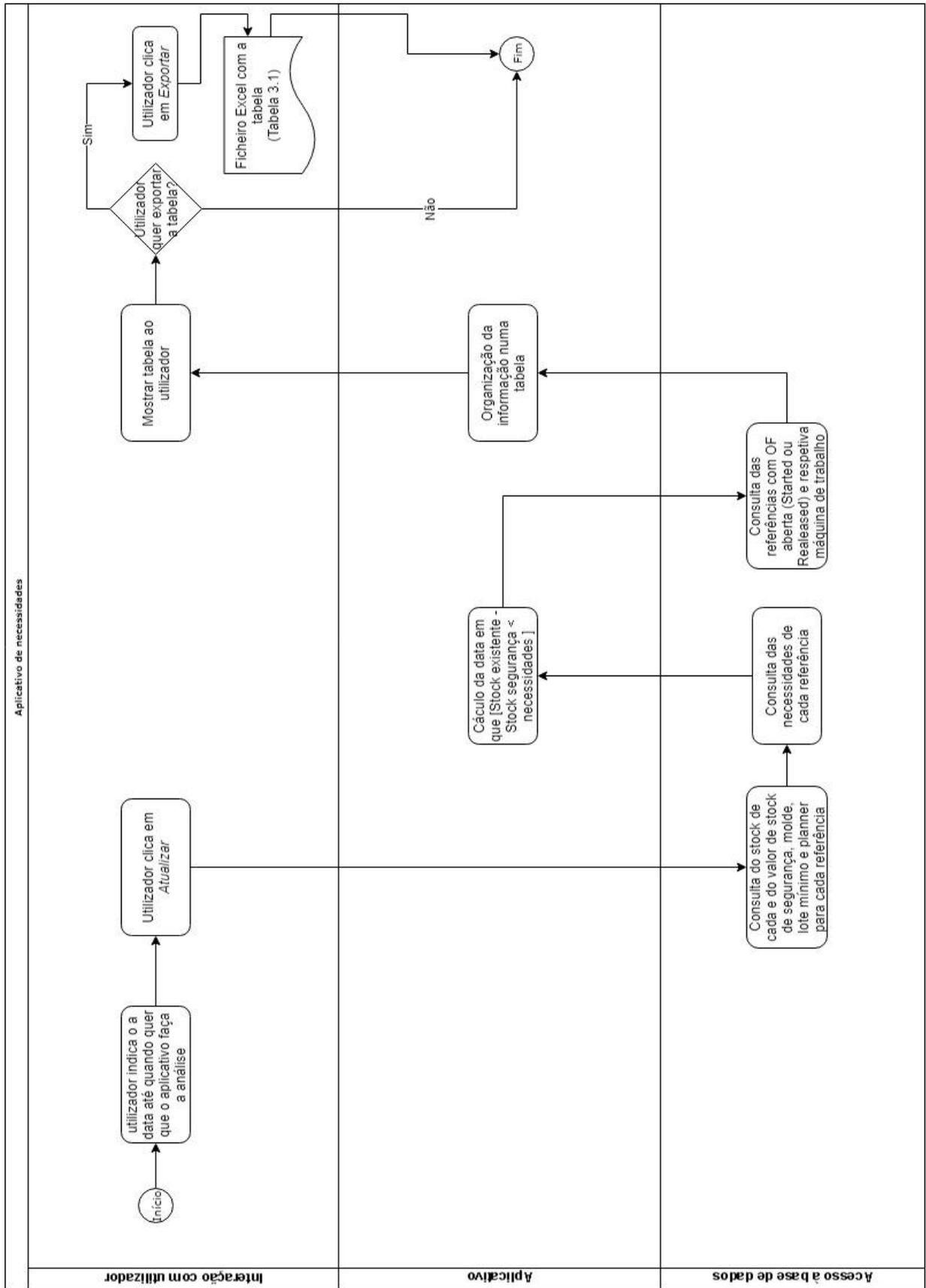






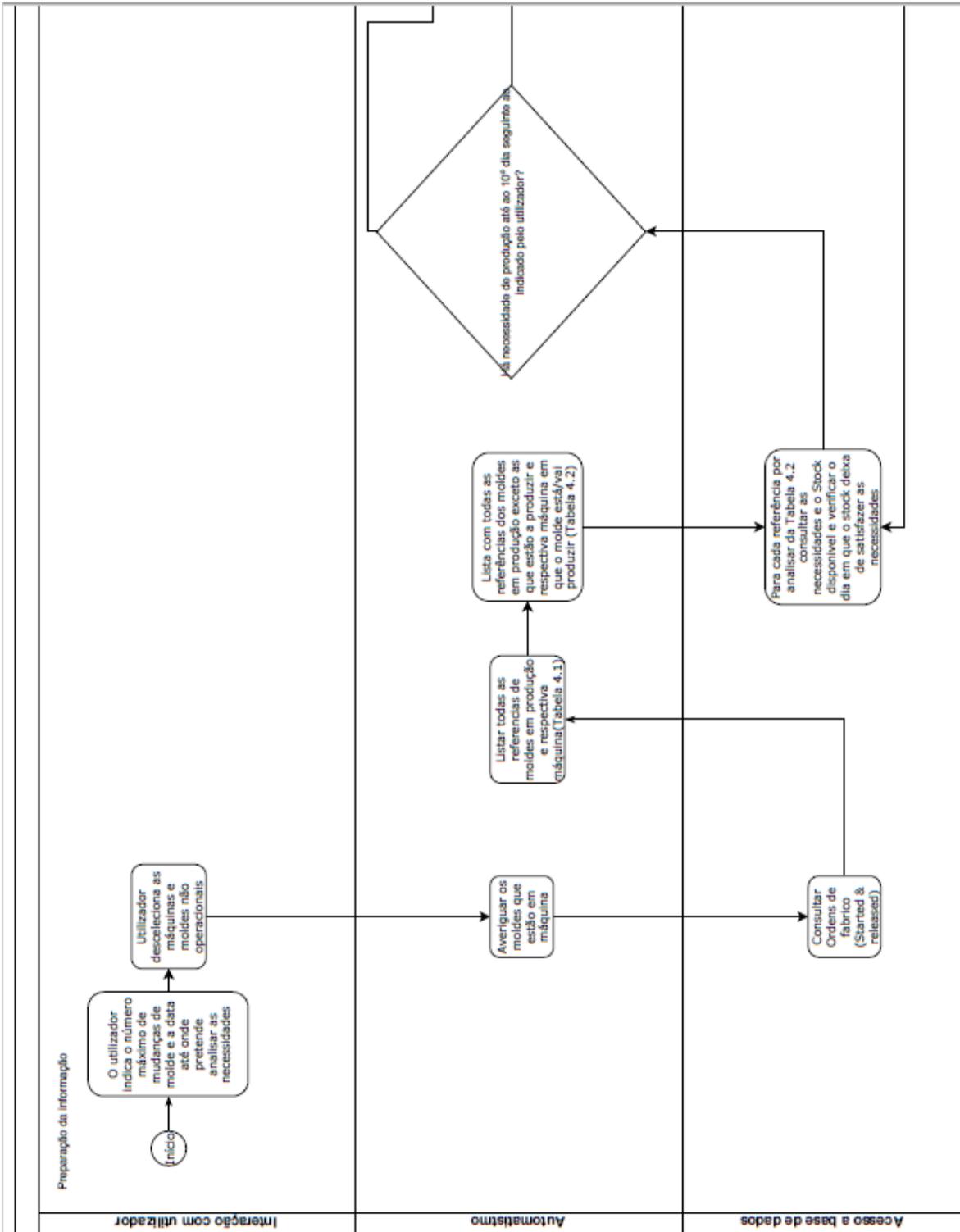
APÊNDICE B

