



Marta Cordeiro Morais

Organização do sistema de produção de uma empresa de produtos de marroquinaria e contribuição para o controlo da atividade produtiva

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marta Cordeiro Morais

Organização do sistema de produção de uma
empresa de produtos de marroquinaria e
contribuição para o controlo da atividade
produtiva

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Sílvio do Carmo Silva

Outubro de 2012

Agradecimentos

A todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Sílvio do Carmo Silva, com quem tive oportunidade de partilhar este projeto em todas as fases, por partilhar sempre conhecimentos inspiradores e exigir o rigor.

À Universidade do Minho, por me permitir cruzar com pessoas inspiradoras.

À empresa, pela oportunidade e pela confiança depositada ao permitir realizar este projeto.

Ao Fábio, colega de estágio, pelo companheirismo ao longo da experiência na empresa.

Aos meus pais por permitirem tudo acontecer. À minha família e amigos pelo incentivo constante. Ao Ivo por me fazer sempre acreditar.

A todos, um muito obrigada!

Resumo

Relata-se nesta dissertação o estudo de organização e controlo da produção numa empresa, em fase de crescimento, de artigos de marroquinaria, desenvolvido no contexto da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade do Minho.

O estudo começa por fazer uma análise cuidada e alargada do funcionamento atual – “*as is*” – e do desempenho do sistema produtivo. Aplica-se particularmente o método VSM (*Value Stream Mapping*) para avaliar parte desse desempenho.

O trabalho desenvolvido desdobra-se em duas partes principais que são relacionadas: a da reconfiguração do sistema de produção e a do controlo da atividade produtiva (CAP) e do fluxo de materiais. A primeira incide principalmente sobre a fase de preparação de componentes cortados, para poderem ser montados nas linhas de montagem. Esta preparação envolve diversos equipamentos e vários operadores para realizarem as diversas operações de transformação, numa variedade considerável de diferentes componentes que são então, de forma coordenada com os objetivos produtivos semanais, encaminhados para a montagem.

A secção de preparação foi reconfigurada em células de tecnologia de grupo, cada uma dedicada a uma família de componentes que interagem com uma secção funcional aí definida. Para tal desenhou-se e usou-se uma metodologia, baseada na teoria, abrangendo as diversas fases do processo de formação e organização das células e sua implantação no espaço fabril. Os resultados deste estudo foram aplicados na prática.

A reorganização da preparação permitiu estabilizar a ocupação dos recursos e aproximá-la de 100%, garantindo boa produtividade e bom nível de serviço. Foi feita a aquisição de alguns equipamentos cujo custo se prevê ser reembolsado em 23 meses, resultante apenas da redução conseguida de 45,67% no custo de movimentação de materiais.

A segunda parte do trabalho incide no estudo do controlo da atividade produtiva e do fluxo de materiais na secção de preparação incidindo sobre os modos operatórios e na interação entre células. A atividade intercelular tem que ser coordenada já que as famílias de componentes produzidos em cada célula de preparação, não correspondem às famílias de componentes a montar, pelo que o fluxo de produção de umas células tem de ser coordenado com o das outras para que os componentes necessários para montar um lote de um determinado artigo cheguem sincronizadamente à montagem. O modo operatório proposto na preparação resulta de uma hibridação de vários modos conhecidos, com especial semelhança com o *working balance* e *bucket brigades*. Portanto, procedimentos foram estabelecidos e implementados para garantir boa coordenação interna, dentro da secção de preparação, a dois níveis: intra e intercelular.

O controlo da atividade produtiva numa visão global de interação de todo o sistema produtivo, foi também investigado. Em particular pretendia-se definir prioridades de lançamento do trabalho quer no corte, quer na preparação e nas diversas linhas de montagem, que deveriam convergir para o cumprimento do programa semanal e para um fluxo quase contínuo de produção através do sistema. Para coordenar os lançamentos nas três fases, foi proposto um procedimento de CAP baseado no mecanismo *generic Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization* (gPOLCA) que, embora ainda não

implementado, poderá trazer benefícios importantes na coordenação e controlo da atividade produtiva e do fluxo de trabalho e materiais, no sistema de produção em geral e nas três fases de corte, preparação e montagem em particular.

Palavras-chave: configuração de sistemas produtivos, tecnologia de grupo, balanceamento de linhas de produção, modo operatório de células de produção, controlo da atividade produtiva.

Abstract

This master dissertation reports the work developed in a manufacturing company of leather products for improving manufacturing system organization and control of production.

The work involves both study and description of the system organization and operation as is – showing waste in a value stream mapping (VSM), and a contribution for improving them in two main dimensions: system reconfiguration and production activity control (PAC). The first focuses mainly on the manufacturing of components to be assembled in a subsystem called preparation shop. The latter deals also with this section but extend its influence to the other two production phases, namely cutting section and final assembly of components into products to satisfy demand.

The preparation shop was reconfigured into Group Technology (GT) cells using a methodology, developed for this study based on the theory, embracing all reconfiguration needs and phases from cell formation to intra and inter-cell layout and implementation in practice.

Production at the different cells is coordinated in order to ensure that the components manufactured by them flow in a synchronous way to arrive at the end of production at the same time to form kits to release into assembly on a first-come-first-served (FCFS) basis. Both a procedure to ensure this synchronization together with an operation model based on the hybridization of the working balance and the bucket brigades models were proposed.

The reconfiguration of the preparation shop took into account the expected increase in demand and the need to acquire new machines, largely improved operations, creating a much smoother and synchronized materials flow, also brought the shop to high levels of efficiency, with manufacturing stations reaching near 100% utilization. Machines acquired are estimated to be paid back in 23 months based only in reduction of costs of moving materials.

The PAC across production phases was also investigated. A few PAC configurations were tested, involving the push and pull paradigms of production and material movement authorization. However, these were not capable of meeting expectations. Thus, this work proposes a new mechanism for PAC, based on the generic Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (gPOLCA) mechanism, which is argued to be most suitable and effective for controlling production and material flow across the production system and for coordinating activity among the three sequential production system stages: cutting, preparation and assembly.

Keywords: cellular manufacturing, group technology, line balancing, manufacturing cell operating mode, production activity control.

Índice geral

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice geral	ix
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xiii
Lista de siglas e acrónimos	xv
1. Introdução	1
1.1. Contexto e enquadramento	1
1.2. Objetivos e motivação	1
1.3. Metodologia de investigação	1
1.4. Estrutura e organização	3
2. A empresa	5
3. Revisão bibliográfica	7
3.1. Evolução dos sistemas produtivos	7
3.1.1. <i>Lean manufacturing</i>	8
3.1.2. Alguns conceitos e métricas de desempenho	9
3.2. Configuração de sistemas produtivos	11
3.2.1. Tecnologia de grupo	13
3.3. Balanceamento de postos de trabalho	15
3.4. Modos operatórios	17
3.5. Sistemas de controlo da atividade produtiva	19
4. Descrição e análise da situação atual	23
4.1. Produtos	23
4.2. Sistema produtivo	25
4.2.1. Processos	25
4.2.2. Meios de produção	26
4.2.3. Configuração organizacional	27
4.2.4. Configuração operacional	28
4.2.4.1. Enquadramento sociocultural dos operadores	29
4.2.4.2. Filosofia da empresa quanto à humanização do trabalho	31
4.2.4.3. Aspetos de qualidade, logística e ergonomia das operações	32

4.2.4.4. Classificação do modo operatório na preparação	34
4.2.5. Controlo da atividade produtiva.....	38
4.2.5.1. Primeira configuração	39
4.2.5.2. Segunda configuração	42
4.2.5.3. Terceira configuração.....	43
4.2.5.4. Métricas de desempenho	45
4.3. Análise crítica	48
5. Estudo da organização e controlo do sistema de produção	53
5.1. Configuração do sistema produtivo na preparação	53
5.1.1. Descrição e aplicação da metodologia.....	55
5.1.2. Implementação na empresa	80
5.1.2.1. Preocupações na reimplementação	80
5.1.2.2. Análise dos custos de reimplantação	82
5.1.2.3. Análise das métricas de desempenho.....	84
5.2. Configuração operacional na preparação.....	86
5.2.1. Definir o tempo produtivo e não produtivo dos postos de trabalho	87
5.2.2. Caracterizar a procura.....	87
5.2.3. Definir objetivos produtivos (produtos e taxas de produção) nas células.....	87
5.2.4. Definir os recursos necessários	90
5.2.5. Equilibrar a afetação de operadores a postos de trabalho.....	91
5.2.6. Definir o modo operatório	97
5.2.6.1. Relação com outros modos operatórios	100
5.2.7. Avaliar a proposta de configuração operacional.....	103
5.3. Proposta de controlo da atividade produtiva	105
5.4. Síntese das propostas de melhoria.....	111
6. Conclusões e trabalho futuro.....	117
Bibliografia.....	119
Anexos.....	I
Anexo 1. Simbologia VSM.....	II
Anexo 2. Distâncias percorridas pelo material.....	III
Anexo 3. Balanceamento pelo método de Wild	VI

Índice de figuras

Figura 1: Fases da metodologia <i>action research</i> , (Susman, 1983)	2
Figura 2: Fases e calendarização do projeto de dissertação	3
Figura 3: Tipo de orientação de fluxos de produção, adaptada de Aneke & Carrie (1986) em Alves (2007)	11
Figura 4: Modos operatórios considerados para análise, adaptada de Alves (2007)	19
Figura 5: Matéria-prima, peles de animais curtidas	23
Figura 6: Componente WP23 depois de cortado	24
Figura 7: Componente WP5 depois de preparado	24
Figura 8: Visão macro do sistema produtivo e dos processos, situação atual	25
Figura 9: Ferramenta de corte na prensa	26
Figura 10: Configuração física do <i>layout</i> de produção e fluxo de material, situação atual	28
Figura 11: Curva de aprendizagem, (Wild, 1989)	29
Figura 12: Ficha de autocontrolo na preparação	33
Figura 13: Tipos de caixas ao longo do processo produtivo	34
Figura 14: Disciplina de despacho da preparação e modo operatório, situação atual	36
Figura 15: Modo operatório na preparação, situação atual	38
Figura 16: Primeira configuração do controlo intercelular da atividade produtiva	39
Figura 17: Sistema para priorizar lançamento de trabalhos na preparação, <i>buffer</i> Bf7 e objetivos	41
Figura 18: Segunda configuração do controlo intercelular da atividade produtiva	43
Figura 19: Terceira configuração do controlo intercelular da atividade produtiva	44
Figura 20: WIP na preparação nas várias configurações do CAP	46
Figura 21: WIP na montagem nas várias configurações do CAP	46
Figura 22: Tempo de ciclo nas várias configurações do CAP	47
Figura 23: Ocupação do sistema produtivo nas várias configurações do CAP	48
Figura 24: <i>Value stream mapping</i> , relativo à primeira configuração do CAP	50
Figura 25: Dados fundamentais para o projeto de SPOP's, (Carmo-Silva, et al., 2005)	55
Figura 26: Tipo de implantações intercelulares, adaptada de Arvindh & Irani (1994), em Alves (2007)	74
Figura 27: Opções de arranjo para máquina com fluxo repetido	75
Figura 28: Disposição proposta para as máquinas nas células e fluxo intercelular associado	75
Figura 29: Posição da preparação face às restantes secções com que interage	76
Figura 30: Configuração física do <i>layout</i> de produção e fluxo de material, proposta	78
Figura 31: Perspetivas do <i>buffer</i> Bf6	79

Figura 32: Vista lateral e frontal dos <i>buffers</i> Bf3, Bf4, Bf5	79
Figura 33: Aplicação do 1ºS da metodologia 5S's (<i>Seiri</i>)	81
Figura 34: Posto de trabalho antes da aplicação da metodologia 5S's.....	81
Figura 35:Posto de trabalho depois da aplicação da metodologia 5S's	82
Figura 36: WIP nas células de preparação, após reimplantação	84
Figura 37: Ocupação na preparação, antes da reimplantação	85
Figura 38:Ocupação na preparação, após reimplantação.....	86
Figura 39: Exemplo do objetivo por hora da célula CA	89
Figura 40: N° de máquinas <i>versus</i> tempo de ciclo de um posto de trabalho, previsão semana 10	96
Figura 41: Modo operativo proposto para a preparação.....	99
Figura 42: Gestão visual implementada para o controlo do WIP na preparação	99
Figura 43: Visão macro do sistema produtivo e dos processos, após reimplantação	105
Figura 44: Etiqueta implementada que permite respeitar a lógica FIFO nos <i>buffers</i> do sistema.....	106
Figura 45: Cartões gPOLCA do tipo preparação/linha de montagem (de 1 a 5).....	108
Figura 46: Cartão gPOLCA do tipo corte/preparação	108
Figura 47: Configuração proposta para o controlo intercelular da atividade produtiva	109
Figura 48: <i>Value stream mapping</i> , configuração futura	115
Figura 49: Simbologia usada no VSM	II

Índice de tabelas

Tabela 1: Conceitos e métricas de desempenho de sistemas produtivos, adaptado de (Pinto, 2006)	10
Tabela 2: Classificação dos métodos TG, baseada em (1) Alves (2007), (2) Kusiak & Chow (1988) e (3) Irani (1999)	14
Tabela 3: Sistemas de controlo da atividade produtiva, adaptada de (Fernandes & Filho, 2011)	21
Tabela 4: Número e tipo de recursos-máquina disponíveis na preparação	27
Tabela 5: Planeamento semana da produção de cada secção, com indicação do turno	44
Tabela 6: Desperdícios no sistema produtivo, situação atual	51
Tabela 7: Matriz processamento na preparação	57
Tabela 8: Análise da carga dos recursos máquina, previsão semana 10	59
Tabela 9: <i>Clusters</i> definidos pelo método CIA	61
Tabela 10: Tempo operatório por produto-processo	63
Tabela 11: Alocação dos recursos às células na situação A, previsão semana 10	66
Tabela 12: Alocação dos recursos às células na situação B, previsão semana 10	68
Tabela 13: Análise da carga dos recursos máquina, previsão semana 30	70
Tabela 14: Alocação dos recursos às células na situação B, previsão semana 30	71
Tabela 15: Disposição intracelular das máquinas pelo método das posições intermédias, para C1	72
Tabela 16: Disposição intracelular das máquinas pelo método das precedências, C1/C2/C3/C4	73
Tabela 17: Análise do custo de movimentação de material	83
Tabela 18: Análise dos custos com aquisição de novas máquinas	83
Tabela 19: Objetivo do turno por célula, previsão semana 10	88
Tabela 20: Percentagem de utilização das células por família de produto, previsão semana 10	88
Tabela 21: Análise do número de operadores necessários e disponíveis, previsão semana 10	91
Tabela 22: Modelo para definir e balancear os postos de trabalho com artigos misturados	94
Tabela 23: Aplicação do modelo de balanceamento de artigos misturados, previsão semana 10	95
Tabela 24: Operador por célula e tipo de posto de trabalho, previsão semana 10	96
Tabela 25: Exemplo de plano de rotatividade para a preparação	98
Tabela 26: Comparação dos modos operatórios considerados com a proposta, adaptada de (Alves, 2007)	101
Tabela 27: Avaliação da configuração operacional proposta para a preparação	104
Tabela 28: Propostas de melhoria para os desperdícios do sistema produtivo	112
Tabela 29: Distância atual entre centros de máquinas (metros)	III
Tabela 30: Distância da proposta entre centros de máquinas (metros)	IV

Tabela 31: Avaliação das distâncias percorridas num turno, previsão semana 10	V
Tabela 32: Balanceamento da preparação pelo método de Wild, previsão semana 10.....	VI

Lista de siglas e acrónimos

ACO	<i>Ant Colony Optimization</i>
AR	<i>Action Research</i>
ART	<i>Adaptive Resonance Theory</i>
ATO	<i>Assemble-To-Order</i>
BB	<i>Bucket Brigades</i>
BBC	<i>Behaviour-Based Control</i>
BEA	<i>Bond-Energy Algorithm</i>
Bfk	Buffer (com $k=1, \dots, 7$)
BO	<i>Batch Overlapping</i>
BS	<i>Batch Splitting</i>
BT	<i>Baton Touch</i>
CaA, CaB, CaC	Caixa do tipo A, B e C
CAE	Código da Atividade Económica
CAP	Controlo Atividade Produtiva
C&C	<i>Parts Classification and Coding</i>
CIA	<i>Cluster Identification Algorithm</i>
CMS	<i>Cellular Manufacturing Systems</i>
COMSOAL	<i>COMputer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines</i>
CONWIP	<i>Constant Work in Process</i>
DBR	<i>Drum, Buffer, Rope</i>
DCA	<i>Direct Cluster Algorithm</i>
DEWIP	<i>Decentralised Work In Process</i>
DQ	Defeitos de Qualidade - <i>muda</i>
EP	Excesso de Produção - <i>muda</i>
ES	Excesso de <i>Stocks</i> - <i>muda</i>
ETO	<i>Engineering-To-Order</i>
F 1-5	Família de produtos de mercado (de 1 até 5)
FIFO	<i>First-In-First-Out</i>
FMC	<i>Flexible Manufacturing Cell</i>
FS	<i>Flow Scheduled systems</i>
FWG	<i>Flexible Work Group</i>
GCM	<i>Goal Chasing Method</i>
GL	<i>Group Layout</i>
H	<i>Hybrid systems</i>
HL/MRP	<i>High Level/ Material Requirements Planning</i>
JIT	<i>Just-In-Time</i>
L-CMS	<i>Linked-Cell Manufacturing Systems</i>
LMi	Linha de Montagem (com $i=1,2,3,4,5$)
LOOR	<i>Load-Oriented-Order-Release</i>
MD	Movimentação Desnecessária - <i>muda</i>
MMS	<i>Modular Manufacturing System</i>
MP	Método das Precedências
MPI	Método das Posições Intermédias
MR	<i>Milk Run</i>
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
MTS	<i>Make-To-Stock</i>
MTO	<i>Make-To-Order</i>
OCS	<i>Order Control Systems</i>

OF	Ordem de Fabrico
OPF	<i>One-Piece Flow</i>
PBC	<i>Period Batch Control</i>
PDCA	<i>Plan Do Check Act</i>
PFA	<i>Production Flow Analysis</i>
PI	Processos Inadequados - <i>muda</i>
POLCA	<i>Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization</i>
gPOLCA	<i>generic Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization</i>
PPO	Peso Posicional Ordenado
PRFU	Produção Repetitiva de Fluxo Uniforme
PRI	Produção Repetitiva Intermitente
PTB	Postos de Trabalho Balanceados
PTD	Postos de Trabalho Definidos
QRM	<i>Quick Response Manufacturing</i>
QRS	<i>Quick Response Sewing system</i>
RC	<i>Rabbit Chase</i>
ROC	<i>Rank Order Clustering</i>
RPW	<i>Ranked Positional Weight</i>
SCAP	Sistemas de Controlo da Atividade Produtiva
SLC	<i>Stock Level-Controlled systems</i>
SLCA	<i>Single Linkage Cluster Analysis</i>
SPOF	Sistemas de Produção Orientados à Função
SPOP	Sistemas de Produção Orientados ao Produto
T	Transportes - <i>muda</i>
TBC	<i>Two-Boundary Control</i>
TE	Tempos de Espera - <i>muda</i>
TG	Tecnologia de Grupo
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
TKS	<i>Toyota Kanban System</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TSS	<i>Toyota Sewing System</i>
TT	<i>Takt Time</i>
UPS	<i>Unit Production System</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WB	<i>Working Balance</i>
WFA	<i>Weighted Factor Analysis</i>
WIP	<i>Work In Process</i>
WPj	<i>Work Parts (com $j=1,2,\dots,43$)</i>

1. Introdução

1.1. Contexto e enquadramento

A presente dissertação foi desenvolvida em ambiente industrial e surge no âmbito do curso de Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

A empresa em estudo está implantada à pouco mais de um ano, tendo um plano de crescimento acentuado para os próximos três anos. Face à sua fase de instalação e crescimento, há necessidade de organizar o sistema produtivo, assim como o fluxo de trabalho e de materiais com vista a estabelecer formas eficientes de utilização de recursos e formas eficazes de satisfação da procura.

1.2. Objetivos e motivação

Este trabalho tem o objetivo de dar uma contribuição para a organização do sistema produtivo em estudo, organizado nas secções de corte, preparação e montagem, bem como definir métodos e procedimentos eficientes e eficazes de controlo da atividade produtiva.

Assim, foram analisadas, propostas e avaliadas diferentes configurações do sistema produtivo como um todo e das suas secções em particular, incidindo na secção de preparação, i.e. secção de transformação de componentes para a montagem. Decorrente destas ações deverá surgir uma configuração apropriada do sistema de produção e das suas secções, assim como uma forma de controlo da atividade produtiva ajustada aos objetivos de produção e da procura.

O ambiente industrial permite levantar e confrontar os problemas no *gemba*, local onde a ação real acontece (Liker, 2004). Uma grande motivação deste trabalho foi a oportunidade de poder contribuir com propostas de configuração do sistema produtivo e de controlo da atividade produtiva, aspetos importantes para a organização.

1.3. Metodologia de investigação

A investigação realizada, que colmatou na presente dissertação, implicou trabalho em equipa e interação com os vários intervenientes e com o ambiente contextual do mesmo, esta metodologia de investigação denomina-se por *Action Research* (AR).

Na sua origem AR destinava-se a problemas de índole social. Blum (1955) define esta metodologia como o diagnóstico de um problema com vista a ajudar na melhoria da situação, definindo apenas duas etapas: o diagnóstico e o teste consciente das hipóteses. Quando Rapoport (1970) reconhece os conflitos que esta associação traz, novas perspetivas de aplicação de AR foram exploradas, e.g. ao nível dos sistemas de informação por Mumford & Weir (1979) e Checkland (1981).

Com o passar do tempo, AR acabou por se mostrar uma metodologia de aplicação em diversos campos de atuação, baseada no aprender fazendo, permitindo simultaneamente a interação no *gemba* e a pesquisa científica. Designa-se como um procedimento sistemático, refletivo e colaborativo entre elementos de uma mesma equipa de trabalho, procurando continuamente soluções para problemas reais (Ferrance, 2000).

Susman (1983) propõe as seguintes fases para esta metodologia, tal como ilustrado na Figura 1.

1. Diagnóstico: consiste em identificar e definir problemas.
2. Planeamento de ações: com base nos dados recolhidos, são consideradas e interpretadas várias alternativas.
3. Execução de ações: visa implementar ações de melhoria ou de resolução dos problemas.
4. Avaliação da implementação das ações: nesta fase pretende-se refletir acerca das consequências das ações, pela recolha e análise dos resultados obtidos.
5. Especificação de aprendizagem: são identificadas conclusões gerais de aprendizagem.

Enquanto o problema de diagnóstico não for resolvido, o processo iterativamente deve ser reiniciado.

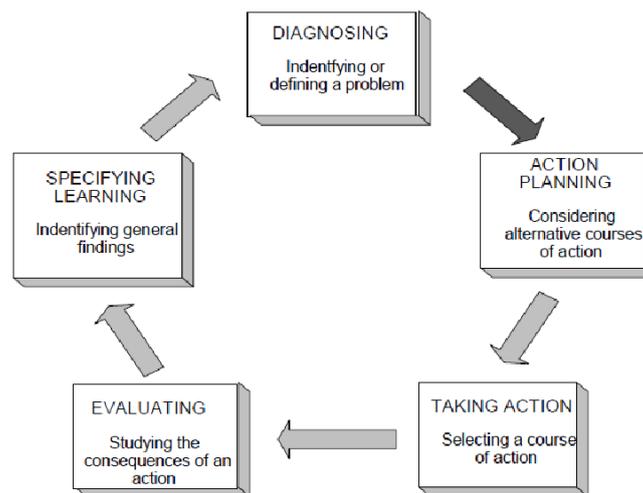


Figura 1: Fases da metodologia *action research*, (Susman, 1983)

Tendo subjacente a metodologia AR, o projeto assentou em diferentes tarefas que definiram diferentes fases de ação, são elas:

T1: Detalhar e descrever a problemática e o problema a estudar e resolver.

T2: Descrição da situação atual na empresa, i.e. “*as is*”, nas vertentes da organização do sistema produtivo e das formas de controlo da atividade produtiva e do fluxo de materiais.

T3: Estudo e revisão da literatura relevante à configuração ou reconfiguração do sistema produtivo e às abordagens e mecanismo de controlo de atividade produtiva, suscetíveis de serem aplicados.

T4: Geração de alternativas de análise, na configuração do sistema produtivo, nas fases de preparação e montagem, com incidência na preparação e sua relação com a montagem.

T5: Avaliação das alternativas e seleção de uma solução com vista à implementação.

T6: Análise da problemática de implementação de mudanças na organização e controlo do sistema de produção. Geração de uma metodologia ou procedimento de implementação de alterações organizacionais e de operação do sistema.

T7: Implementação, das ações possíveis, no prazo do projeto.

T8: Análise crítica das soluções e avaliação dos resultados obtidos ou esperados.

T9: Escrita da dissertação.

O escalonamento de tarefas encontra-se ilustrado na Figura 2.

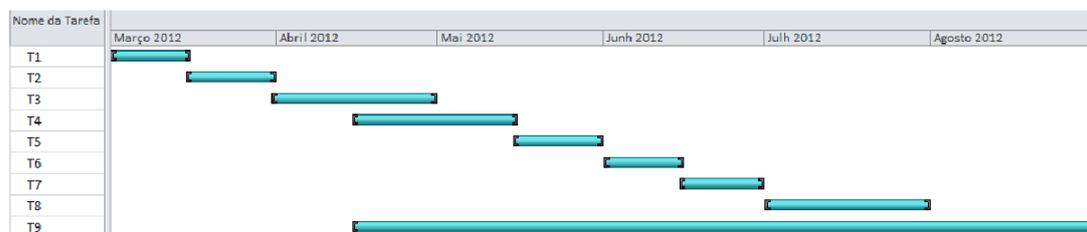


Figura 2: Fases e calendarização do projeto de dissertação

Tendo em conta o problema de investigação descrito neste trabalho a pergunta de investigação que se coloca é:

“Como deve ser organizado o sistema de produção, implementada e controlada a atividade produtiva e o fluxo de materiais com vista a satisfazer objetivos de produção especificados numa lógica integradora e de grande eficácia e eficiência? “

1.4. Estrutura e organização

A presente dissertação está organizada em 6 capítulos. No primeiro capítulo é feita uma introdução, mostrando o contexto e o enquadramento, o problema de investigação, os objetivos e motivação e a metodologia de investigação usada.

No capítulo 2 apresenta-se a empresa e o mercado em que esta está inserida, apresentando a sua organização e os seus objetivos, fazendo uma breve alusão à cadeia de abastecimento associada.

No capítulo 3 é feita a revisão bibliográfica sobre o tema em estudo. A empresa pretende agarrar a oportunidade de estar em fase de implementação para iniciar a sua jornada *lean*. Assim, começa-se por apresentar a evolução dos sistemas produtivos até à filosofia *lean*, apresentando os seus princípios, métodos e ferramentas, bem como métricas que permitem medir o desempenho de sistemas. Posteriormente é feito um levantamento das diferentes possibilidades de configuração de sistemas

produtivos, bem como técnicas que permite obter as diferentes implantações. A revisão sobre balanceamento do sistema produtivo e a definição dos modos operatórios, apresentam-se como passos integrantes para a organização de um sistema produtivo. Por último, são apresentados os vários sistemas de controlo da atividade produtivo de um sistema.

O capítulo 4 é onde é feita a descrição do problema de investigação, apresentando a situação atual do sistema produtivo. São descritos os produtos e o sistema produtivo destacando neste os processos, a configuração organizacional, as operações e o controlo da atividade produtiva. Este capítulo termina com uma síntese de todas as fontes de desperdício verificadas na empresa e respetiva análise crítica.

No capítulo 5 são expostas as contribuições para atender ao objetivo do projeto. Desenvolve-se e aplica-se uma metodologia que permite organizar a secção de preparação segundo, objetivos estabelecidos. Posteriormente é feita a análise à configuração operacional desta secção, estudando o seu balanceamento e os seus modos operatórios. Por último, é apresentada uma proposta de controlo da atividade produtiva que vai de encontro às necessidades detetadas no sistema produtivo.

A conclusão e trabalho futuro surgem no capítulo 6.

2. A empresa

A empresa na qual foi realizada a investigação para a presente dissertação, está localizada no norte de Portugal há cerca de um ano e é uma unidade produtiva que produz por encomenda uma variedade considerável de artigos de pequena marroquinaria, cujo *design* e materiais são fornecidos pelo cliente. Os artigos são produzidos a partir de pele de animal curtida, de tecidos sintéticos e outros consumíveis. Por questões de confidencialidade, o nome da empresa não será aqui revelado.

A empresa pertence ao sector têxtil com Código da Atividade Económica (CAE) número 15120 - Fabricação de artigos de viagem e de uso pessoal, de marroquinaria, de correio e de seleiro. Apresenta-se como uma sucursal da empresa-mãe, situada em França, tendo por isso alguns conceitos organizacionais de base, provenientes de outras parceiras também sucursais da empresa-mãe.

Por estar a iniciar a sua atividade industrial, a empresa apresenta por um lado recetividade à mudança e por outro, necessidade de tomar decisões de forma rápida e acertada, uma vez que é preciso apresentar bons resultados para poder crescer nesta fase frágil da sua implantação.

A empresa tem dois clientes, que são também fornecedores de pele e de sintéticos. São vários os fornecedores dos diferentes consumíveis. No final da produção, os produtos acabados são enviados para a empresa parceira que enviou a matéria-prima, garantindo assim a utilização de materiais favoráveis para todos os produtos acabados dos clientes.

As datas de entrega são negociadas com o cliente/fornecedor. O cliente/fornecedor, como parceiro do grupo, conhece a capacidade produtiva da empresa. Assim, apenas solicita a quantidade que sabe que esta pode produzir. A empresa está em crescimento e à medida que dá provas de bom desempenho, aumenta a sua capacidade produtiva, sempre com o apoio das restantes parceiras do grupo empresarial. Daí, a importância de organizar os processos produtivos, otimizar a utilização dos recursos, estabelecer um favorável sistema de controlo da atividade produtiva e de controlo da qualidade e normalizar processos e procedimentos.

O cliente lança encomendas para a empresa em estudo, 21 dias antes de esperar a sua receção. É também dada a conhecer a previsão da procura no espaço aproximado de 4 meses. A empresa opera segundo o paradigma da produção repetitiva, i.e. produz repetidas vezes. Embora sejam lançados sempre cores diferentes, os artigos podem ser classificados em quatro famílias. No paradigma da produção repetitiva produzem-se repetitivamente produtos cuja procura é previsível, mas em quantidades que não justificam os sistemas para a produção em massa (Bradford, 2001; MacCarthy & Fernandes, 2000; Carmo-Silva, et al., 2006).

Distinguem-se ainda duas instâncias deste paradigma a produção repetitiva de fluxo uniforme (PRFU) e a produção repetitiva intermitente (PRI), (Carmo-Silva, et al., 2006). A empresa em estudo identifica-se com a instância da PRFU, uma vez que os produtos são conjuntamente produzidos em fluxo praticamente uniforme, de uma forma misturada, durante um período planeado de produção.

Devido à emergente necessidade de produzir imposta pelos clientes, numa fase inicial não foram realizados estudos organizacionais e de otimização do sistema produtivo.

A concorrência do grupo empresarial praticamente não se faz sentir. Este possui o monopólio da área de mercado. No entanto, este grupo empresarial sente uma procura sazonal, uma vez que na indústria da moda onde atua, são as tendências que definem a procura de mercado. A empresa em estudo pretende especializar-se na pequena marroquinaria dentro do grupo empresarial, podendo sentir concorrência neste sentido.

3. Revisão bibliográfica

Neste capítulo é apresentado o “estado da arte” que vai de encontro às perguntas e objetivos de investigação.

3.1. Evolução dos sistemas produtivos

Womack, et al. (1990) apresentam a história da máquina que mudou o mundo, fazendo uma viagem desde a produção artesanal, passando pela produção em massa e pelo conceito *lean*, associado ao *Toyota Production System* (TPS).

A produção industrial tem a sua origem por volta do ano 1880, pouco depois da descoberta do motor e aquando da revolução industrial. A produção artesanal requer muita mão-de-obra qualificada e a utilização de ferramentas simples que possam satisfazer as necessidades dos clientes. As desvantagens associadas são os elevados custos de produção, a baixa produtividade da mão-de-obra e os problemas de consistência na qualidade dos produtos.

Pelo ano de 1915 a Ford, nos Estados Unidos da América, adotou em grande escala o sistema de produção em massa, que consistia na produção de uma grande quantidade de artigos que respeitavam o mesmo padrão, é também designada de produção em série. Neste sistema de produção, o operador realiza sempre o mesmo conjunto restrito de operações. As vantagens deste sistema perante a produção artesanal, são as taxas de produção elevadas a um custo mais reduzido.

No entanto, à medida que a tecnologia evoluía e a sociedade se transformava, a produção em massa foi perdendo relevância dando lugar à necessidade de produzir maior variedade de produtos. Este paradigma começou a afirmar-se principalmente após a crise do petróleo de 1973. Portanto, o novo paradigma de procura-produção impõem a necessidade de flexibilizar o sistema produtivo a custos concorrenciais. Um sistema de produção diz-se flexível quando tem boa capacidade de resposta e de adaptação a novas exigências de mercado, como são as variações dos pedidos dos clientes.

Após a II Guerra Mundial, o Japão estava fragilizado economicamente e tornava-se muito difícil competir em particular com a Ford. A Toyota, no Japão, procurava um sistema que alcançasse eficiência tendo em conta a diversidade de produção apreciada pelo cliente, a custos reduzidos.

Após 1950, Taiichi Ohno engenheiro da Toyota, procurou desenvolver um sistema económico de produção e de resposta rápida ao mercado, que respondesse por um lado ao panorama económico japonês daquele tempo e por outro, à concorrência dos mercados exteriores. A Toyota desenvolveu assim o *Toyota Production System* (TPS) (Monden, 1998), que passou a ser denominado como *Lean Production* em 1988 por John Kfcik, como *Lean Manufacturing* posteriormente e ainda como *Lean Thinking*, por Womack & Jones (1996), incluindo aqui novos conceitos desenvolvidos na década de 90 quanto à filosofia de liderança e gestão.

3.1.1. *Lean manufacturing*

Princípios

Womack & Jones (1996) apresentam os seguintes princípios em que um sistema *lean* assenta:

- Valor: neste princípio é privilegiada a comunicação aberta entre produtores e clientes, por forma a esclarecer claramente as especificações do produto, as suas características e o seu preço. É importante perceber o que o cliente considera que acrescenta valor ao produto, i.e. tudo pelo que está disposto a pagar.
- Identificação do fluxo de valor: pretende-se com este princípio identificar as atividades necessárias ao cumprimento das especificações do cliente, conseqüentemente são eliminadas atividades que não acrescentem valor ao produto.
- Fluxo contínuo: deve gerar-se um fluxo contínuo quer de informação quer de materiais. Deve ser produzido apenas o que é necessário e no momento em que é necessário, optando pela produção em pequenos lotes de forma a evitar atividades que não acrescentem valor, como esperas e inventário.
- *Pull*: é o cliente quem impulsiona a produção nas quantidades por ele estabelecidas, apenas quando necessário e com as especificações por ele definidas.
- Perfeição: os princípios anteriores devem originar melhorias contínuas (*kaizen* em japonês), até à perfeição.