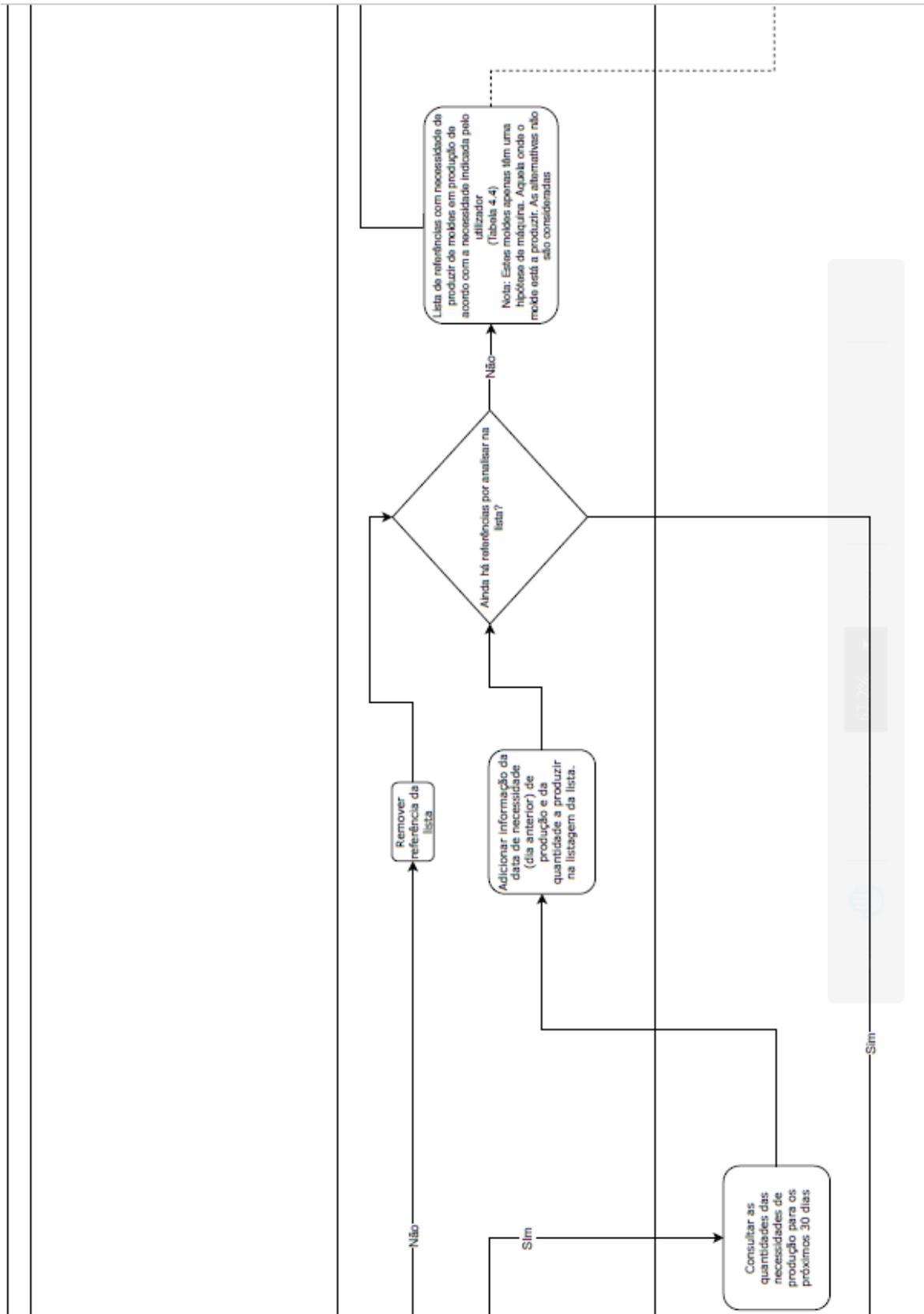
Diagrama de processo do aplicativo de consulta das necessidades do ERP