A filosofia *lean* popularizou-se por apresentar um grande número de vantagens, focando-se sobretudo na eliminação do desperdício. Os 7 tipos de desperdício, ou *mudas* em japonês, que são as atividades que consomem recursos e não acrescentam valor são, segundo Ohno (1988) e Shingo (1989):

1. Excesso de produção (EP): quando se produz excessivamente ou cedo demais.
2. Tempos de espera (TE): consideram-se as paragens de pessoas, equipamentos, materiais, peças e informação.
3. Transportes (T): são deslocações excessivas de pessoas, material e/ou informação.
4. Processos inadequados (PI): é a inadequada utilização do equipamento e ferramentas, a aplicação de recursos e processos inadequados às funções ou ainda a aplicação de procedimentos sem a informação necessária.
5. Excesso de *stocks* (ES): quando há demasiados tempos e locais de armazenamento, falta de informação ou de produtos. Os *stocks* representam um custo significativo para a empresa, um risco de perda ou fim de validade, um espaço ocupado, um compromisso trazendo pouca flexibilidade ao sistema.
6. Movimentação desnecessária (MD): considera-se a desorganização dos locais de trabalho, resultando em mau desempenho e despreocupação por aspetos ergonómicos.
7. Defeitos de qualidade (DQ): são incumprimentos, que surgem nas fases de processo, dos requisitos definidos pelo cliente, quer nas suas características, quer no cumprimento de prazos ou fases acordadas.

Lean pode ser visto como um sistema de medidas e abordagens, que conjugados apresentam um grande potencial para atingir elevados níveis de competitividade, apresentando vantagens em todas as áreas da empresa desde o desenvolvimento dos produtos até ao serviço pós-venda (Warnecke & Huser, 1995; Melton, 2005). A correta aplicação dessas medidas e métodos pressupõem um tipo de atitude e cultura empresarial que aposta nas pessoas, promove formação e treino, trabalho em equipa, disciplina e poder

de decisão. Alguns dos métodos e ferramentas adotados numa filosofia *lean* são os apresentados de seguida.

Métodos e Ferramentas

Pavnaskar, et al. (2010), Mann (2010) e Monden (1998) apresentam um conjunto de métodos e ferramentas de aplicação na filosofia *lean*, alguns deles são:

8. *Kanban*: sinal visual para gerir o fluxo de material num sistema *pull*, sempre que requerido pelo cliente.
9. 5S's: metodologia que permite manter o local de trabalho limpo e arrumado. 1º - *Seiri* (organização), 2º - *seito* (arrumação), 3º - *seiso* (limpeza), 4º - *seiketsu* (uniformização), 5º - *shitsuke* (disciplina), são os passos para tornar os postos de trabalho mais seguros, organizados e eficientes.
10. Gestão visual: permite controlar visualmente as medidas de desempenho do sistema pela equipa de trabalho. Dentre outros aspetos a gestão ou controlo visual, devem mostrar como o trabalho deve ser executado, como as ferramentas e os materiais devem ser usados, como as coisas devem ser armazenadas, quais os níveis de controlo do inventário, devem identificar áreas perigosas, suportar operações à prova de erro (Greif, 2000).
11. *Poka yoke*: eliminando as causas dos erros, este método pretende incorporar qualidade no processo, evitando que ocorram onde é possível e facilitando ainda a sua deteção.
12. *Layout* celular: é o arranjo das máquinas em pequenos grupos que processam produtos semelhantes.
13. *Value stream mapping* (VSM): ferramenta gráfica usada para mapear o "*as-is*", i.e. situação atual da empresa, permite identificar oportunidades para eliminar fontes de desperdício e decidir onde atuar e aplicar melhorias.
14. *Heijunka*: pretende minimizar *stock* e tempos mortos ao nivelar a carga para assegurar um fluxo contínuo de material e informação pelo sistema produtivo. Monden (1998) propõe o *Goal Chasing Method* para a alimentação sincronizada e balanceada de materiais, a linhas que trabalham em ambiente *mixed model lines*.

3.1.2. Alguns conceitos e métricas de desempenho

Para aplicar qualquer um dos métodos ou ferramentas num sistema produtivo, com o objetivo de melhorar a sua performance, é necessário medir a situação atual para poder comparar com a situação após a implementação dos mesmos.

Na Tabela 1 são apresentados conceitos e métricas que permitem definir e avaliar o desempenho de um sistema produtivo.

Tabela 1: Conceitos e métricas de desempenho de sistemas produtivos, adaptado de (Pinto, 2006)

Métrica de desempenho	Descrição
Tempo padrão	Tempo de referência ou tempo normal para a execução de uma dada tarefa, produto ou serviço. Refere-se a um tempo obtido junto de um operador, a trabalhar a um ritmo normal e em condições de trabalho bem definidas.
Disponibilidade	É a relação entre o tempo útil e o tempo disponível. Tempo disponível = Tempo total – Tempo de pausas programadas (refeições, reuniões,...) Tempo útil = Tempo disponível – Tempo de paragens não programadas (avaria de máquina, falta de material...) Disponibilidade = Tempo útil / Tempo disponível
Capacidade	O que o sistema consegue produzir ou assegurar. Tempo total disponível = Número de operadores * Tempo disponível Capacidade = Tempo total disponível * Disponibilidade * Eficiência
Carga	O que se pede ao sistema. Carga = Quantidade a realizar * Tempo padrão
Ocupação ou Utilização	Relação entre a carga e a capacidade. Ocupação = Carga / Capacidade
Tempo de <i>set-up</i>	Tempo aplicado em atividades de mudança. Refere-se ao tempo de ajuste e preparação do equipamento para o fabrico de um novo lote ou novo produto, incluindo atividades durante o processamento, e.g. ajustes e mudança de ferramenta.
Tempo de ciclo	Representa o tempo de saída de peças consecutivas, representado pela mais longa das operações numa das partes da linha. Tempo ciclo = Tempo disponível / Quantidade produzida na linha
<i>Takt time</i>	O <i>takt time</i> é um tempo de ciclo ajustado à procura. <i>Takt time</i> = Tempo disponível / Produção desejada no sistema de produção
<i>Lead time</i>	É o tempo estimado do trabalho, em curso de fabrico. Tempo que decorre entre o início e a conclusão de uma atividade. É composto por duas componentes, o tempo de operação (atividades que acrescentam valor ao produto) e o tempo de espera (atividades que não acrescentam valor ao produto).
FIFO	É uma lógica de escoamento de trabalhos numa fila do tipo <i>First-in-First-Out</i> . Numa fila ou <i>buffer</i> os artigos seguem a lógica de que o primeiro a entrar é o primeiro a sair, i.e. saem da fila pela mesma ordem com que entram.
WIP	<i>Work in process</i> . É o <i>stock</i> em vias de fabrico, ou trabalho em processo. Resultado de vários fatores, como por exemplo, distâncias entre postos de trabalho, <i>set-ups</i> de equipamentos, problemas de qualidade e manutenção, mau planeamento, mau balanceamento de linhas, etc.
<i>Bottleneck</i>	É um estrangulamento que impõe as taxas de produção possíveis no sistema. Pode ser algo físico como uma pessoa, equipamento ou espaço.
Produtividade	Mede a eficácia de um sistema em converter <i>inputs</i> em <i>outputs</i> , i.e. com menor desperdício. Produtividade = <i>Input/output</i>
Eficiência	Capacidade de um sistema em alcançar objetivos. Eficiência = resultados alcançados / resultados esperados
Eficácia	Indica se o sistema atinge os resultados, sem grande preocupação quanto ao modo ou caminho seguido.

3.2. Configuração de sistemas produtivos

A orientação do fluxo de produção determina a configuração de um sistema produtivo. Aneke & Carrie (1986) ilustram os tipos de orientação que os fluxos de produção podem tomar, esquema representado na Figura 3.

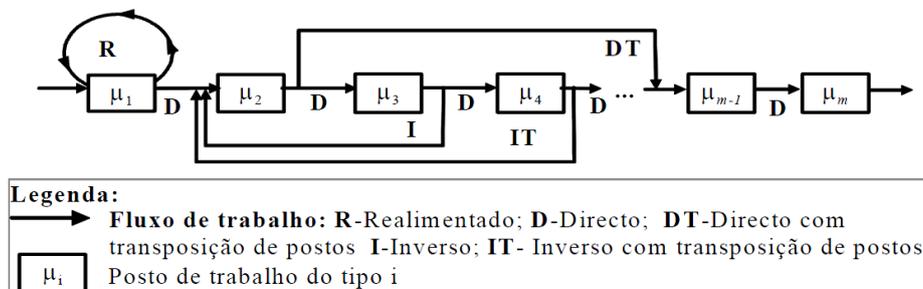


Figura 3: Tipo de orientação de fluxos de produção, adaptada de Aneke & Carrie (1986) em Alves (2007)

A questão que aqui se levanta é como configurar um sistema produtivo. Deverá ser organizado para a produção de determinado produto, ou por outro lado deve estar organizado para produzir qualquer produto da empresa? Por vezes a escolha não é singular e deve ser encontrado um equilíbrio para a melhor satisfação dos objetivos empresariais.

Carmo-Silva (2008) distingue duas classes genéricas de organização de sistemas, os Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP) e os Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF). Os SPOP são dedicados a um pequeno número de artigos que usam o mesmo ou similar processo de transformação, dispendo as máquinas segundo o fluxo de material, tendo por norma dimensão reduzida. Nos SPOF, existem várias máquinas equivalentes agrupadas numa secção funcional, para dar resposta à grande variedade de produtos. Um *layout* híbrido pretende combinar a eficiência de um SPOP, com a flexibilidade de um SPOF.

Para Alves (2007) uma célula é um grupo de processos, concebido para produzir uma família de produtos de uma forma flexível. Considera que as células de produção, cuja interligação forma os SPOP, configuram tanto linhas de produção – *flow shop* (Baker, 1974), como oficinas de produção – *job shop*, ou ainda uma hibridação destes dois conceitos (Carmo-Silva, 2008). Esta refere que Tecnologia de Grupo (TG) é o método para a formação dos SPOP.

Importa explicar que TG é um método ou filosofia de organização, caracterizada por levar a sistemas de produção com fluxos simples de material e informação, dividindo-se em pequenas unidades autónomas, capazes de produzir por completo um produto ou família de produtos (Gallagher & Knight, 1973).

Já Taylor, et al. (1981) classifica de forma global os sistemas produtivos como *flow shop* e *job shop*. Frequentemente associa-se ao *flow shop* um *layout* por produto (característica do SPOP), e ao *job shop* um *layout* por processo (característica do SPOF). Pinto (2006) acrescenta à classificação *flow* e *job shop*, o *layout* celular e o *layout* de posição fixa, atribuindo a TG à formação de *layout* celular. *Layout* é o arranjo

físico dos recursos num determinado espaço de trabalho. Portanto, também a definição deste arranjo dita a configuração do sistema produtivo.

Apesar dos autores apresentarem conceitos diferentes com âmbitos diferentes, fica claro que há uma necessidade de classificar a configuração dos sistemas produtivos quando se trabalha com mais ou menos diversidade de artigos e complexidade de processos. Hyer & Wemmerlöv (2002) e Bauer, et al. (1994) mostram como é complexo o planeamento de células quando há vários fatores como as características diferentes de cada célula, relacionadas com o grau de independência ou a polivalência dos operadores.

Vários estudos têm sido feitos para obter um melhor desempenho produtivo e nível de serviço ao cliente, pela reconfiguração do sistema produtivo e respetivo controlo, apresentando novos âmbitos com novos conceitos.

Nyman (1992) propõem uma metodologia para a implementação de *Flexible Manufacturing Cell* (FMC) e faz uma análise da empresa e do mercado, propondo um método de análise pesada de fatores, - *Weighted Factor Analysis* (WFA), para avaliar o desempenho da organização do sistema. Black (1991) propõe o *Linked-Cell Manufacturing Systems* (L-CMS) como o sistema do futuro, composto por células de fabricação e montagem que se articulam e controlam entre si. Suri (1998) propõe a configuração *Quick Response Manufacturing* (QRM) com vista à flexibilização do sistema e à redução do *lead time* e do *WIP*.

Englobando algumas destas classificações, Alves (2007) distingue as seguintes configurações operacionais:

- Células *Just-in-Time* (JIT): apontam para a eliminação de tudo o que é desperdício, i.e. zero defeitos, zero tempos de *set-up*, zero *stocks*, zero manipulações, zero avarias, zero prazos de fabrico e a adoção de lotes de tamanho unitário (Browne, et al., 1988). Destacam-se os seguintes modelos de células JIT:
 - *Toyota Sewing System* (TSS): é a aplicação do TPS na indústria automóvel (Kalta, et al., 1998).
 - *Modular Manufacturing System* (MMS): visa melhorar a produtividade e a qualidade de vida das pessoas, muito semelhante ao TPS (Black & Chen, 1995).
 - *Flexible Work Group* (FWG): prima pelo uso intensivo de mão-de-obra inspirando-se no MMS (Chen & Cao, 1998).
 - *One-Piece Flow* (OPF): pretende a redução no tamanho de lote, com fluxo contínuo de peças individualizadas (Sekine, 1990).
 - *Unit Production System* (UPS): é semelhante o FWG, mas com manuseamento automático ou semiautomático de materiais (Hill, 1991).
 - *Linked Cell Manufacturing System* (L-CMS): fortemente identificado com as células JIT, com semelhanças ao TSS e FWG, (Black, 1991; Black & Chen, 1995).
 - *Quick Response Sewing System* (QRS): é um modelo que minimiza o rearranjo de máquinas quando se muda o tipo de produto a fabricar, apresenta semelhanças com UPS, (JETRO, 1990).
- Células de resposta rápida: são baseadas na filosofia QRM de Suri (1998).
- Células de produção flexível: células onde o fluxo intercelular não é permitido, sendo autorizado o fluxo inverso (Carmo-Silva, 1988).
- Células virtuais: modelo de sistema produtivo desenvolvido com uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) permitindo estudar o comportamento do sistema bem como

analisar o seu planeamento e controlo, representando um sistema real nas suas componentes física e lógica (Lee, 1997; Iwata, et al., 1995).

- Células ágeis: podem assumir qualquer uma das configurações operacionais definidas previamente, desde que se verifique agilidade consoante as necessidades do momento (Kidd, 1994).

3.2.1. Tecnologia de grupo

O problema que surge de imediato para formar células de produção, partindo de um *layout* existente, é o de agrupar as peças em famílias.

São vários os métodos para o projeto de células, Irani (1999) considera três processos para tratar esta problemática, são eles:

- *Eyeballing*;
- *Production Flow Analysis* (PFA);
- *Parts Classification and Coding* (C&C).

Irani (1999) considera que a classificação PFA engloba os métodos por formulação de matriz, formulação matemática e formulação gráfica, representado em (2), na Tabela 2. Kusiak & Chow (1988) consideram que PFA é um método de formulação de matrizes, alocando-o no ponto (3) da Tabela 2. Segundo Alves (2007) o SPOP é o sistema produtivo onde a TG é aplicada, daí a posição (1) apresentada na Tabela 2.

A Tabela 2 apresenta alguns métodos de TG e as diversas classificações que estes podem assumir, segundo diferentes autores. Embora a classificação possa divergir, os métodos são concretos e devidamente definidos pelos respetivos autores.

Tabela 2: Classificação dos métodos TG, baseada em (1) Alves (2007), (2) Kusiak & Chow (1988) e (3) Irani (1999)

Sistema produtivo	Classificação	Grupo	Método e Referências
SPOP (1)	<i>Eyeballing</i> ou <i>Visual Inspection</i>	(Gallagher & Knight, 1973; Kusiak & Chow, 1988; Irani, 1999)	
	<i>Production Flow Analysis (PFA)</i> (2)	<i>Matrix formulation</i>	<i>Production Flow Analysis (PFA)</i> (3) (Burbidge, 1971)
			<i>Single Linkage Cluster Analysis (SLCA) - Similarity coefficient methods</i> (McAuley, 1972)
			<i>Sorting-Based Algorithms:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Rank Order Clustering (ROC)</i> (King, 1980) • <i>Direct Cluster Algorithm (DCA)</i> (Chan & Milner, 1982)
			<i>Bond-Energy Algorithm (BEA)</i> (McCormick, et al., 1972)
			<i>Cost-Based Method</i> (Askin & Subramanian, 1987)
			<i>Cluster Identification Algorithm (CIA)</i> (Kusiak & Chow, 1987)
			<i>The p-Median Model</i> (Mulvey & Crowder, 1979)
		<i>Mathematical programming formulation</i>	<i>Generalized p-Median Model</i> (Kusiak, 1987)
			<i>Quadratic Programming Model</i> (Kusiak, et al., 1986)
			<i>Fractional Programming Model</i> (Lashkari, et al., 1987)
		<i>Graph formulation</i>	<i>Bipartite graph</i> (Chandrasekharan & Rajagopalan, 1986)
			<i>Transition graph</i>
			<i>Boundary graph.</i>
		<i>Parts Classification and Coding (C&C)</i>	(Opitz & Wiendahl, 1971; Gallagher & Knight, 1973; Eckert, 1975; Schaffer, 1981; Ingram, 1982; Dunlap & Hirlinger, 1983)

Durie (1970), Edwards (1971), Fazakerlay (1974), Holtz (1978a), Holtz (1978b), Dale & Willey (1980), Wolstenholme, et al. (1980), Greene & Sadowski (1983), Houtzeel & Brown (1984), Hyer & King (1984), Ballakur (1986) segundo Kusiak & Chow (1988), apresentam algumas vantagens da tecnologia de grupo, são elas:

- Redução do *lead time* (20-88%);
- Redução do WIP (até 88%);
- Redução do trabalho (15-25%);
- Redução das ferramentas necessárias (20-30%);

- Redução de retrabalho e material rejeitado (15-75%);
- Redução do tempo de *set-up* (20-60%);
- Redução do tempo de entrega (13-136%);
- Melhorar as relações humanas;
- Redução da papelada necessária.

Mais recentemente, Yang & Yang (2008) propõem uma modificação ao modelo *Adaptive Resonance Theory* (ART) – inicialmente proposto por Dagli & Huggahalli (1994), este é um algoritmo que usa vetores para resolver TG.

Agrawal, et al. (2011) propõem a aplicação da técnica probabilística *Ant Colony Optimization* (ACO) para TG, técnica usualmente usada para resolver problemas computacionais que podem ser reduzidos encontrando bons caminhos através de gráficos.

Vaghefinezhad & Wong (2012) propõem um modelo matemático para minimizar o movimento intercelular, tempo de *set-up* e o tempo de paragens das máquinas, enquanto atende a alguns constrangimentos do sistema.

São vários os modelos matemáticos propostos para resolver a problemática da TG, no entanto, estes modelos podem apresentar-se muito dispendiosos e pode ser necessário um elevado período de tempo na sua construção. Neste sentido Soto, et al. (2012), propõem um modelo que usa restrições no estado da arte de técnicas de programação, o qual requer técnicas de satisfação Booleana.

Shahin & Janatyan (2010) propõem ainda um modelo que usa dimensões da TG e se cruza com objetivos *lean*, para aumentar a produtividade.

Para além dos já citados, outros autores apresentam trabalhos sobre a aplicação da TG, nomeadamente por Xing (2010), Lin, et al. (2010), Agustín-Blas, et al. (2011) e Banerjee & Das (2012).

3.3. Balanceamento de postos de trabalho

O balanceamento de sistemas de produção, tem como objetivo garantir uma distribuição equilibrada da carga pelas unidades de produção do sistema, por forma a possibilitar uma boa utilização e um ajustamento apropriado da produção à procura, possibilitando ainda o fluxo equilibrado dos materiais e da produção (Carmo-Silva, 2008). Em termos gerais, os objetivos do balanceamento são:

- Minimizar tempos mortos ou perdas de balanceamento;
- Minimizar o número de postos de trabalho;
- Distribuir a perda, inevitável, de balanceamento pelos postos da linha.

Para o balanceamento flexível dos postos de trabalho os operadores devem ser polivalentes. Ohno (1988) refere que num sistema de operadores polivalentes há um operador para várias máquinas, em diferentes processos. O agrupamento de pessoas levou ao desenvolvimento de modelos matemáticos e heurísticos, onde a formação das células é realizada através do agrupamento simultâneo de máquinas e pessoas e da afetação destes às células (Min & Shin, 1993; Molleman & Slomp, 1999; Norman, et al., 2002).

A diversidade de artigos e a simultaneidade de produção dos mesmos é crucial para poder definir o balanceamento dos postos de trabalho. Tendo em conta a configuração operacional a produção pode ser

simultânea (Carmo-Silva, 2008), i.e. produção da mesma encomenda, ordem de fabrico (OF) ou lote de artigo em diferentes unidades de produção ao mesmo tempo. Podem ser distinguidos os seguintes mecanismos para a produção simultânea:

- *Batch Overlapping* (BO), que consiste no encadeamento de lotes em diferentes recursos em simultâneo.
- *Batch Splitting* (BS), que consiste no particionamento de lotes, i.e. dividir os lotes ou OF's e produzir simultaneamente cada parte em recursos diferentes.
- Híbrida de BO e BS, que apresenta características dos dois mecanismos mencionados.

Os métodos de balanceamento de linhas de produção que se podem considerar são:

- Tentativa e erro, experiência e improvisação: são métodos que apresentam muita improvisação e por isso, devolvem geralmente maus resultados na performance do sistema produtivo.
- Heurísticas e meta-heurísticas. Distinguindo-se os seguintes:
 - Para linhas com um tipo de artigo.
 - Método de Kilbridge & Wester (1961): que explora as condições de permutabilidade e de transferência entre as atividades na rede de precedência.
 - Método de Maior Candidato: no qual os elementos de trabalho são ordenados em ordem decrescente de acordo com o tempo da operação, sendo posteriormente alocados aos postos de trabalho, tentando uma ocupação máxima do recurso.
 - *Ranked Positional Weight* (RPW) ou peso posicional ordenado (PPO): em que é calculado o RPW para cada elemento, pela soma do tempo da operação desse elemento com o tempo da operação de todas as operações que são executadas posteriormente. De seguida são ordenados os RPW de forma decrescente e as operações são alocadas aos postos de trabalho (Helgeson & Birnie, 1961).
 - *COmputer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines* (COMSOAL): este método seleciona aleatoriamente as operações, a partir de um conjunto de operações disponíveis e apropriadas para integrar o posto de trabalho em construção, e.g.: desenvolver uma lista com as operações que vêm a seguir a uma determinada operação, a qual foi atribuída previamente a um posto de trabalho (Arcus, 1966).
 - Para linhas com vários tipos de artigos.
 - *Multimodel lines*: são linhas multi-artigo que produzem artigos que possuem sensivelmente idênticos requisitos processuais. O balanceamento faz-se para um modelo de artigo, e pequenos ajustes da linha, permitem a fabricação de outros artigos.
 - *Mixed model lines*: são linhas que processam artigos misturados, os artigos são encadeados podendo ser produzidos em quantidades diferentes. Wild (1972) e Bedworth & Bailey (1987) propõem dois modelos para o balanceamento deste tipo de linhas.
- Otimização: são métodos que consideram a duração das operações como estocástica, i.e. passíveis de variar ao longo do tempo.

3.4. Modos operatórios

O modo operatório é a forma como as pessoas se comportam relativamente ao processamento de material dentro da célula. Os modos operatórios que aqui se consideram são:

- *Working Balance* (WB);
- *Rabbit Chase* (RC);
- *Toyota Sewing System* (TSS);
- *Baton Touch* (BT);
- *Bucket Brigades* (BB).

Segue-se uma breve descrição dos modos operatórios indicados, segundo Alves (2007).

Working balance

Consiste em distribuir de forma equilibrada a carga manual pelos diferentes operadores e afetar a cada um, de forma permanente, um dado número de tarefas ou operações, que constituem os postos de trabalho, com tempos de processamento aproximadamente iguais.

Cada operador tem uma zona de atuação que não se mistura com a do vizinho, no entanto, o operador pode atravessar a célula, i.e. os postos não tem que ser adjacentes.

São usados pequenos armazéns localizados junto de determinadas máquinas, conhecidos vulgarmente por *buffers* ou *decouplers* (Black & Schroer, 1988). Estes podem ser estabelecidos com base em modelos matemáticos ou heurísticos, empíricos, ou recorrendo à simulação por computador. Os *buffers* têm a missão de evitar tanto o bloqueamento – *blocking* - como a falta de alimentação – *starving* - dos postos de trabalho (Carmo-Silva, 2008). Estes dois fenómenos resultam em perdas de utilização dos recursos, tempos mortos e redução no *output* das linhas. O bloqueamento dá-se quando um posto não pode passar o trabalho ao posto seguinte. A falta de alimentação de um posto, dá-se quando o posto anterior é lento e não alimenta o trabalho atempadamente.

Rabbit chase

Este modo obriga à polivalência total e requer níveis de desempenho similares entre operadores. De forma ordenada, permite que cada operador execute todas as operações do processo produtivo do princípio ao fim da linha, sem ultrapassar outros operadores. O movimento é feito de operação em operação e cada operador controla todas as atividades de transformação. No limite, se não houver necessidade de produção, a linha pode ser operada por apenas um operador, não necessitando portanto de *decouplers* (Black & Chen, 1995; Suzuki, 1987; Hyer & Wemmerlöv, 2002).

Neste modo operatório não é estimulado o trabalho em equipa, verifica-se que cada operador trabalha de forma individualizada, sendo o ritmo imposto pelo operador mais lento, uma vez que os operadores não podem ser ultrapassados.

Alguns autores consideram que a célula deve ser limitada a dois operadores, e.g. Baudin (2003).

Toyota sewing system

O TSS exige também operadores polivalentes, pois geralmente o número de máquinas é superior ao número de operadores. Usualmente operam três a cinco operadores, para dez a quinze máquinas (Black

& Chen, 1995). Os operadores partilham as tarefas e passam o trabalho aos outros, operando sempre em postos adjacentes.

Neste modo operatório podem ou não existir *decouplers*. Se existirem, quando os operadores são bloqueados pela ocupação da máquina por outro operador, colocam a peça no *decoupler*. Caso não existam, o operador deve aguardar até que a máquina fique disponível.

Quando um operador está sem trabalho, movimentam-se no sentido dos ponteiros do relógio até encontrar uma peça, ou num *decoupler* ou nas mãos de outro operador, este retira-a e recomeça o movimento no sentido das operações a executar. Neste modo operatório há operações que são partilhadas por diferentes operadores, estimulando o trabalho em equipa.

Muitas foram as empresas que aplicaram o TSS (Black & Kohse, 2011), inclusive na indústria têxtil (Lawler & Helen, 2002).

Baton touch

Considera-se que o BT é uma hibridação do modo WB e do modo TSS (Baudin, 2003). Por um lado, são desenvolvidos padrões de trabalho sem restrição a uma zona (TSS), por outro, os operadores podem atravessar a célula operando em postos não adjacentes (WB). Adicionalmente, há um operador que pode assumir o papel de líder executando outros trabalhos, como a alimentação da célula, a necessidade de substituição de operadores e o preenchimento de documentação.

Bucket brigades

Bartholdi, et al. (1995), Bartholdi & Eisenstein (1996) e Bartholdi, et al. (1999) consideram que o BB apresenta uma visão mais generalizada do TSS. Também no BB existem menos operadores que máquinas, estes são polivalentes e não têm uma zona restrita de atuação.

No BB os operadores são colocados do mais lento para o mais rápido, no sentido do fluxo de material. Os operadores movimentam-se ao longo da linha com os artigos, executando as respetivas operações. Quando encontram uma máquina ocupada, devem esperar até que esta fique vazia, sem ultrapassar outro operador. No final do processo, o operador termina o seu artigo e a linha reconfigura-se. A reconfiguração consiste na movimentação do operador no sentido inverso ao fluxo do material, retirando o artigo ao seu antecessor, que o larga e por sua vez se movimenta também em sentido oposto, procurando um operador com trabalho, para lho retirar e assim sucessivamente até que a linha começa um novo artigo.

Alguns autores apresentam vantagens e desvantagens do BB, e.g. autobalanceamento e possíveis atrasos respetivamente, (Holland, 1985; Armbruster, et al., 2007).

Em cada um dos modos operatórios a configuração pode ser em U ou linear. A representação linear dos modos operatórios descritos está ilustrada na Figura 4.

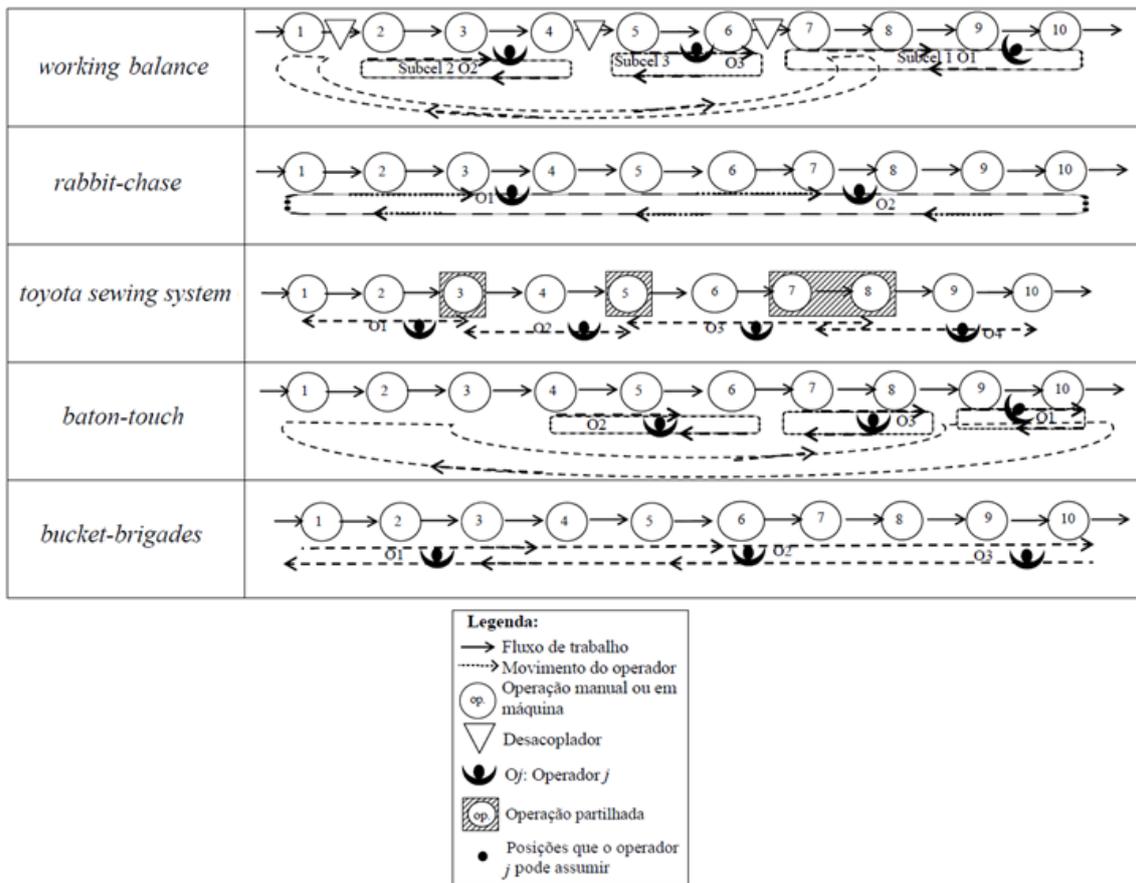


Figura 4: Modos operatórios considerados para análise, adaptada de Alves (2007)

3.5. Sistemas de controlo da atividade produtiva

O Controlo da Produção é a função de gestão que planeia, orienta e controla o fluxo de materiais e as atividades de produção na empresa (Burbidge, 1990). Numa perspetiva mais restrita, pode-se definir o Controlo Atividade Produtiva (CAP) como a parte do controlo de produção que controla o lançamento em fabrico e a execução das atividades produtivas e do fluxo de materiais no espaço fabril. Uma Ordem de Fabrico (OF) deve ser correspondente a uma encomenda específica do cliente lançada na produção, com a indicação do tipo de artigo, data de entrega, quantidade ou outros aspetos requeridos pelo cliente. Pode ainda resultar da agregação de vários artigos, a produzir conjuntamente mas destinados a várias encomendas. Por vezes é feita a agregação de encomendas numa carteira de ordens fabrico, *pool*, onde as OF's podem aguardar a autorização de lançamento (Kingman, 2000).

São várias as situações que se podem identificar quanto ao tipo de produção numa empresa: engenharia por encomenda – *Engineering-To-Order* (ETO); produção por encomenda - *Make-To-Order* (MTO); montagem por encomenda – *Assemble-To-Order* (ATO); produção para *stock* – *Make-to-Stock* (MTS) (Welker, et al., 2004).

Tem sido referido na literatura por vários autores, nomeadamente Hodgson & Wang (1991) e Geraghty & Heavey (2004), que as decisões de controlo do fluxo de materiais e de autorização de produção, podem

ser enquadradas em dois paradigmas de CAP: o *push* e o *pull*. No *push* os fluxos de material e de informação, i.e. de decisões de reposição e/ou de produção, seguem lado a lado na mesma direção, i.e. os materiais são empurrados sucessivamente ao longo dos centros de trabalho onde são transformados e acompanhados de autorizações de produção, que definem o que se tem de ser produzido e em que quantidade. No paradigma *pull*, materiais e decisões de reposição ou autorização de produção, fluem em sentido oposto (Bonney, et al., 1999). Isto significa que, tendo os materiais de seguir o sentido do processo de transformação de um posto de trabalho para o seguinte, recebe deste (ou de outros posteriores) a autorização para produzir e a definição de quanto produzir. Ao paradigma *push* está normalmente associada uma estratégia de lançamentos programados no tempo (Bergamaschi, et al., 1997). Ao paradigma *pull* está normalmente associada uma estratégia de reposição, ou de *stock* ou de carga, dependendo de se estar a produzir para *stock* ou a produzir por encomenda, sob normas de carga em cada centro de trabalho, i.e. níveis de carga que se pretendem repor quando consumidos (Fernandes & Carmo-Silva, 2005).

A hibridação dos paradigmas *push* e *pull* existe em muitos mecanismos de CAP. Exemplos são o CONWIP (Spearmann, et al., 1990), o GKS (Chang & Yih, 1994), o DBR (Glasse & Resende, 1988) e o híbrido *push/pull* de Hodgson & Wang (1991).

Burbidge (1968) começou por classificar os sistemas de controlo da atividade produtiva (SCAP) em *make-to-order systems*, *stock-controlled systems* e *programme-controlled systems*. Fernandes & Filho (2011) apresentam mais recentemente a seguinte classificação:

- A. *Order Control Systems* (OCS): caracteriza-se pela inexistência de produtos finais, uma vez produzido segue para o cliente segundo as suas especificidades.
- B. *Stock Level-Controlled systems* (SLC): aqui as ordens são libertadas segundo um determinado nível de *stock*, segundo um sistema *pull*.
- C. *Flow Scheduled systems* (FS): aqui o departamento de controlo da produção é quem lança as ordens de acordo com um planeamento centralizado, segundo um sistema *push*.
- D. *Hybrid systems* (H). Tem características do grupo B e C.