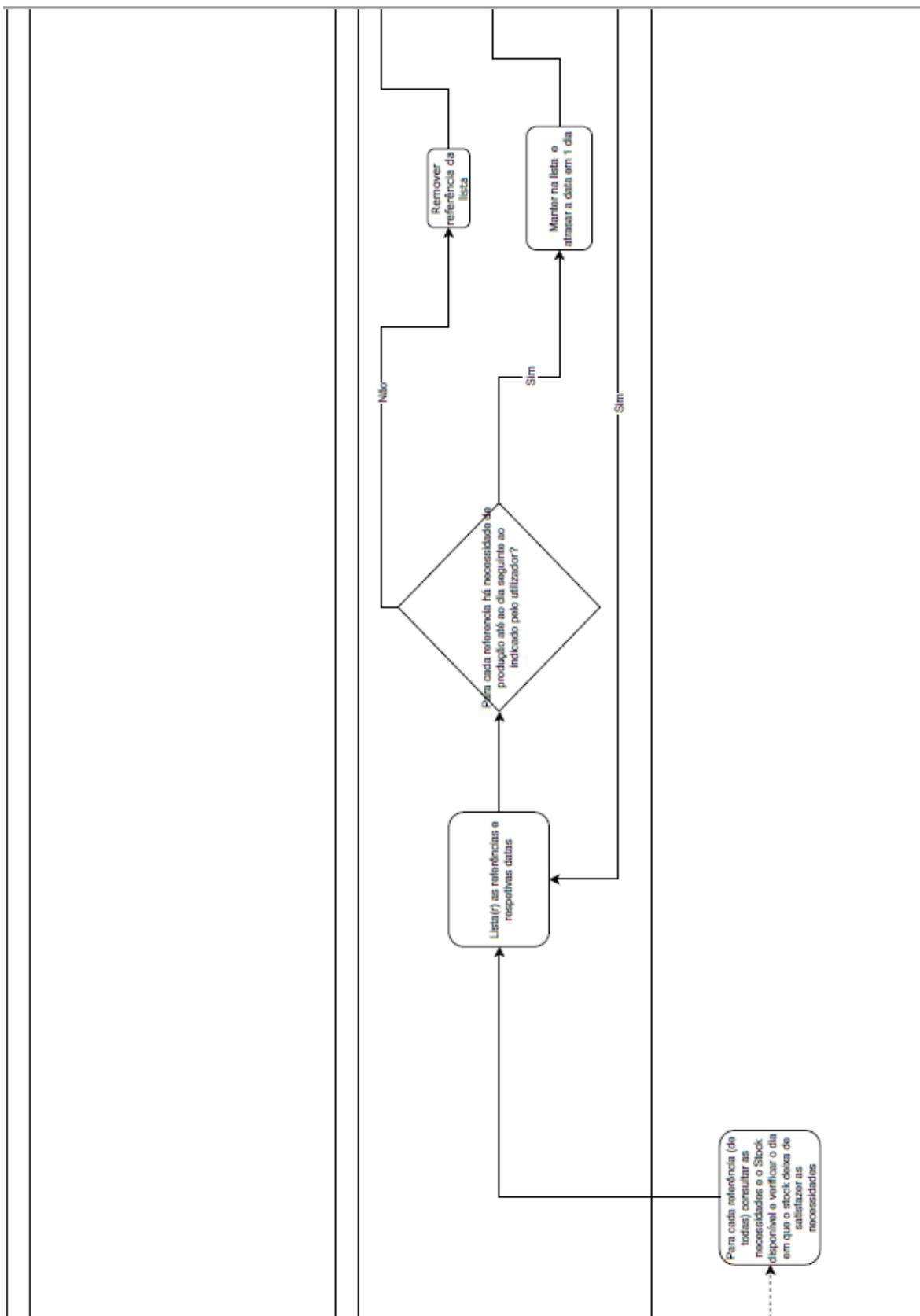


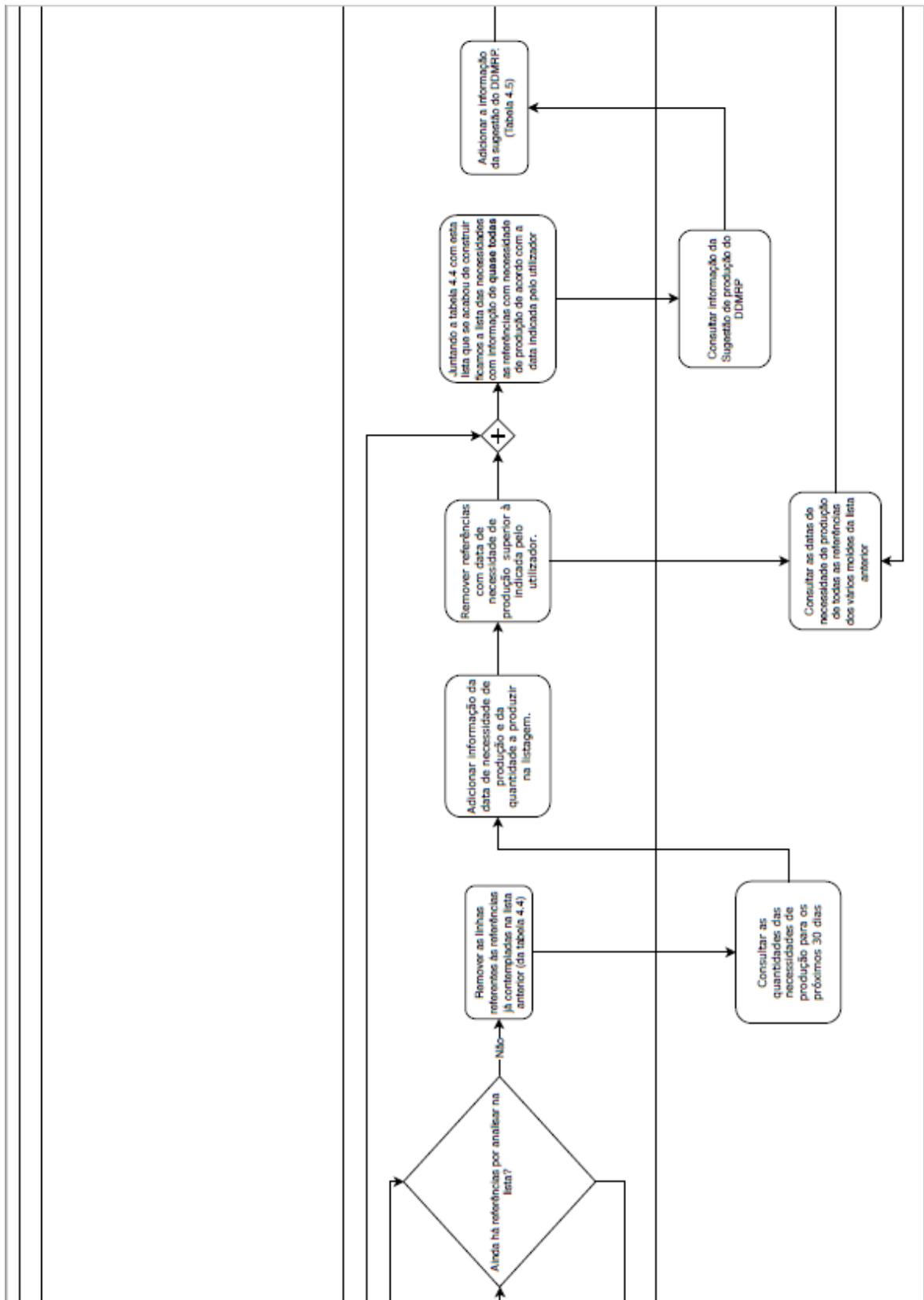
APÊNDICE C