Esta classificação engloba vários métodos, os mais comuns são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Sistemas de controlo da atividade produtiva, adaptada de (Fernandes & Filho, 2011)

Classificação	Método	Referências
OCS	<i>Contract-scheduling system</i>	(Burbidge, 1968)
SLC	<i>Continuous-review system</i>	(Burbidge, 1975; Jacobs & Whybark, 1992; Hautaniemi & Pirttilä, 1999)
	<i>Periodic-review system</i>	(Burbidge, 1975; Sipper & Bulfin, 1997)
	<i>CONWIP-SLC system</i>	(Spearmann, et al., 1990; Huang, et al., 1998; Li, 2010)
	<i>Kanban-SLC system</i>	(Gelders & Wassenhove, 1985)
	<i>Two-boundary control (TBC) SLC system</i>	(Bonvik, et al., 1997)
	<i>Behaviour-based control (BBC) SLC system</i>	(Paternina-Arboleda & Das, 2001)
	<i>Generic paired-cell overlapping loops of cards with authorization (gPOLCA) system</i>	(Fernandes & Carmo-Silva, 2006)
FS	<i>Base-stock system</i>	(Clark & Scarf, 1960)
	<i>Period batch control (PBC) system</i>	(Burbidge, 1994; MacCarthy & Fernandes, 2000)
	<i>Material requirements planning (MRP) system</i>	(Hautaniemi & Pirttilä, 1999; Filho & Fernandes, 2009; Lee, et al., 2009)
	<i>Optimized production technology (OPT) system</i>	(Sipper & Bulfin, 1997; Croci & Pozzetti, 2000; MacCarthy & Fernandes, 2000)
H	<i>Hybrid CONWIP</i>	(Lambrecht & Segaeert, 1990; Sipper & Bulfin, 1997; Framinan, et al., 2003)
	<i>Hybrid kanban system</i>	(Lage & Filho, 2010)
	<i>Drum, buffer, rope (DBR) system</i>	(Miltenburg, 1997; Jodlbauer & Huber, 2008; González-R, et al., 2010)
	<i>Hybrid push/pull system</i>	(Hodgson & Wang, 1991; Geraghty & Heavey, 2004)
	<i>Minimal blocking system</i>	(So & Pinault, 1988; Mitra & Mitrani, 1990)
	<i>Decentralised work in process (DEWIP) system</i>	(Lödding, 2001)
	<i>Load-oriented order-release (LOOR) system</i>	(Hendry & Kingsman, 1991; Lödding, 2001; Breithaupt, et al., 2002)
	<i>Paired-cell overlapping loops of cards with authorization (POLCA) system</i>	(Suri, 1998; Krishnamurthy & Suri, 2009; Riezebos, 2010)

4. Descrição e análise da situação atual

Neste capítulo mostra-se o *gembutsu* da empresa em estudo, termo japonês para “estado atual”, permitindo expor possíveis focos de melhoria (Koenigsaecker, 2009).

4.1. Produtos

A empresa em estudo dedica-se ao fabrico de artigos de pequena marroquinaria. Estes apresentam uma imensa diversidade sendo englobadas em quatro famílias de produtos de mercado, aqui designadas de F1, F2, F3 e F4. As famílias de produtos divergem essencialmente nas dimensões, no tipo de corte e nos consumíveis que usam. Dentro de cada família os produtos são de diferentes cores, sendo que a cor do produto acabado determina a cor dos componentes e naturalmente da matéria-prima. A mistura de cores produzidas varia consideravelmente. Algumas das cores usadas são: amarelo, carmim, branco, preto, laranja, rosa, menta, chocolate, etc. Aquando da realização do presente trabalho na empresa em estudo, verificou-se o processamento de 27 cores diferentes ao longo de uma semana.

No geral, o fabrico dos artigos consiste em cortar as peles e/ou tecidos, prepará-los, i.e. transformá-los de forma a poderem ser montados, e no fim montar todos os componentes para formar os produtos finais. Assim, o sistema produtivo da empresa pode ser dividido em três grandes secções: o corte, a preparação e a montagem.

Uma pele que chega à fábrica tem uma dimensão média de 1,80 m² a 2 m². Desta pele são cortados os vários componentes que constituem um produto final. O aproveitamento médio de uma pele que chega do fornecedor é de 75%, a restante pele apresenta defeitos não cumprindo os requisitos de qualidade exigidos pelo cliente. Exemplos de peles são ilustrados na Figura 5.



Figura 5: Matéria-prima, peles de animais curtidas

Para além da pele, fazem parte da matéria-prima tecidos sintéticos, fechos, molas, cola, tinta, linhas de costura, fita adesiva, entre outros, estes são designados de consumíveis.

A Figura 6 ilustra um exemplo de um componente depois de ser cortado da pele inteira. Uma pele apresenta diferentes zonas de corte, sendo que cada componente deve ser cortado numa zona específica da pele por apresentar determinados requisitos de qualidade.



Figura 6: Componente WP23 depois de cortado

Depois da preparação os componentes apresentam uma outra consistência, apresentando já pequenos retoques de costura, vincagem e colagem, exemplo na Figura 7.



Figura 7: Componente WP5 depois de preparado

A preparação opera 43 tipos de componentes, - *Work Parts* (WP), considerando que cada um pode assumir 27 cores, há no total 1161 componentes diferentes a cortar e preparar.

Na Figura 6 e Figura 7 apresentam-se dois componentes distintos, o WP23 e o WP5 respetivamente. Pode com estes exemplos perceber-se uma grande semelhança na forma geométrica dos componentes. Esta semelhança geométrica pode levar a erros de processamento, apresentando muitas vezes dificuldades para os operadores. Para evitar tal situação, muitos postos de trabalho têm dispositivos *poka-yoke*, à prova de erro. Exemplo são as pequenas marcas nos produtos, que pretendem ajudar na sua distinção bem como adaptações feitas em máquinas e ferramentas. Este conceito que define sistemas que permitem evitar o erro de processamento, foi introduzido por Shingo (1986).

4.2. Sistema produtivo

Apresentados os produtos cabe agora descrever o sistema produtivo, que consiste em apresentar os processos, os meios de produção, a configuração organizacional, as operações e o controlo da atividade produtiva.

4.2.1. Processos

As secções do sistema produtivo são: 1º corte da matéria-prima; 2º preparação dos componentes; 3º montagem em produtos acabados.

Na secção de corte, a pele e os sintéticos são cortados e aí diferenciam-se os componentes intermédios. A secção de corte é constituída por uma secção de produção onde se encontram prensas de corte, que alimentam a secção de preparação. Os componentes de pele são cortados um de cada vez com moldes de corte pré-definidos. Já os componentes de sintéticos são cotados em várias camadas, entre 6 a 10.

Na secção de preparação, os componentes sofrem operações de transformação ganhando determinadas características para ficarem praticamente prontos a montar. A secção de preparação é constituída por uma única célula de produção, a qual alimenta as diferentes células da montagem.

Na secção de montagem os componentes da preparação são agrupados, sofrendo principalmente operações de costura, para formar um determinado produto acabado. A secção de montagem é constituída por 5 células de produção, da linha de montagem 1 (LM1) até à linha de montagem 5 (LM5). Duas destas são semelhantes entre si e dedicadas à montagem de produtos da família F1 e F2, são a LM1 e LM2. As restantes - LM3, LM4 e LM5, são dedicadas à montagem dos produtos da família F3 e F4. A Figura 8 ilustra a situação descrita.

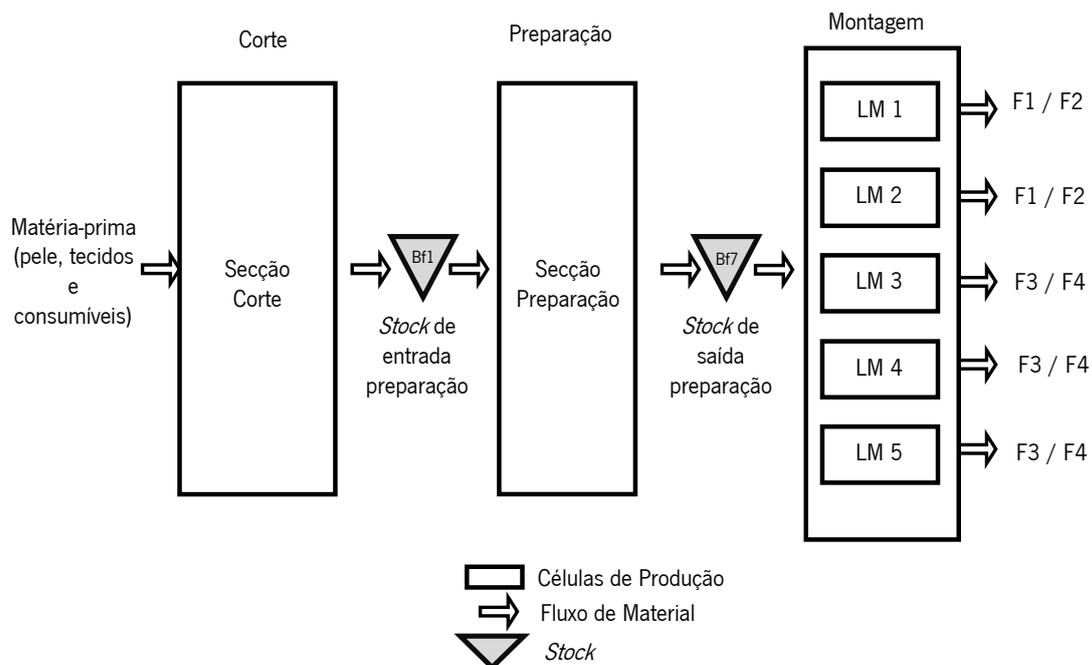


Figura 8: Visão macro do sistema produtivo e dos processos, situação atual

Importa ainda referir que o armazém e o corte ficam situados num andar inferior ao da preparação e montagem. O abastecimento do armazém/corte para a preparação e posteriormente da montagem para o armazém, é feito pelo *milk run* através de um elevador. O *milk run* é o processo que realiza o transporte de recolha dos artigos em cada fornecedor, nas quantidades estabelecidas e posteriormente os entrega ao cliente (Greene, 1997). Nesta situação, o *milk run* tem fornecedores e clientes internos na empresa, passando pelas várias secções do sistema produtivo, transportando os artigos da secção-fornecedor para a secção-cliente (Moura & Botter, 2002).

4.2.2. Meios de produção

Os meios de produção de um sistema produtivo podem ser máquinas ou equipamentos, pessoas, ferramentas, armazéns e meios de transporte e manipulação (Alves, 2007). O foco de atenção no presente trabalho incide sobre as máquinas e também sobre os operadores, estes têm duas funções principais: processamento dos componentes e manuseamento, incluindo transporte.

No geral todas as máquinas da empresa têm facilidade de movimentação, uma vez que possuem rodas e têm pequena dimensão. A exceção surge nas prensas de corte na secção do corte, que têm dimensões mais elevadas e requerem máquinas especiais no seu transporte. Uma prensa de corte pode ter uma área de implantação de 2,85 metros por 2,20 metros. A movimentação destas máquinas requer subcontratação ou aluguer de equipamento especializado, de movimentação e instalação, bem como a garantia das medidas de segurança necessárias.

Corte

Na secção de corte trabalha-se com prensas também conhecidas como “balancés”. O operador seleciona o molde da peça que pretende cortar (Figura 9), coloca-o sobre a pele e/ou tecido sintético e aciona o corte através de botões de comando da prensa. No corte das peles é usada apenas uma folha aquando do corte, i.e. pele, permitindo assim que o operador evite defeitos que a pele possa apresentar, procurando otimizar a área de corte e o número de componentes cortados. Para o corte de tecidos sintéticos, podem ser acumuladas entre 6 a 10 folhas, permitindo uma muito maior taxa de corte de componentes. Estão disponíveis cinco prensas de recorde para pele e uma para os tecidos sintéticos.



Figura 9: Ferramenta de corte na prensa

Preparação

A Tabela 4 apresenta as máquinas disponíveis na preparação. Executam sobretudo operações de preparação de componentes, de forma a que estes possam ser adequadamente montados.

Tabela 4: Número e tipo de recursos-máquina disponíveis na preparação

Máquinas	Nº disponível	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1
	Descrição da operação	Igualizar	Facear	Robô de cola	Mesa limpar excesso cola	Rebordo com filateado	Rebordo sem filateado	Mesa fita dupla face	Mesa colagem	Prensa de recorte	Recorte filateado	Coloração CC	Marcação chrono	Mesa fixação simili	Costura simili	Mesa scie adesivo	Corte ultra som fecho	Prensagem a quente	Prensagem a quente (repetição)	Banco de coloração	Vincagem	Enformar	Colocação dupla face fecho	
	Tipo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Qa	Qb	R	S	T	U	

Montagem

Na montagem há sobretudo operações realizadas em máquinas de costura, podendo eventualmente ser utilizadas prensas de recorte. No final da montagem é feito um rigoroso controlo de qualidade a todos os produtos finais, sendo disponibilizadas as respetivas ferramentas que permitem esta operação. Eventualmente alguns defeitos podem ser reparados neste posto, sendo que as ferramentas disponibilizadas são por exemplo réguas de medição, aparador de pontas, queimador de fios e tesouras.

4.2.3. Configuração organizacional

Corte

No corte as 5 prensas de corte encontram-se dispostas em linha. Um operador trabalha apenas numa prensa e aí corta todos os componentes de pele ou sintéticos para formar um lote, que posteriormente será preparado. Estão portanto quatro operadores dedicados ao corte de pele e um ao corte de tecidos sintéticos.

Preparação

A preparação requer uma atenção especial uma vez que é a secção intermédia que permite a transição do material entre o corte e a montagem, não deve ser nem *blocking* nem um *starving* para o sistema.

A Figura 10 ilustra a configuração do *layout* da preparação com a representação das máquinas mencionadas na Tabela 4 e o fluxo de material de três componentes. O fluxo representa a sequência dos componentes WP21, WP23 e WP3. Ilustrar o fluxo dos 43 componentes tornaria a imagem ilegível devido ao grande cruzamento de fluxos repetidos, inversos e transpostos. Como se pode ver na ilustração, o fluxo de apenas três componentes torna-se bastante complexo. Tendo em conta a quantidade e variedade de componentes, bem como a variedade de operações de cada componente, torna-se bem complexo conseguir controlar a produção e o fluxo de todo o material. Conseguir balancear o fluxo de materiais de forma a sincronizar o trabalho entre o corte e a montagem, e racionalizar apenas as quantidades necessárias, torna-se uma tarefa árdua na secção de preparação.

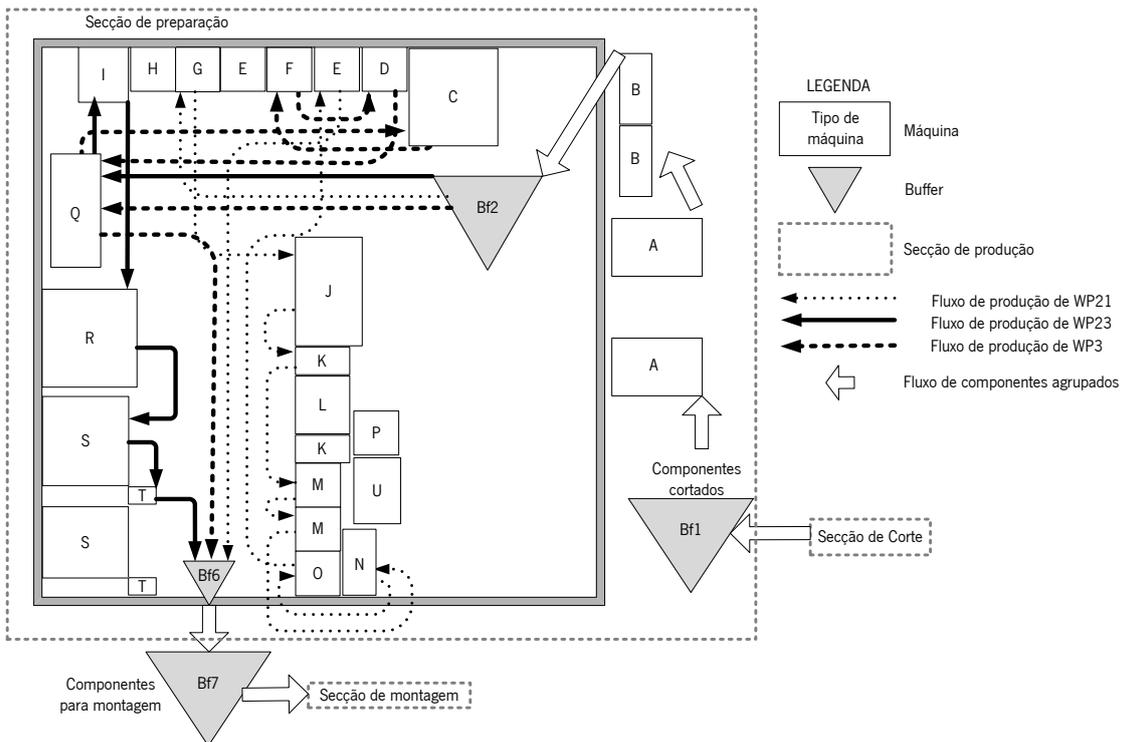


Figura 10: Configuração física do *layout* de produção e fluxo de material, situação atual

O problema que surge com mais frequência no sistema é o atraso no processamento de determinado componente, impedindo o material de avançar para a montagem, pois este só pode avançar quando agrupados todos os componentes que permitem a montagem de um produto acabado. Por vezes, há uma escassez total de material por parte da preparação, ocorrendo também a sobreprodução de componentes que a montagem não necessita naquele momento. Está claro que nenhum estudo foi feito para encontrar um *layout* mais adequado tendo em conta as necessidades de produção. Outros aspetos ficam claros nesta análise, é por exemplo a falta de um método eficaz que equilibre e coordene o trabalho dos operadores, a incorreta priorização dos trabalhos e o ineficaz controlo da atividade produtiva.

Montagem

Na montagem as linhas estão organizadas em forma de U. O material que vem da preparação entra numa ponta do U e termina na outra, num fluxo direto e transposto de trabalho.

4.2.4. Configuração operacional

As operações do sistema produtivo são realizadas pelos operadores nas máquinas. Para caracterizar a mão-de-obra é necessário considerar a descrição de alguns aspetos, que passam por:

- enquadramento sociocultural dos operadores;
- filosofia da empresa quanto à humanização do trabalho;
- aspetos de qualidade, logística e ergonomia das operações;
- classificação do modo operatório.

O tempo de processamento de determinada operação, é o tempo que o operador necessita no processo de transformação de um artigo, com uso de determinadas ferramentas ou máquinas. O tempo de processamento é normalmente constituído por três partes: o tempo produtivo (o único que acrescenta valor ao produto), o tempo auxiliar (tempo necessário para aprontar a máquina ou os componentes a montar) e o tempo morto (tempo em que o posto está parado devido a falta de trabalho ou outras razões) (Carmo-Silva, 2008). Os dois primeiros designam-se de tempos de serviço e são usados na determinação do tempo padrão, sendo o tempo produtivo o tempo de processamento útil, ou tempo de operação ou de valor acrescentado.