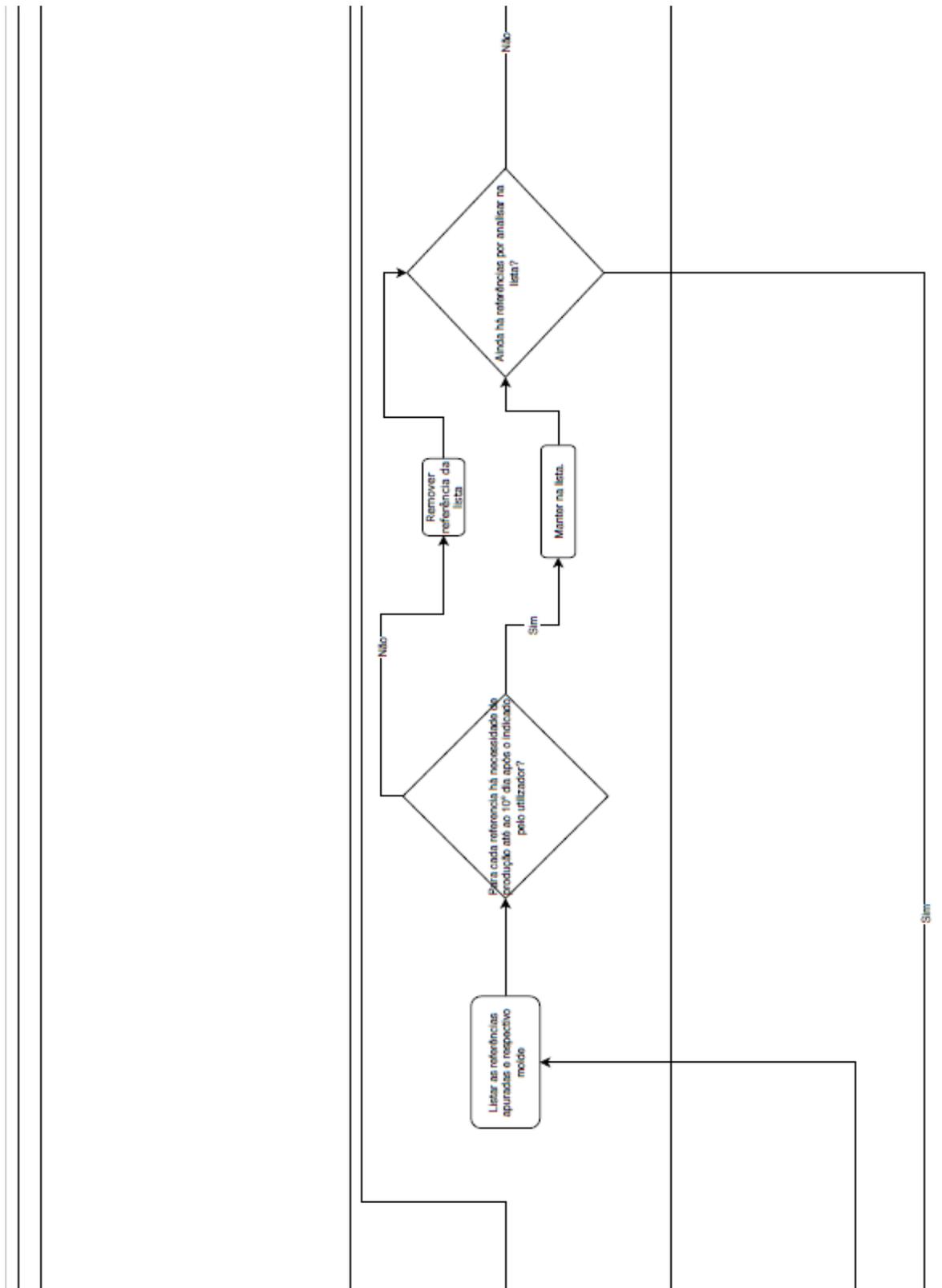
Diagrama de processo do modelo proposto



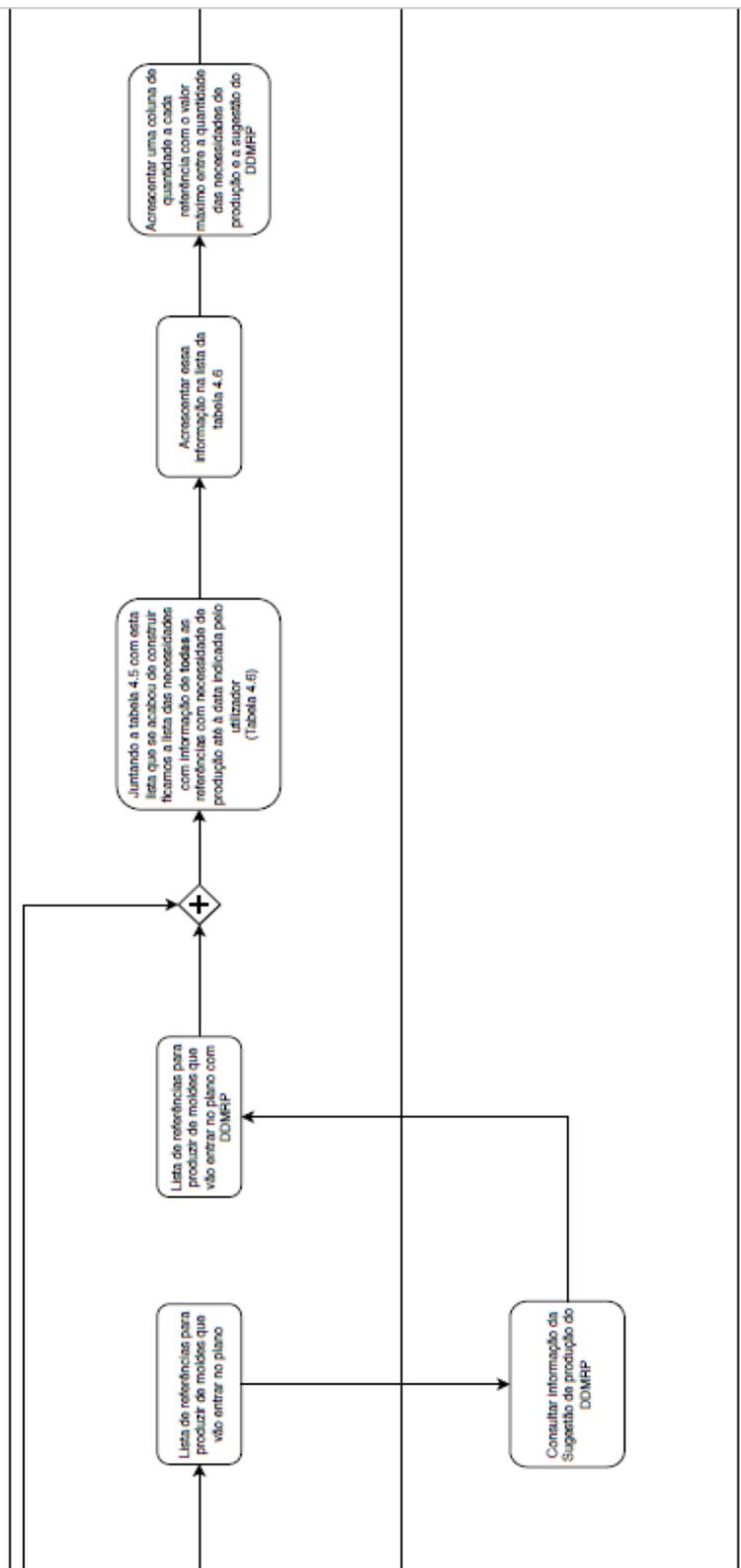


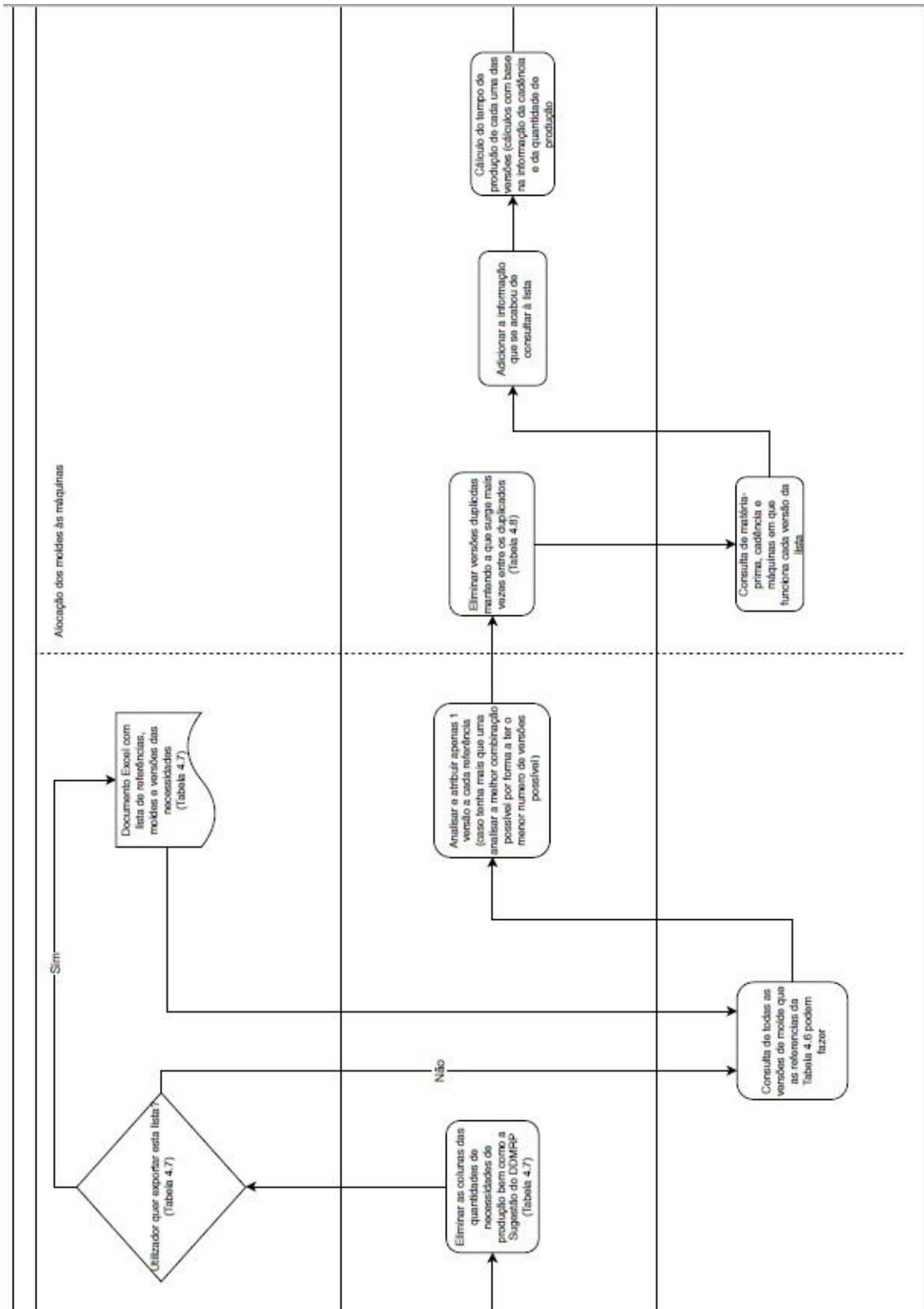


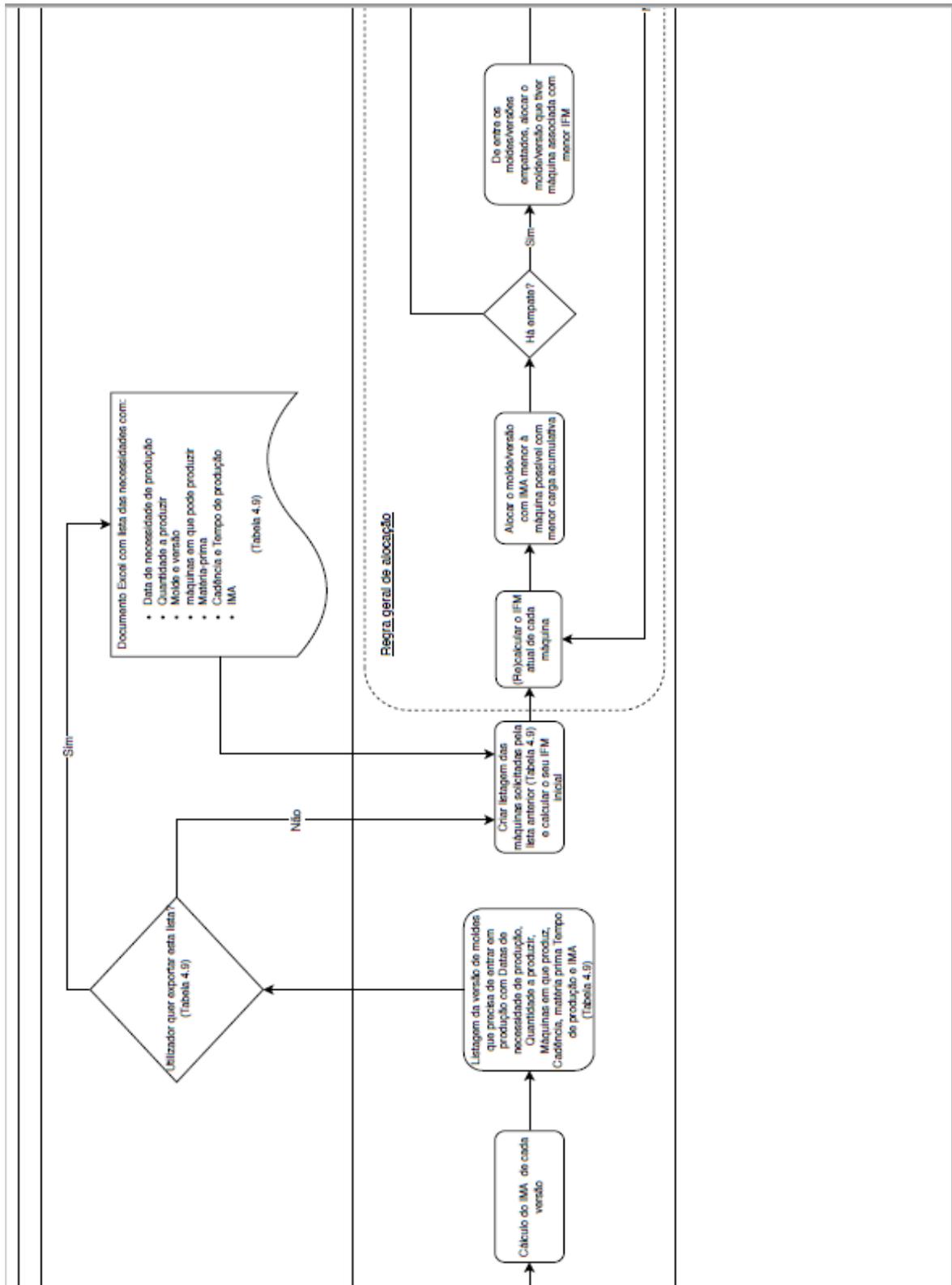


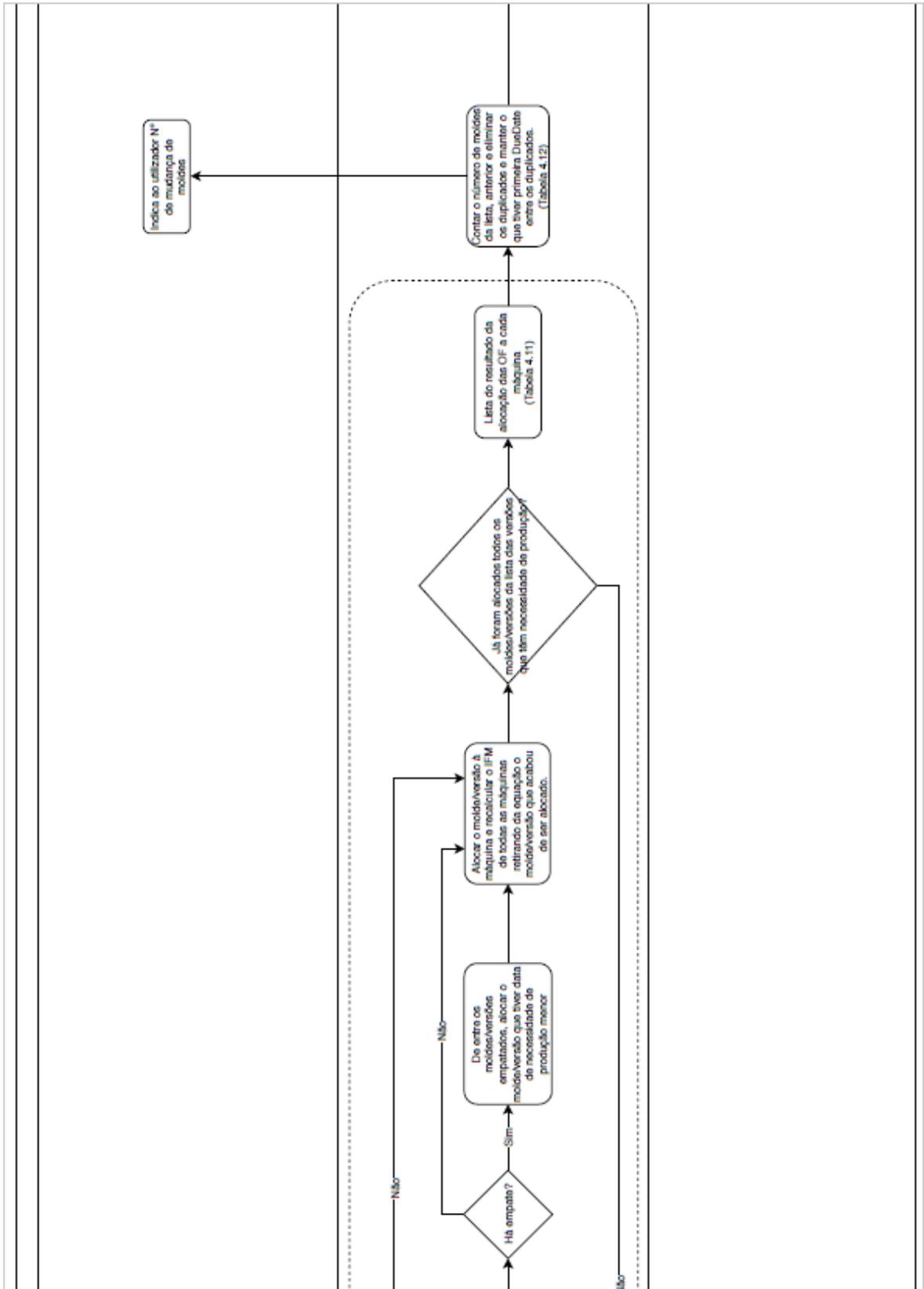