Embora os processos estejam definidos, é importante realçar que o tempo de processamento pode variar uma vez que certas características da própria pele variam. Por exemplo, se uma pele é mais seca requer mais passagens de tinta o que implica maior tempo de processamento. No sistema produtivo, por questões de carga, verifica-se a necessidade de ter máquinas repetidas.

A problemática de aprendizagem na conceção e operação de sistemas de produção é importante principalmente em empresas em fase de instalação, como no caso em estudo. No entanto, este trabalho não se foca neste tema. Assim, assume dados operatórios recolhidos, reconhecendo que ajustes à afetação de tarefas poderão ser necessários com o tempo, face às curvas de aprendizagem dos operadores. Um tipo de curva de aprendizagem, que considera a repetitividade de uma tarefa para avaliar o desempenho de um operador, é mostrado na Figura 11.

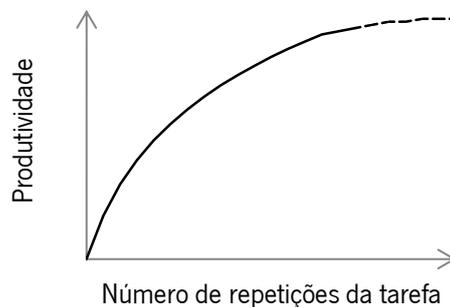


Figura 11: Curva de aprendizagem, (Wild, 1989)

Para além de Wild (1989), também Hayes & Wheelwright (1979b) e Hitomi (1979) defendem que o desempenho de um operador em cada máquina, pode melhorar à medida que a operação vai sendo repetida, verificando-se uma grande redução do tempo da operação, e portanto aumento da produtividade do operador, até ao seu nível máximo de aprendizagem. Este varia de operador para operador, não só quanto ao tempo de aprendizagem como também quanto ao nível máximo de desempenho e contando com o modo de aprendizagem.

4.2.4.1. Enquadramento sociocultural dos operadores

Ainda que a conhecida gestão científica do trabalho e conhecimento, devida a Taylor (1911) e Gilbreth & Gilbreth (1973), tenha relevância nos nossos dias, o seu sucesso é válido hoje dependendo de condicionantes que resultam de estudos de motivação e humanização, levados a cabo por psicólogos

industriais da chamada escola socio-técnica, como Herzberg (1964), Maslow (1943) e Kovács (1992), só para citar alguns.

Os métodos primordiais de organização do trabalho definidos por métodos “tayloristas” e “fordistas” começaram a deixar de fazer sentido no final do século XX. No fim deste século sente-se um ambiente de profunda mudança socioeconómica, tecnológica e cultural (Kovács, 1992). Algumas das tendências vividas são as citadas de seguida.

- O mercado tende a ser instável e diferenciado com novas exigências de eficácia económica (qualidade, flexibilidade, inovação, prazos, etc.), num ambiente de crescente competição e de uma economia cada vez mais internacionalizada.
- A indústria do tipo tradicional e de trabalho intensivo, fundada na mão-de-obra barata, encontra-se em crise face à ascensão de um novo tipo de indústria, baseada na informação de recursos humanos competentes.
- A difusão de novas tecnologias cria novas potencialidades técnico-económicas, mas, ao mesmo tempo coloca novas exigências e possibilidades em termos de qualificação, modos de organização do trabalho e métodos de gestão.
- A mão-de-obra é cada vez mais escolarizada e tem novos valores e aspirações face ao trabalho tais como autonomia, responsabilidade, desenvolvimento pessoal e profissional e participação. Essa evolução não é compatível com o autoritarismo e/ou trabalho repetitivo.
- As formas clássicas de organização do trabalho que desvalorizam o papel do fator humano e limitam e/ou eliminam a participação dos trabalhadores nas decisões, encontram-se em profunda crise. Essa crise manifesta-se na incapacidade de responder às novas exigências do mercado, às aspirações dos indivíduos face ao trabalho e à empresa e ao aproveitamento de novas potencialidades das tecnologias.

Surge uma necessidade crescente de levar as pessoas a reverem-se na visão, valores e missão da empresa. As pessoas envolvidas na organização devem ser portadoras de competências específicas, devem ser estimuladas e motivadas. O trabalho que surge intrinsecamente com este paradigma leva o indivíduo a cooperar num grupo e a trabalhar em equipas multiculturas e multidisciplinares. O trabalho em equipa permite desenvolver competências de liderança, de gestão de conflitos e vontade de possuir competências técnicas de excelência. Este novo comportamento permite flexibilidade às organizações. Espera-se que esta mudança de pensamento possa levar as empresas e as pessoas a coagir numa situação de “*win-win*”.

Segundo Dias (2004) a lei n.º 21/1996 de 23 de Julho surge para tentar melhorar a capacidade concorrencial da economia e das empresas portuguesas, procurando estabelecer um novo quadro jurídico da organização e gestão do tempo de trabalho. Esta é uma tendência europeia, a qual Portugal tenta acompanhar com a implementação desta lei, a mesma verifica-se ser ousada pra uns e insuficiente para outros.

A lei n.º 21/1996 de 23 de Julho foi revogada pela lei n.º 9/2003 de 27 de Agosto, sendo posteriormente regulamentada pela lei n.º 35/2004 de 29 de Julho., permitindo a flexibilidade de horários. Esta flexibilidade de horários induz a existência de substitutos para exercer o trabalho como se percebe pelo artigo 80, da lei n.º 35/2004 de 29 de julho. A substituição de operadores com horário flexível leva as empresas a estimular a polivalência dos seus operadores.

Muitas vezes não é o enquadramento sociocultural que permite a polivalência dos operadores na indústria, mas sim a necessidade inerente. São muitas vezes as novas condições de mercado e a extrema competitividade que levam as empresas a reagir e a optar por novas estratégias. Muitas vezes novas estratégias requerem a flexibilização da utilização dos operadores. Alves, et al. (2003) abordam a necessidade de tornar as organizações flexíveis pela integração de células e pessoas.

A empresa aqui em análise tem enraizada uma cultura francesa e incorpora agora operadores portugueses – ambas são culturas da Europa Ocidental, formando assim uma mistura não muito divergente de princípios e ideais.

4.2.4.2. Filosofia da empresa quanto à humanização do trabalho

Níveis de gestão

A empresa funciona em 2 turnos de 8 horas cada. Em cada turno há um chefe de equipa dedicado ao corte, à preparação e à montagem, podendo por vezes um único chefe de equipa ser responsável por mais do que uma destas secções funcionais.

Aquando da investigação realizada na empresa havia dois chefes de equipa em cada turno. Um chefe de equipa estava responsável pelo corte, preparação e ainda por uma linha de montagem, estando outro chefe de equipa responsável pelas restantes quatro linhas de montagem. A preparação tem atualmente um total de 13 operadores num dos turnos e 11 no outro.

Para além de ser responsável pelo cumprimento dos objetivos de produção, o chefe de equipa realiza outras tarefas. Algumas destas tarefas são a definição de estratégias de afetação de operadores a operações, identificação das competências de cada operador, assegurar comunicação entre chefia e operadores, designar operadores que estão aptos a dar formação, definir o sistema de remuneração, gestão de conflitos, motivação da equipa, comunicar os objetivos de produção e dar *feedback* sobre o seu cumprimento. Alguns destes aspetos de indole humana são mencionados por Bidanda, et al. (2005).

Na secção de preparação há um operador que lidera no grupo sendo responsável também ele por estabelecer a comunicação com o chefe de equipa, preencher alguns documentos, registar possíveis indicadores, entre outros. Embora haja abertura para que qualquer operador possa transmitir informações com o chefe de equipa, este é o representante dos operadores da preparação, sendo apto a realizar qualquer tipo de operação sobre qualquer componente. O líder da preparação é selecionado pelos pares e serve como “facilitador” e não como supervisor, tal como sugere Molleman (2000), acerca dos modos operatórios e trabalho em equipa.

Polivalência, rotatividade e espírito de equipa

O conceito de atividades múltiplas ou polivalência, i.e. a aptidão de um operador para realizar diferentes tarefas não é novo. Skyes, et al. (1997) definem-no como *multiskilling* e Niepce & Molleman (1996) como *multifunctionality*.

A polivalência é uma característica a realçar na preparação uma vez que todos os operadores estão aptos a realizar todas as tarefas. No entanto, alguns operadores pela experiência que já adquiriram, têm mais perspicácia para realizar umas que outras. Para ter a polivalência dos operadores torna-se necessário ter em conta as horas dispensadas em formação bem como o custo associado.

Os operadores afetam e são afetados pela configuração em células. Estudos revelam que por um lado o facto de trabalhar em células pode afetar o comportamento dos operadores (Shafer, et al., 1995), e por outro, a atitude e motivação dos operadores, tem impacto na implementação de células (Olorunniwo & Udo, 2002).

Associado à polivalência surge o conceito de rotatividade. O conceito de rotatividade aqui usado diz respeito à rotatividade interna de postos de trabalho dentro da empresa, e.g. dentro de uma célula de produção (Bluedorn, 1982). Embora se perceba a necessidade de rotatividade nos postos de trabalho, por questão ergonómicas ou motivacionais, esta nem sempre se verifica na secção de preparação.

Nesta secção do sistema produtivo verifica-se elevada polivalência, autonomia e trabalho em equipa envolvendo muita comunicação entre operadores e chefes de equipa.

Os operadores são motivados a participar nas melhorias para a empresa. São colocados quadros estritamente à disposição dos operadores, onde estes podem colocar sugestões de melhoria. Sobre estas sugestões de melhoria, deve ser indicada a aprovação ou não da mesma, e em caso afirmativo, é atribuído um piloto e estabelecida uma data para a realização da sugestão. Os colaboradores são constantemente envolvidos nas alterações propostas pela gestão, procurando ser ouvida a sua opinião. Este envolvimento e motivação permitem grande envolvimento das equipas de trabalho.

Quando se procura dar mais autonomia e responsabilidade ao colaborador, reduzindo os níveis hierárquicos, está-se a realizar *empowerment* (Pinto, 2006). Na empresa em estudo os operadores têm autonomia para decidir que operações realizam a seguir e são também responsabilizados pelas suas ações em reunião de equipa.

4.2.4.3. Aspetos de qualidade, logística e ergonomia das operações

Aspetos de qualidade

Embora as peles devam respeitar certos requisitos de qualidade, incontrolavelmente cada pele pode apresentar diferentes graus de rigidez, espessura, brilho, humidade, nº de defeitos por metro quadrado, etc. Assim, para produzir produtos de qualidade os operadores têm de ter sensibilidade táctil e acuidade visual e muita atenção nos detalhes.

Por exemplo, no corte os operadores devem cortar determinados componentes em determinadas partes de uma pele, para facilitar o processo de preparação e montagem.

Na preparação pode destacar-se por exemplo a operação de igualizar, a qual que requer atenção especial por parte do operador, uma vez que com as variações da pele a afinação da máquina é muito diferente, podendo mesmo variar o número de passagens pela lâmina. A autonomia do operador é aqui necessária sendo um resposta à sua experiência e conhecimento dos processos e produtos.

No final da secção de preparação e antes da montagem, há uma ficha denominada por “ficha de autocontrolo” (Figura 12), a qual deve ser assinada pelo operador que realiza a última operação sobre um componente na preparação. Esta assinatura responsabiliza o último operador, pela qualidade ou conformidade do mesmo para a montagem, assumindo em simultâneo a conformidade das operações precedentes.

Esta é uma forma de responsabilizar os operadores sobre erros de processamento, na tentativa de evitar que componentes não conformes sejam enviados para a montagem, pretende-se com este processo de controlo de conformidade evitar a montagem de produtos não conformes, que reduzem o valor acrescentado.

Quando é detetada uma não conformidade num componente, torna-se normalmente simples perceber qual o posto que originou tal reprovação. Imediatamente são tomadas as medidas necessárias para corrigir o problema na fonte, i.e. no posto de trabalho que está a produzir não qualidade.

FICHA DE AUTOCONTROLO		
Chefe equipa : _____		Data : ____/____/____
F1		COR : _____
N OF interna		
Nº caixa		
Peça	Quantidade	Operador
PREPARACAO		
WP1	60	
WP2	60	
WP3	30	
WP4	60	

Figura 12: Ficha de autocontrolo na preparação

Aspetos de logística

A maioria das operações são mecanizadas ou semi-automáticas, sendo os operadores que transportam os lotes entre máquinas e secções.

Para o transporte entre secções e para o trabalho na montagem há diferentes tipos de caixas de transporte de componentes, permitindo uma melhor gestão visual do estado dos componentes. Esta diferenciação pretende evitar erros de controlo e manuseamento de peças assim como de produção. As caixas são (Figura 13):

- Caixa do tipo A (CaA), transporte entre corte e preparação em lotes de 30 peças.
- Caixa do tipo B (CaB), transporte entre preparação e montagem em lotes de 30 peças.
- Caixa do tipo C (CaC), transporte dentro da montagem em lotes de 10 peças.

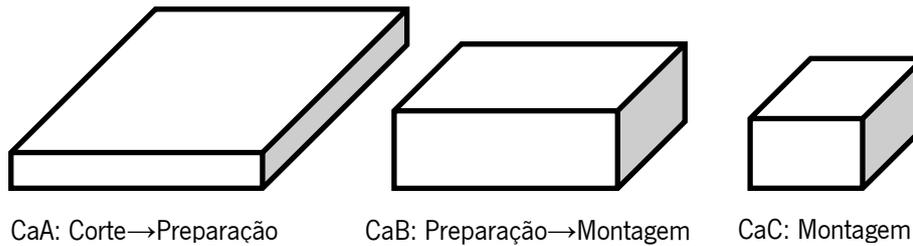


Figura 13: Tipos de caixas ao longo do processo produtivo

A utilização destas caixas permite o transporte dos trabalhos em lotes de 30 unidades. Para um produto final há certos componentes que podem precisar de ser duplicados ou quadruplicados. O tamanho de lote 30 facilita o manuseamento das peças nas caixas. Este tamanho de lote é usado em todo o grupo empresarial facilitando assim a expedição dos produtos acabados e a comunicação entre as unidades organizacionais, clientes e fornecedores dentro do grupo empresarial.

Aspetos ergonómicos

Os aspetos ergonómicos são também de extrema importância na empresa, sendo que alguns são analisados graças a indicações da gestão, dos chefes de equipa e também pelos próprios operadores.

Uma vez que os operadores têm elevada polivalência e alguns possuem muita mobilidade na preparação, estes apresentam menor fadiga e monotonia para com os seus postos de trabalho. Por vezes há entredajuda entre operadores, quer pela carga excessiva de trabalho quer porque a operação é fisicamente desgastante e requer esta situação.

As operações requerem sobretudo perícia manual e muitas são realizadas em pé, estando por isso a empresa sensibilizada para possíveis lesões dos membros superiores e ainda dos inferiores. É importante efetuar estudos como o *rapid upper limb assessment* (RULA) (McAtamney & Corlett, 1993), para a análise dos membros superiores, ou o *rapid entire body assessment* (REBA) (Hignett & McAtamney, 2000) que permite a análise da postura do corpo inteiro.

Tendo em conta o decreto de lei nº 182/2006, de 6 de Setembro, a empresa realiza frequentemente estudos que permitem avaliar o nível de ruído. Também o nível de iluminância é avaliado para perceber se o fluxo luminoso que incide por unidade de superfície é o que garante as melhores condições de trabalho (Miguel, 2010).

4.2.4.4. Classificação do modo operatório na preparação

As condicionantes para os modos operatórios são, segundo Alves (2007), a estabilidade do mercado, que é pouco comum nos dias de hoje, e razões socioculturais pelas condições de trabalho impostas aos operadores. As novas filosofias para modos operatórios incorporam a humanização do trabalho, levando à exploração do potencial criativo, de motivação dos operadores e de trabalho em equipa, etc. Estas sinergias geradas entre empresa e operadores, são benéficas tanto para o trabalhador como para a empresa.

Os modos operatórios que aqui se consideram são o *Working Balance* (WB), *Rabbit Chase* (RC), *Toyota Sewing System* (TSS), *Baton Touch* (BT), *Bucket Brigades* (BB), já descritos na secção 3.4..

Metas de produção

A preparação tem determinados objetivos a cumprir durante o turno a nível de produção, i.e. deve atingir determinados níveis de produtividade. No início do turno há uma reunião de toda a equipa de preparação com o respetivo chefe de equipa. Nesta reunião de 5 minutos são anunciadas as quantidades a produzir para esse turno, são apresentados resultados de eficiência da equipa e poderão ser expostos outros problemas encontrados ou ainda decididos novos modos operatórios que possam surgir por algum pedido excecional do cliente, e.g. prioridade sobre um trabalho alterando o comportamento dos operadores perante o mesmo. Uma vez que a equipa é polivalente estas decisões facilmente poderão ser implementadas. No extremo, um operador poderá processar todos os trabalhos que sejam necessários, o número de operadores é decidido tendo em conta a procura, ou seja as encomendas dos clientes por período, e.g. semana.

A comunicação entre os operadores é sem dúvida um ponto a realçar. Uma vez que não há mecanismos automáticos de transporte entre postos de trabalho, nem tão pouco uma indicação clara das peças que se estão a produzir ou o que deverá ser produzido a seguir, os operadores têm a necessidade de comunicar entre si para esclarecer estes aspetos ao longo do turno de trabalho.

Modo operatório

O modo operatório na preparação não é de todo rígido e com limites bem definidos. Os operadores sabem, por parte do chefe de equipa, que se devem dedicar a determinados componentes trabalhados em determinadas máquinas, mas há muitas variáveis que podem mudar este modo operatório. Há muito trabalho em equipa, no entanto, uma vez que todos os operadores podem realizar todas as operações, o modo de operar poderá divergir devido a decisões isoladas de operar, quer em pequenos grupos quer de forma individual.

O operador que realiza a primeira operação da preparação, operação do tipo A, é quem assume a responsabilidade ao longo do tuno de lançar os trabalhos na preparação. Este operador realiza também a operação do tipo B sobre todos os componentes, colocando posteriormente os trabalhos à disposição da restante secção de preparação. Por norma, este posto de trabalho é sempre realizado pelo mesmo operador, não se verificando rotatividade.

Após realizar a operação B sobre todos os componentes, estes são colocados à disposição na mesma caixa que provem do corte, caixa CaA no *buffer* Bf2 (Figura 10). Aqui as caixas são disponibilizadas numa lógica FIFO, uma vez que são colocadas em baixo, enquanto que os operadores a jusante do posto B vão retirando todos os componentes das caixa de cima, como ilustra a imagem dentro do *Buffer* Bf2 na Figura 14.

Embora a disciplina tenda a respeitar o FIFO ao longo de toda a secção de preparação, nem sempre nos *buffers* entre o corte-preparação (Bf1) e preparação-montagem (Bf7), esta lógica é respeitada. Verifica-se que muitas vezes a ordem de colocação das caixas nestes *buffers* de entrada e saída da preparação não é a mesma, sendo que uns operadores consideram o sentido de entrada de caixas da direita para a esquerda e outros no sentido inverso.

O operador que realiza as operações A e B sobre todos os componentes de todas as famílias, pode por vezes ser ajudado por outro quando a carga é elevada. Este último operador tem portanto uma zona de atuação ou secção e trabalha entre *decouplers*, i.e. entre o Bf1 e o Bf2, característica comum no modo operatório *Working Balance* (WB).

Este método não se torna muito prático e incorre em perdas de tempo, uma vez que sempre que os operadores terminam a operação B e vão levar um trabalho ao *buffer* Bf2, devem tirar todas as caixas de cima para colocar uma nova em baixo.

Os operadores que operam depois do *buffer* Bf2 estão destinados a retirar e processar determinado tipo de componente. Assim, quando a caixa que está em cima não contém o componente que o operador deve processar, o sistema incorre novamente em perdas de tempo, este vai percorrer as caixas de cima para baixo, até encontrar uma caixa com o tipo de componente que pretende.

Ao longo do sistema produtivo os trabalhos devem ser processados segundo o lote de 30 unidades. Assim, os operadores vão trabalhando os componentes que permitem o fabrico de 30 produtos finais.

O que se verifica atualmente, é que quando o processamento de um componente está em atraso há um elevado nº de caixas acumuladas neste *buffer* Bf2, observando-se uma média de 13 a 16 caixas nesta mesa de suporte.

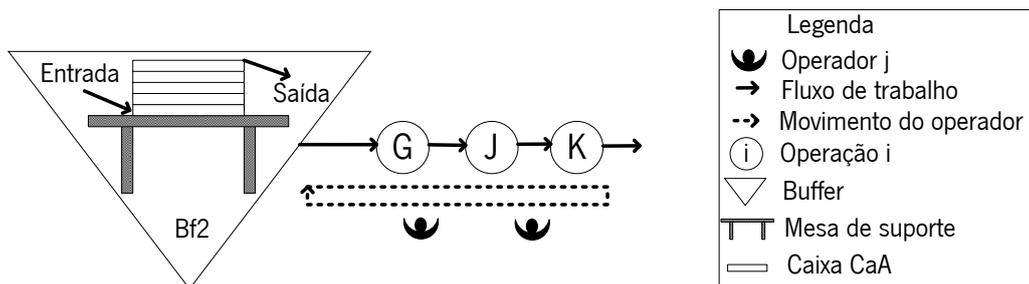


Figura 14: Disciplina de despacho da preparação e modo operatório, situação atual

A um conjunto de operadores é incumbida a tarefa de ir “buscar” à caixa que está em Bf2 determinado componente e realizar sobre ele, determinado número de operações. Por exemplo, se os operadores *j* e *i* realizam as operações G, J e K sobre o componente WP2, então cabe a eles irem buscar este tipo de componentes à caixa em Bf2 e trabalhá-los (Figura 14). Depois de realizarem as operações G, J e K estes operadores colocam os componentes na máquina a seguir, formando pequenos *buffers* ao longo da preparação. Se as operações que se seguem para o componente WP2, são a R, M e N cabe aos operadores afetos a essas operações trabalhar os componentes. Quando o operador verifica que há trabalho à espera junto de uma máquina este, se disponível, processa esses trabalhos.

Uma das normas da empresa é a de que “um operador deve ser capaz de operar pelo menos duas máquinas e uma máquina deve ser processada por pelo menos dois operadores”.

Embora os operadores tenham um conjunto de operações às quais estão na maior parte do tempo de trabalho dedicados, em postos adjacentes, podem realizar operações mais à frente ou mais atrás no

processo de preparação, devido à sua polivalência e necessidades que possam surgir. Alguns realizam outros trabalhos como alimentar a célula e preencher documentação necessária.

Verifica-se elevada flexibilidade de atuação, i.e. não há uma zona de atuação que seja completamente fechada, embora seja recomendada. Neste sentido verificam-se semelhanças com o modo de operar denominado *Baton-touch* (BT) que é uma hibridação do *Toyota Sewing System* (TSS) e do *Working Balance* (WB) (Alves, 2007). Os operadores têm determinados padrões de trabalho conhecendo determinadas máquinas onde devem operar na maior parte do tempo, no entanto os operadores podem atravessar a célula e trabalhar em postos que não sejam adjacentes, característica presente no WB.

Verifica-se ainda partilha de equipamento, conceito presente no TSS. Normalmente o equipamento é partilhado porque há diferentes componentes que realizam uma operação numa determinada máquina, sendo que também pode ocorrer a situação em que o operador retira o trabalho das mãos de outro operador, ou processa trabalho que está no *decoupler*, junto a uma máquina à espera de ser processado. Veja-se o exemplo da operação 9 na Figura 15, que é partilhada pelos dois operadores que realizam a operação 7 e 8 e pelos dois operadores que realizam a operação 10 e 11.

O conjunto de dois operadores que estão normalmente afetos a um conjunto de máquinas e que se devem coordenar entre si, podem por vezes orientar-se no sentido do fluxo de materiais ou por outro lado recuar no posto a montante e pegar no trabalho do operador com o qual faz equipa, para que por sua vez este recue e vá ao *buffer* buscar mais trabalho. Verifica-se aqui semelhanças com *Bucket Brigades* (BB), uma vez que o operador monta progressivamente um produto ao longo de uma linha na qual existem menos operadores que máquinas.

O facto da produção se auto balancear pela dinâmica de colaboração dos operadores é também um conceito presente no BB. Na verdade, não foram previamente tirados tempos de processamento na preparação, o próprio movimento de operadores e o conhecimento de características, quer ergonómicas quer de processamento, permitiu adaptar os operadores da preparação a determinados tipos de máquinas. No entanto, o número total de operadores presentes na preparação nem sempre é suficiente e por vezes é maior que o necessário. Aparentemente parece existir necessidade de um melhor conhecimento de produtividade dos operadores e melhor ajuste da capacidade à carga, ou vice-versa.

Em cada um dos turnos há pelo menos um operador que é o facilitador e comunica ao chefe de equipa problemas que possam existir, este preenche ainda documentação e pode realizar todas as operações da preparação. Usualmente, este operador processa trabalhos que estão mais atrasados em relação aos outros. Poderá mesmo realizar um trabalho do princípio ao fim, para dar resposta a algum pedido especial por parte da montagem. Esta característica de um operador executar todas as tarefas do processo produtivo do princípio ao fim, é característica do modo operatório conhecido como *Rabbit Chase* (RC), sendo que neste caso, este operador pode pedir prioridade na realização de uma operação e assim transpor outros operadores.

Podemos concluir que resulta uma hibridação de vários modos operatórios. De facto contém várias características presentes nos diferentes modos. Surgem semelhanças com o WB, BT, TSS, BB e RC. A Figura 15 ilustra a lógica operacional da secção da preparação, podendo perceber-se a hibridação operatória referida.

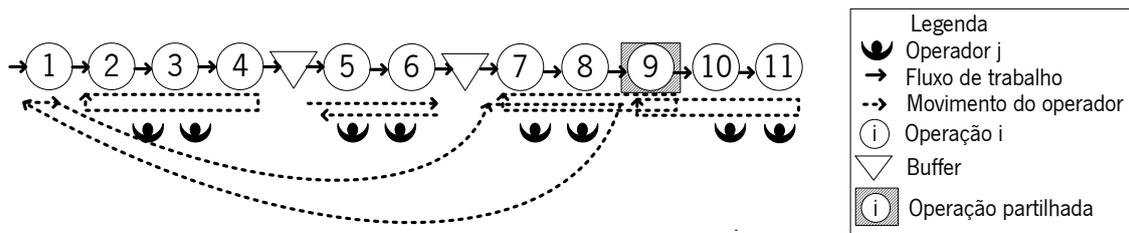


Figura 15: Modo operatório na preparação, situação atual

Quando um componente já sofreu todas as operações de preparação e está pronto para a montagem é colocado numa caixa do tipo CaB (Figura 13), em outra mesa de suporte (Bf6 na Figura 10), que serve como *buffer* para reagrupar os componentes de uma mesma família de produtos de mercado, antes de os disponibilizar para a montagem noutra *buffer* (Bf7 na Figura 10). O operador que realiza a última operação de preparação num dado componente, assina a folha denominada por “ficha de auto-controlo” (Figura 12) que se encontra na caixa CaB.

As caixas do tipo CaB, aguardam posteriormente no *buffer* Bf7 destinado à montagem. O operador da montagem vai buscar um caixa do tipo CaB ao *buffer*, e na entrada da linha de montagem, separa os componentes por caixas do tipo CaC.

4.2.5. Controlo da atividade produtiva

A produção funciona em *Make-To-Order* (MTO), só após aprovadas as encomendas com o fornecedor se inicia o planeamento da produção por parte da empresa em estudo. Quando a empresa pretende iniciar o fabrico de determinada encomenda lança para a produção ordens de fabrico (OF), nas quais é indicada a quantidade a produzir, o código, a família do artigo e o cliente da encomenda.

As encomendas variam consideravelmente a cada semana, quer em quantidade quer em diversidade de produtos. A quantidade e diversidade a produzir por semana é definida com o cliente tendo em conta a capacidade produtiva da empresa.

A empresa está em fase de crescimento e instalação, razão pela qual tem aumentado a cada mês a sua mão-de-obra especializada (numa média de 10 operadores por mês, durante um período esperado de um ano), aumentando portanto a sua capacidade produtiva mensal e sujeitando-se a um processo adaptativo continuado de afetação de recursos, organização fabril e variações no processo de planeamento e controlo da produção. Este processo esteve em curso durante o período de realização do projeto de dissertação de mestrado, prevendo-se que continue por mais algum tempo.

As variações na organização e controlo da atividade produtiva têm tido em vista melhorar sucessivamente o desempenho, principalmente no que concerne a falhas que originam faltas ou excessos de produção. No essencial, procura-se uma melhor sincronização da produção com a procura e a garantia de uma boa utilização dos meios produtivos, i.e. instalações, equipamento e pessoas.

São três as configurações evolucionárias que foram implementadas na empresa e que podem ser identificadas, pelas quais passou o processo de controlo da atividade produtiva, como abaixo se descreve.

4.2.5.1. Primeira configuração

Mecanismo de controlo e coordenação

Através de um quadro implantado no sistema produtivo, por simples visualização, a preparação e a montagem conhecem que quantidades a montagem deve entregar em cada turno e que tipo de produtos finais. A informação acerca do que produzir e em que quantidades produzir, não é dada de forma antecipada à preparação nem ao corte, i.e. apenas se sabe o que a montagem deve concluir e quando deve concluir.

Uma vez que o corte não tem o mesmo acesso visual aos objetivos de produção da secção de montagem (por estar num andar inferior), é o chefe de equipa quem, visitando a montagem, informa verbalmente o corte do que deve produzir no início de cada turno.

Estima-se que o corte deva estar desfasado em avanço de um dia de produção em relação à montagem, para um boa coordenação do fluxo de materiais e alimentação quer da montagem quer da preparação. Esta estimativa é dada apenas com base na experiência e na tentativa de melhor escalonar no tempo os lançamentos de trabalho. Tendo em conta este desfasamento, o chefe de equipa do corte olha para os objetivos que a montagem terá dali a um dia e determina a sua produção, a qual poderá satisfazer os objetivos. Portanto, pode-se dizer que é a montagem que autoriza a produção no corte, implementando-se desta forma o paradigma *pull* de controlo. Por outro lado, o corte empurra a sua produção para o *buffer* de entrada da preparação, autorizando-a desta forma a realizar a sua fase de transformação. Portanto, entre estas duas secções, o paradigma *push* é aplicado. No entanto, a atividade da preparação é dependente das necessidades da montagem, pelo que a gestão de prioridades de produção resulta de um processo *pull* entre estas duas secções, iniciado pela montagem.

As situações expostas acima, que descrevem a primeira configuração de controlo e explicam o sentido do fluxo de material e do fluxo de informação ou decisão entre o corte e a preparação, e entre a preparação e a montagem, encontram-se ilustradas na Figura 16.

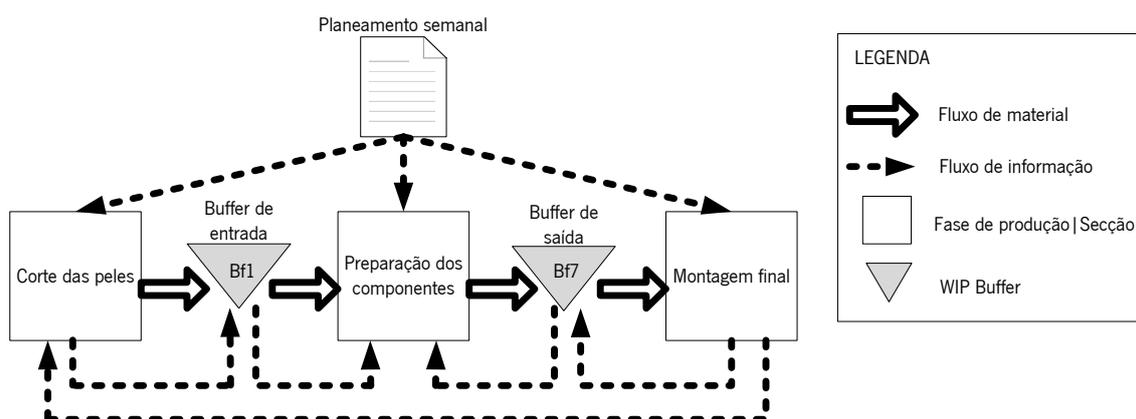


Figura 16: Primeira configuração do controlo intercelular da atividade produtiva

Claramente se identificam os fluxos de informação e decisão do tipo *pull* e *push* que configuram a abordagem ao CAP na empresa, como sendo uma hibridação dos dois paradigmas de controlo acima relatados. Entre o corte e a preparação trata-se de um sistema *push* e entre a preparação e a montagem de um sistema *pull*, havendo uma malha *pull* entre a montagem e o corte, - o sistema é um híbrido *pull-push*.

Prioridades e despacho

A gestão de prioridades de lançamento dos trabalhos na secção de preparação é feita pelo operador responsável do primeiro processo preparatório dos componentes. Esta gestão é feita segundo os critérios que de seguida se apresentam.

À saída da preparação encontra-se o *buffer* Bf7 com os lotes preparados para consumo da montagem. Este *buffer* é organizado em prateleiras, contendo cada uma os componentes destinados a cada uma das linhas de montagem, como ilustrado na Figura 17. O planeamento semanal indica os objetivos de produção da montagem por turno, sendo posteriormente transmitida esta informação à preparação e ao corte. Assim, no caso da preparação, junto do *buffer* com os componentes para montagem, é visível um quadro com tais objetivos, definindo as quantidades por tipo de artigo final que a preparação deve produzir ao longo do turno, Figura 17. No quadro da figura está indicado para o turno a necessidade de produzir quatro produtos, indicados pelo seu código de produto final, pertencentes a três famílias de produtos diferentes (F1, F2 e F4). Cada círculo, representado por uma etiqueta circular com padrões diferentes, corresponde a um lote de 30 artigos. Quando os componentes necessários do lote de artigos estão todos processados na preparação, prontos para a montagem e colocados no *buffer* Bf7 de saída da preparação, o círculo correspondente é removido do quadro.

O *stock* nas prateleiras é avaliado pelo número de caixas com componentes. Ao analisar a Figura 17 pode verificar-se que para a linha 4 não há nenhuma caixa disponível. As outras linhas estão providas de maior *stock*, razão pela qual a prioridade de fabricação na preparação é dada aos trabalhos programados para o turno que alimentem a linha de montagem 4 (LM4).

A prioridade de processamento dos componentes na preparação é determinada pela estimativa do tempo de escoamento de cada prateleira, i.e. do *time buffer* de cada linha determinado na base do tamanho da fila, medido pelo número de caixas cheias em *stock* no *buffer*. Assim, a prateleira cujo número de caixas é menor, dita a prioridade de lançamento na preparação, i.e. indica a prateleira que deve ser alimentada. Portanto o artigo correspondente, programado para o turno, deve ser produzido a seguir para repor o *buffer* de entrada da linha de montagem respetiva, de forma a evitar rotura na sua alimentação.



OBJETIVOS PREPARAÇÃO



F1 Cód. XXII	● ● ● ●
F2 Cód. XXZZ	⊗ ⊗
F1 Cód. XXWW	⊘ ⊘ ⊘
F4 Cód. ZZII	○ ○

Figura 17: Sistema para priorizar lançamento de trabalhos na preparação, *buffer* Bf7 e objetivos

Esta gestão visual de prioridades obriga a que o operador responsável pelo lançamento perceba as necessidades e tenha acesso à visualização tanto do *buffer* de saída da preparação (entrada na montagem) como de entrada na secção de preparação.

Atualmente, no sentido de fiabilizar o encadeamento apropriado do trabalho o chefe de equipa da montagem alerta frequentemente o operador que lança os trabalhos na preparação para as necessidades da montagem.