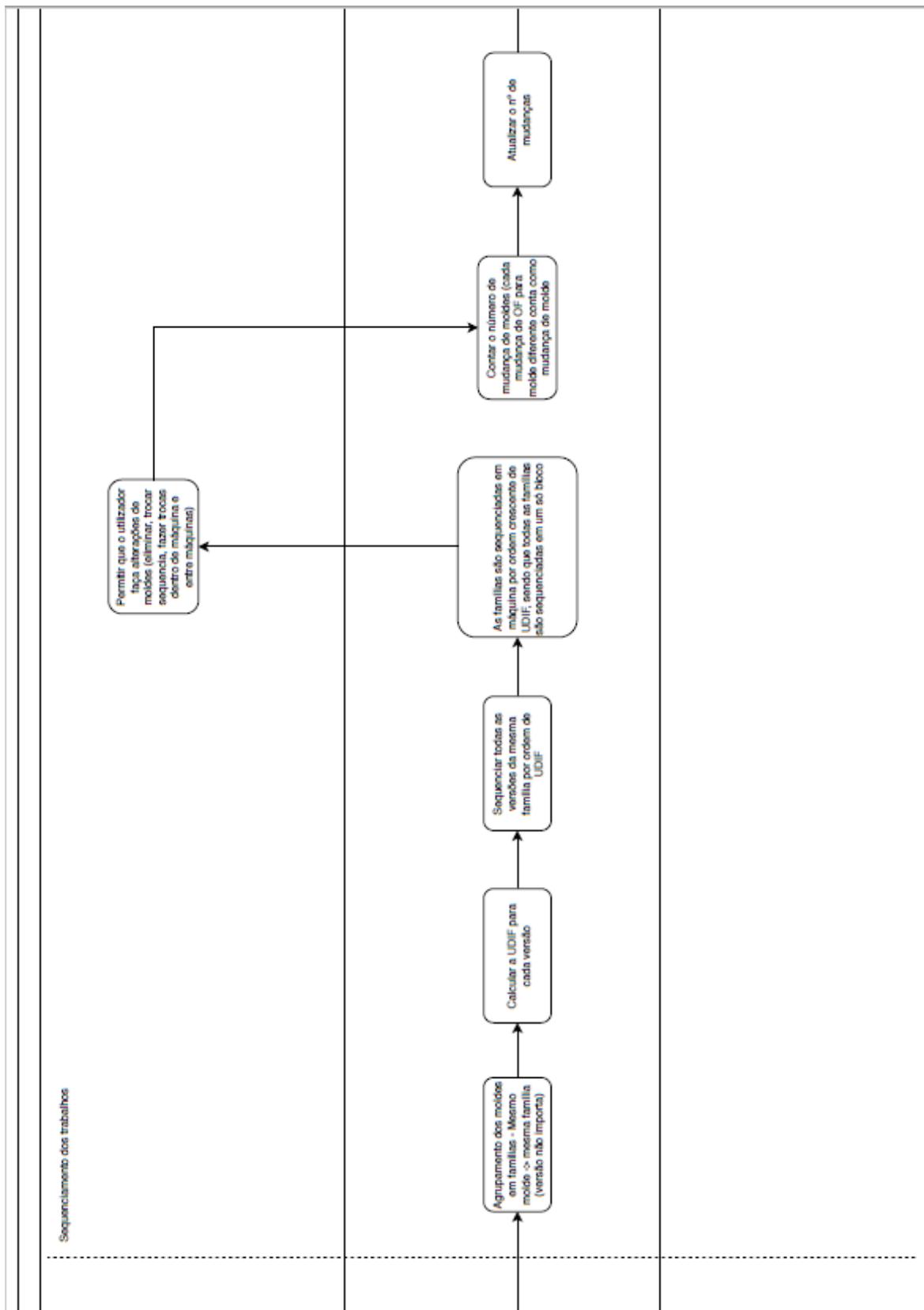
Automatismo de Alocação e Sequenciamento - Injectados

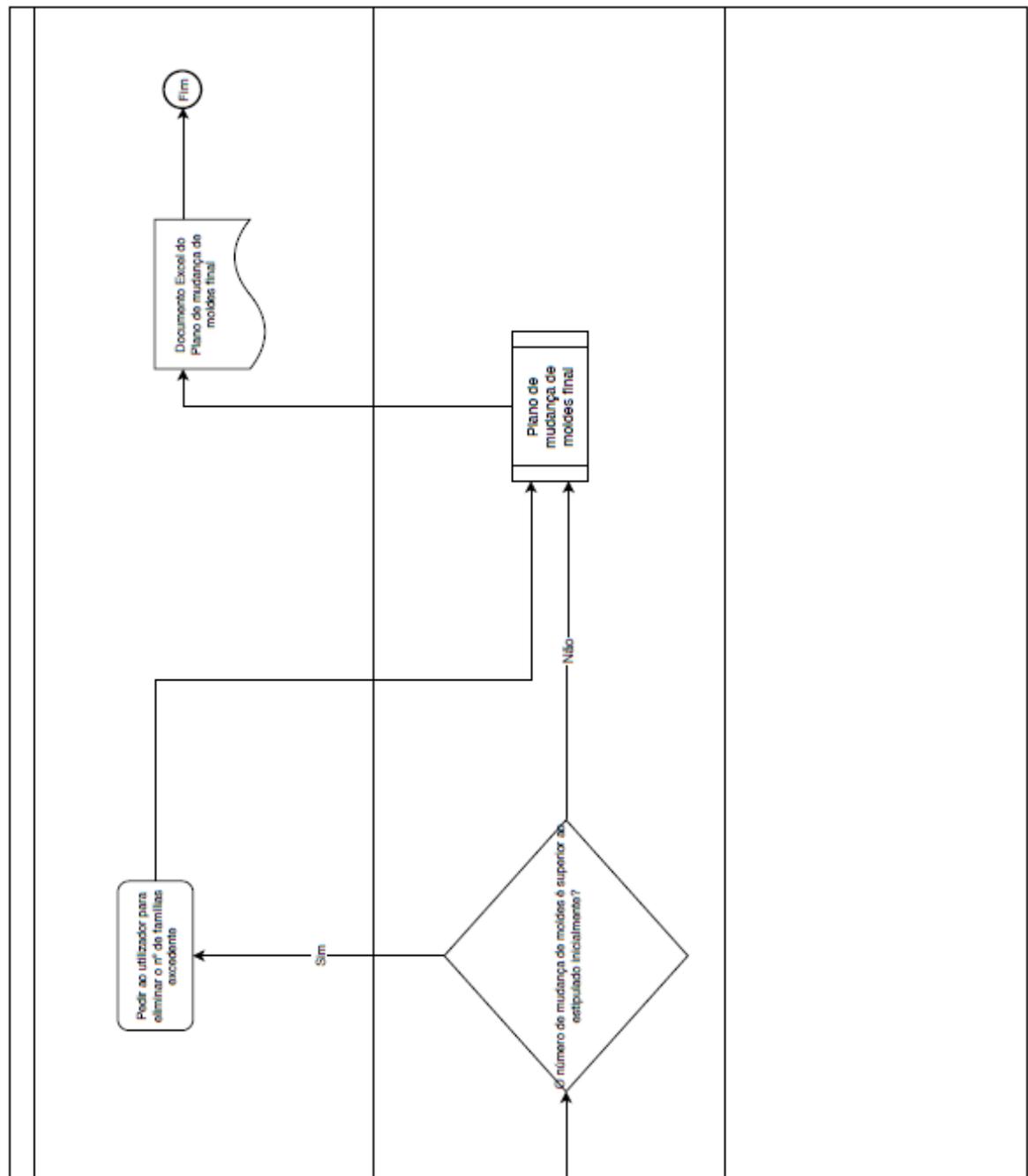












APÊNDICE D

Versões dos moldes do exemplo do capítulo 4.2

Molde	versão	referencias que produz					
19	a	BA040850307					
19	b	BA040851117					
19	c	BA040853308					
28	a	BA020850803					
28	b	BA020850498					
28	c	CS03000008651					
28	d	BA020850879					
28	e	BA020850547					
28	f	CS03000008650					
28	g	BA020860257					
28	h	CS03000008649					
28	i	BA060581531					
28	j	BA050540510					
28	l	BA050540511					
28	m	BA020853043					
35	a	BA060850298					
35	b	BA040581687					
35	c	BA060581688					
35	d	BA060581689					
35	e	BA060581690					
35	f	BA060581691					
35	g	BA50000012795					
35	h	BA50000000022					
35	i	BA50000000024					
35	j	BA50000000025					
35	l	BA50000000026					
35	m	BA060853548					
35	n	BA060850220					
35	o	BA060850912					
35	p	BA060850589					
59		BA50000009087					
62	a	BA040850324	BA040851205	BA040850304			
62	b		BA040851205	BA040850304	BA50000084616		
62	c					BA040851395	BA040851394
62							BA040851503
66		BA50000007767					
80	a	BA010493331	BA010850134				
80	b	BA010493331					
80	c		BA010850134				
84		BA050850346					
96		BA010853304					
108	a	BA040819262					
108	b		BA040819269				
108	c		BA040819269	BA020719280			
108	d				BA040850749		
108	e			BA020719280	BA040850749		
108	f				BA040850749	BA040530106	
108	g						BA040853089

APÊNDICE E

Tabela de dados utilizados na simulação do modelo

ref	DataNec	M1	M2	M3	IMA	UDIF	TempProd	Quantida de	DD	Molde	ordem UDIF	Q	work type		
													Simulation time	(máquina atribuída)	On time (41.4%)
BA080851590	-10	68			1	-10.175	0.174749	973	07/06/2019	MOL0483	1	1001	0.174748563	68	10.3495
BA040541701	-4	65			1	-4.5125	0.5125	1107	13/06/2019	MOL0850	5	1005	0.805770194	65	5.31827
BA020719017	-3	96			1	-3.0833	0.083333	3200	14/06/2019	MOL0794	8	1008	0.083333333	96	3.166667
BA50000094562	1	101			1	-2.4344	3.434406	16650	18/06/2019	MOL0840	9	1009	3.434405941	101	5.868812
BA50000093463	1	67			1	-1.3856	2.385552	17634	18/06/2019	MOL0714	11	1011	2.385551948	67	3.771104
BA50000013828	0	63			1	-1.0576	1.057581	7310	17/06/2019	MOL0426	12	1012	2.763008366	63	3.820589
BA50000878334	0	106			1	-0.8064	0.806354	7741	17/06/2019	MOL0188	15	1015	0.806354167	106	1.612708
BA040541803	2	66			1	-0.4596	2.45963	15171	19/06/2019	MOL0156	18	1018	2.45963035	66	2.919261
BA50000032630	0	54			1	-0.431	0.431034	900	17/06/2019	MOL0967	19	1019	0.431034483	54	0.862069
BA50000034057	2	87			1	-0.1966	2.196619	33002	19/06/2019	MOL1117	22	1022	2.196618743	87	2.393237
BA50000005827	7	76			1	0.36288	6.637121	17522	24/06/2019	MOL1035	24	1024	10.09008884	76	9.72721
BA020719627	2	67			1	1.38676	0.613241	2399	19/06/2019	MOL0416	31	1031	2.998793257	67	1.612035
BA50000878526	2	59			1	1.8332	0.1668	1253	19/06/2019	MOL0604	33	1033	0.166799787	59	-1.6664
BA50000008829	4	116			1	3.90126	0.098736	500	21/06/2019	MOL0819	35	1035	0.098736177	116	-3.80253
BA060850358	7	72			1	4.96195	2.03805	14087	24/06/2019	MOL0993	39	1039	6.161617549	72	1.199667
BA060581245	7	73			1	5.31818	1.681818	3108	24/06/2019	MOL0152	40	1040	1.681818182	73	-3.63636
BA50000007868	7	87			1	5.69419	1.30581	3416	24/06/2019	MOL0766	41	1041	3.502429141	87	-2.19176
BA020719624	7	124			1	5.7771	1.222901	11417	24/06/2019	MOL0171	42	1042	1.2229006	124	-4.5542
BA50000070950	7	126			1	6.66501	0.334987	3039	24/06/2019	MOL0553	45	1045	0.334986773	126	-6.33003
BA080851559	7	65			1	6.90942	0.09058	150	24/06/2019	MOL0070	48	1048	0.896349904	65	-6.01307
BA50000037900	7	65			1	6.91546	0.084541	140	24/06/2019	MOL0070	49	1049	0.980890967	65	-5.93457
BA50000009549	7	88			1	6.91667	0.083333	600	24/06/2019	MOL0329	50	1050	0.083333333	88	-6.83333
BA060581339	7	116			1	6.91667	0.083333	400	24/06/2019	MOL0109	51	1051	0.18206951	116	-6.7346
BA50000011029	8	68			1	7.91667	0.083333	204	25/06/2019	MOL0310	54	1054	0.258081896	68	-7.65858
BA50000014290	10	105			1	9.09304	0.906963	1589	27/06/2019	MOL1063	56	1056	1.112264419	105	-7.98077
BA050540055	15	79			1	14.558	0.442029	1464	02/07/2019	MOL1028	58	1058	0.442028986	79	-14.1159
BA50000120011	-7	65	64		2	-7.0833	0.083333	368	10/06/2019	MOL0038	2	2002	0.083333333	64	7.166667
BA040557526	-5	67	68		2	-5.2419	0.241944	871	12/06/2019	MOL0852	3	2003	0.50002634	68	5.741971
BA50000192604	-3	71	88		2	-3.2882	0.288194	2075	14/06/2019	MOL0817	7	2007	0.288194444	71	3.576389
BA50000000136	1	58	50		2	-0.8127	1.812708	8701	18/06/2019	MOL0158	14	2014	1.812708333	58	2.625417

BA50000000149	0	52	120	2	-0.5578	0.557778	20080	17/06/2019	MOL0437	16	2016	0.557777778	52	1.115556	
BA50000050424	0	78	67	2	-0.4638	0.463845	2104	17/06/2019	MOL0851	17	2017	0.463844797	78	0.92769	
BA060581126	1	66	70	2	-0.2091	1.209077	3250	18/06/2019	MOL0611	21	2021	1.209077381	70	1.418155	
BA50000013819	2	71	88	2	0.26681	1.733193	22171	19/06/2019	MOL1082	23	2023	4.784252488	88	4.517445	
BA020601524	1	70	66	2	0.78479	0.215206	1002	18/06/2019	MOL0602	26	2026	1.424283567	70	0.63949	
BA50000089109	1	56	96	2	0.87159	0.128412	715	18/06/2019	MOL0635	27	2027	0.128412356	56	-0.74318	
BA50000045218	7	72	64	2	1.10338	5.896618	131471	24/06/2019	MOL0099	28	2028	10.85962867	64	9.756247	
BA040541615	2	66	70	2	1.20741	0.792593	6848	19/06/2019	MOL0247	29	2029	2.21687616	70	1.009469	
BA50000151859	2	66	66	2	1.35365	0.646354	7446	19/06/2019	MOL0830	30	2030	3.105984517	66	1.752339	
BA50000192608	7	107	97	2	1.75737	5.242625	14218	24/06/2019	MOL0006	32	2032	5.242625369	107	3.485251	
BA5000006351	2	70	66	2	1.91667	0.083333	532	19/06/2019	MOL0213	34	2034	2.300209493	70	0.383543	
BA50000879758	7	123	58	2	4.95833	2.041667	6860	24/06/2019	MOL0836	38	2038	2.041666667	123	-2.91667	
BA50000037298	8	80	76	2	6.33268	1.667318	5122	25/06/2019	MOL1008	43	2043	1.667317708	80	-4.66536	
BA50000009108	8	96	56	2	6.70859	1.291412	20270	25/06/2019	MOL0540	46	2046	1.374745158	96	-5.33384	
BA040851015	8	55	60	2	6.74278	1.257222	6789	25/06/2019	MOL0522	47	2047	1.257222222	55	-5.48556	
BA050540081	8	66	70	2	7.85988	0.140121	834	25/06/2019	MOL0633	52	2052	2.440330461	70	-5.41955	
BA5000092269	8	76	80	2	7.90748	0.092519	695	25/06/2019	MOL1190	53	2053	1.759836345	80	-6.14765	
BA050540063	15	66	81	2	12.2132	2.786806	12039	02/07/2019	MOL0767	57	2057	2.786805556	81	-9.42639	
BA5000093436	-4	66	70	3	-5.0322	1.032176	4459	13/06/2019	MOL1002	4	3004	1.496020723	78	6.528197	
BA50000881333	-3	46	65	3	-3.4624	0.462387	2852	14/06/2019	MOL0773	6	3006	0.462386511	46	3.924773	
BA040541717	7	46	65	3	6.55431	0.445687	2749	24/06/2019	MOL0773	44	3007	0.90807393	46	-5.64624	
BA50000192913	0	40	72	116	3	-1.7312	1.731203	5526	17/06/2019	MOL0885	10	3010	1.731203008	40	3.462406
BA50000136017	0	53	80	76	3	-0.8259	0.825926	3568	17/06/2019	MOL0944	13	3013	0.825925926	53	1.651852
BA040541719	0	53	73	106	3	-0.2762	0.276215	1591	17/06/2019	MOL1031	20	3020	1.082569445	106	1.358785
BA50000879767	4	125	105	79	3	0.70243	3.297566	8943	21/06/2019	MOL1094	25	3025	3.539028659	125	2.836595
BA050601513	7	66	70	67	3	4.40467	2.595331	16008	24/06/2019	MOL0046	36	3036	5.0356612	70	0.630992
BA50000154469	8	85	100	58	3	4.65438	3.34562	6263	25/06/2019	MOL0677	37	3037	3.358325213	85	-1.29606
BA070853333	9	42	46	54	3	8.85979	0.140208	2692	26/06/2019	MOL0131	55	3055	0.140208333	42	-8.71958