Se houver perfeita coordenação entre a montagem e a preparação este processo de priorização deveria levar a uma lógica de prioridade de fabrico, i.e. despacho, na preparação do tipo FIFO (*First-In-First-Out*), e o consumo do *stock* pela montagem seguindo a mesma prioridade. Na prática tal não acontece, de facto, muitas vezes o encadeamento FIFO é perdido no *buffer* Bf7 (Figura 17). Tal acontece porque não há uma disciplina rigorosa de alimentação e também de escoamento das prateleiras. Esta situação leva a que muitas vezes caixas fiquem esquecidas no *buffer*, quando deviam há muito terem sido “consumidas”. Isto pode resultar em perdas de economias de escala aparentemente acauteladas com a disciplina FIFO, face ao tamanho da ordem de fabrico. Por isso, a preparação e a montagem executam *set-ups* com maior frequência que o necessário, resultando daí alguma perda de capacidade que pode comprometer objetivos de produtividade para as secções. Adicionalmente, resulta deste processo que algumas ordens de fabrico ficam incompletas, tendo de esperar por artigos que entretanto deveriam ter sido já montados. Esta situação verifica-se na primeira configuração de controlo, mas também na, segunda e terceira abaixo descritas. A perda do encadeamento FIFO e os problemas relatados também se verificam no *buffer* Bf1, de entrada da preparação.

Este método de priorizar os trabalhos apesar de parecer robusto não está à altura das exigências, mesmo com uma boa e ágil coordenação entre secções, principalmente tendo em conta que se os *stocks* em

curso forem baixos, como se pretende, roturas podem acontecer. De facto, à medida que a complexidade produtiva aumenta, traduzida por exemplo pelo aumento do volume de produção e da variedade de artigos a produzir, o método não tem correspondido às expectativas. De facto, não tem evitado alguns períodos de paragem não planeados das linhas, o mesmo é dizer perdas de produção e de produtividade e de cumprimento dos objetivos produtivos e de mercado assumidos.

Alguns problemas que desde já se podem antever com este método de priorização são:

- Em situações em que no *buffer* de saída haja mais que uma prateleira sem *stock*, não há respostas objetivas a perguntas pertinentes que permitam tomar uma boa decisão, capaz de ir ao encontro dos objetivos de montagem sem perturbações ou interrupções de produção. E.g.: qual a prateleira a alimentar primeiro? Porquê?
- O problema, embora menos acutilante, também existe quando há o mesmo número mínimo de caixas em mais que uma prateleira.
- Havendo mais que um artigo para alimentar a mesma prateleira, fica sempre a dificuldade de saber qual deve ser produzido primeiro, ou seja: que caixa de componentes cortados deve ser lançada primeiro.
- A assunção de que o tempo de escoamento é proporcional ao número de caixas na prateleira não é correta, por não ter em conta o tempo de montagem dos trabalhos em cada linha. De facto, se uma linha de montagem for, por exemplo, duas vezes mais rápida que outra a escoar caixas, precisa obviamente de duas vezes mais caixas. Isto invalida a priorização baseado estritamente no mínimo número de caixas nas prateleiras.
- Os objetivos da preparação estão orientados a um produto em concreto, não estando orientado por linha de montagem como está o *buffer* Bf7. Embora o operador que lança os trabalhos na preparação saiba que famílias é que podem ser feitas em que linha de montagem, nem sempre fica claro que linha consome que produto naquele momento, levando a erros de perceção e lançamentos errados.

4.2.5.2. Segunda configuração

Mecanismo de controlo e coordenação

Na segunda configuração de controlo verifica-se uma alteração no fluxo de informação, i.e. processo de autorização de produção e de envio de materiais, entre a preparação e o corte. Esta alteração traduz-se na utilização de cartões controlo, tipo *kanban* (Monden, 1981), que são introduzidos nas caixas do tipo CaA (Figura 13) vazias, que saem da preparação e vão para o corte. Em cada cartão é indicado o código do artigo, sendo que um cartão autoriza o corte de um lote de peças para 30 artigos finais. O corte recebe caixas vazias e começa a produzir a quantidade e o tipo de peças indicado no cartão.

O movimento de caixas vazias com cartão *kanban*, da preparação para o corte, é feito normalmente três vezes ao dia, pelo *milk run*. O corte não tem nenhum acesso ao planeamento semanal, apenas produz o que a preparação lhe pede pelos cartões *kanban*. Tendo em conta as quantidades previstas a produzir no turno, a preparação vai colocando os cartões *kanban* nas caixas a enviar para o corte. A situação descrita apresenta um sistema com uma lógica *pull* e encontra-se ilustrada na Figura 18. A lógica do fluxo de material e de informação entre a preparação e a montagem mantem-se idêntica à da primeira configuração acima descrita

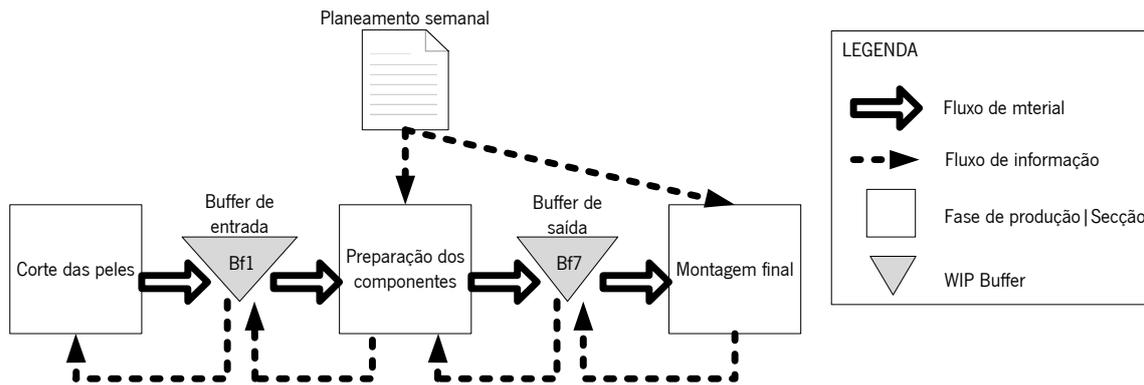


Figura 18: Segunda configuração do controlo intercelular da atividade produtiva

Uma vantagem evidente desta segunda configuração de controlo, exclusivamente *pull*, é que erros de alimentação de corte à preparação podem ser atenuados e a montagem apenas necessita de interagir com a preparação e não com o corte, como acontecia na configuração de controlo anterior.

Apesar da aparente melhoria na lógica de controlo verificou-se frequentemente falta de alimentação do corte à preparação.

O sistema *kanban* puro talvez não seja o melhor para o presente sistema, uma vez que a variedade de produtos é muito grande, requerendo uma constante mudança de cartões pela mudança do código dos produtos. Uma outra perda que esta configuração apresenta é a falta de informação que o corte tem acerca do planeamento semanal, sendo que quando o corte não tem caixas com cartão *kanban*, não produz nada. Os problemas que surgem desta configuração poderão ainda dever-se ao facto do *milk run* não ter períodos estabelecidos para o transporte de caixas entre a preparação e o corte.

Alguns problemas de rotura e priorização encontrados na configuração anterior também se verificaram nesta. Assim, após o teste durante dois meses desta configuração e face à insatisfação dos resultados, desenhou-se a terceira configuração que foi então implementada.

4.2.5.3. Terceira configuração

Mecanismo de controlo e coordenação

Nesta configuração cada secção recebe com antecedência informação acerca do que produzir e em que quantidades, em cada semana e por turno. A informação é dada em cada secção, em quantidades necessárias para cada linha de montagem, numa lógica *push*. Assim, estamos perante uma situação em que cada secção não olha para o que a secção a jusante está a consumir, mas sim está-se a empurrar o que se produz com base num plano estabelecido semanalmente. A situação é ilustrada na Figura 19.

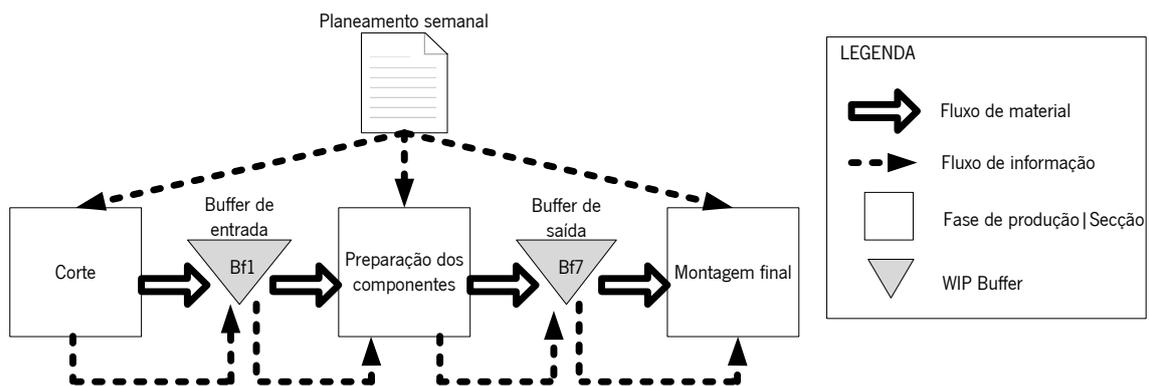


Figura 19: Terceira configuração do controlo intercelular da atividade produtiva

O corte recebe informação com dois dias de antecedência em relação à montagem e a preparação com um dia de antecedência, como apresenta o exemplo na Tabela 5. Portanto uma lógica similar ao *Period Batch Control* (PBC) (Riezebos, 2001) é implementada, em que o período de controlo é de um dia.

Tabela 5: Planeamento semana da produção de cada secção, com indicação do turno

Linha de montagem 1 Turno 1	Semana 30			
	Segunda-feira	Terça-Feira	Quarta-feira	...
Corte	240 F1 preto 60 F1 carmim 90 F2 rosa	...	...	...
Preparação	...	240 F1 preto 60 F1 carmim 90 F2 rosa	...	...
Montagem	...	...	240 F1 preto 60 F1 carmim 90 F2 rosa	...

Todas as quintas-feiras é atualizado o planeamento semanal em cada secção, considerando eventuais atrasos em encomendas de semanas anteriores.

Este plano parece ter bons resultados no sentido que permite evitar as faltas de *stock* no *buffer* de entrada e saída da preparação. As paragens que se notam muitas vezes na primeira e segunda configuração por parte das linhas de montagem ou preparação deixam de existir aqui, uma vez que se produz com grande antecedência.

A desvantagem da aplicação deste método é que resulta em grandes quantidades de WIP e alongamento do tempo em curso de fabrico, em um dia. No primeiro mês em que o sistema permaneceu na terceira configuração, o WIP aumentou em 84% em relação ao mês anterior, estes dados serão apresentados mais à frente na secção 4.2.5.4.. Enquanto na primeira e segunda configuração o corte produz com 1 dia de antecedência (ou menos), nesta configuração o corte produz com 2 dias de antecedência. Estas

desvantagens no WIP e no alongamento dos *lead time* aquando da aplicação de mecanismos de data programada, são defendidos por Hopp & Spearman (1996).

Prioridades e despacho

No corte e na preparação, são os operadores que deliberadamente decidem que prioridade dar aos trabalhos. Usualmente, produzem tudo o que está previsto para a linha de montagem 1, depois para a 2, 3, 4 e 5. O turno seguinte pode terminar o que o anterior estava a produzir ou começa imediatamente pelos objetivos da linha 5, depois 4, 3, 2 e 1. Já não é urgente a priorização dos trabalhos na preparação com base nos critérios descritos na primeira e segunda configuração.

É evidente que parece não haver coordenação entre secções além do facto de que a produção no período de controlo em cada seção deve ser garantida. Atrasos ou adiantos são perturbadores do fluxo e dos prazos internos de produção para um bom controlo dos prazos de fabrico.

4.2.5.4. Métricas de desempenho

Para perceber realmente de que forma as diferentes configurações afetaram o sistema produtivo, e medir qual a que contribui com melhor desempenho, foram analisados alguns indicadores ao longo das três configurações, nomeadamente o WIP, o tempo de ciclo e a ocupação ou utilização dos recursos.

Tendo em consideração a fase de instalação da empresa há diversos fatores que podem afetar as medidas de desempenho do sistema, são exemplo: os fatores sociais como a entrada de operadores, aumento imprevistos de produtividade, compra de novas máquinas, entrada de novos produtos no sistema. Os dados que a seguir se apresentam ilustram precisamente a instabilidade do sistema, verificam-se picos e torna-se difícil perceber a tendência dos indicadores. A análise será feita considerando nulos os vários fatores externos que podem ter interferência no sistema.

WIP

O gráfico da Figura 20 ilustra o WIP de peças cortadas (junto ao corte no andar inferior), o *buffer* Bf1 de entrada da preparação, nas células de preparação e no *buffer* Bf7 de saída da preparação. O gráfico da Figura 21 ilustra o WIP nas linhas de montagem, o *stock* no *buffer* no fim das linhas de montagem e no armazém em expedição.

Na preparação, verifica-se que o WIP tem tendência a diminuir na segunda configuração do CAP e a aumentar na terceira configuração. Na montagem, o WIP tem tendência a diminuir mais na terceira configuração. No geral, o nível de WIP na montagem é muito maior ao WIP no corte e preparação.

Na primeira e segunda configuração verifica-se que há peças cortadas (junto do corte no andar inferior), mas não há peças no *buffer* de entrada da preparação, esta tendência é invertida na terceira configuração. Este parece ser o problema já relatado com *milk run*, por este não ter períodos bem definidos para o abastecimento da preparação. Na segunda e terceira configuração o WIP nas células de preparação tem tendência a diminuir. O nível de *stock* no *buffer* de saída da preparação diminui muito na segunda configuração, aumentando novamente na terceira configuração.

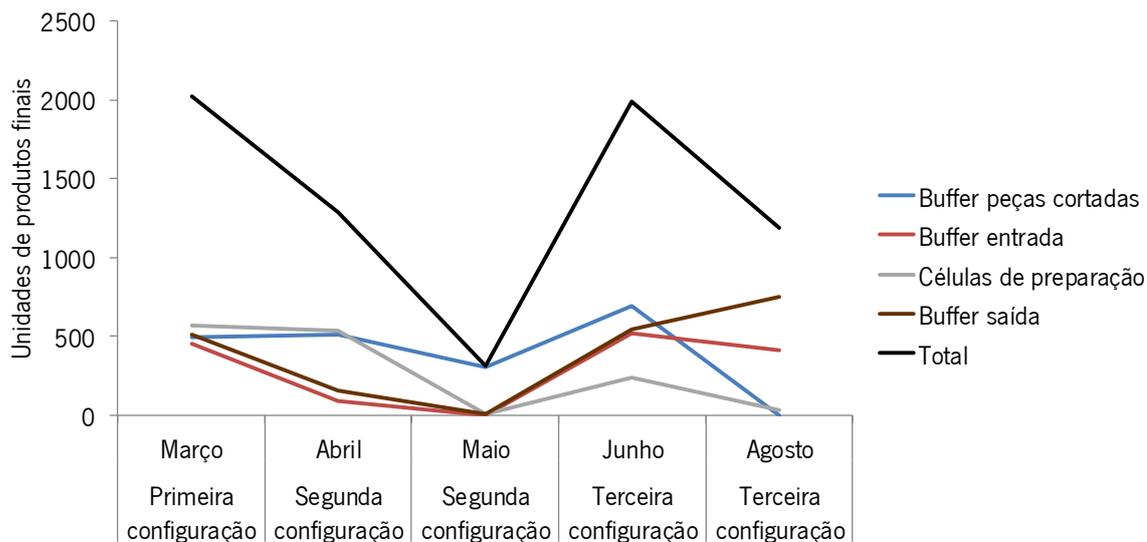


Figura 20: WIP na preparação nas várias configurações do CAP

Na expedição, o WIP reduziu muito ao longo das várias configurações (de 4120 para 1197 unidades de produto final). O *buffer* de saída das linhas de montagem e nas próprias linhas de montagem mantem-se aproximadamente constante.

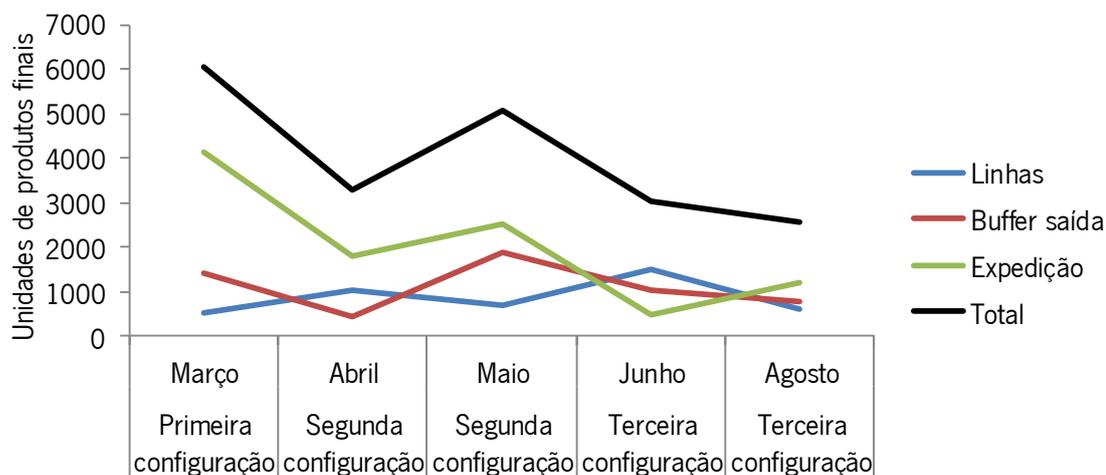


Figura 21: WIP na montagem nas várias configurações do CAP

Tempo de ciclo

O tempo de ciclo reduziu consideravelmente ao longo das várias configurações. O cliente no presente sistema produtivo é a montagem, então o tempo de ciclo da montagem é o *takt time* do sistema. Assim, na Figura 22 a linha que representa o tempo de ciclo da preparação e do corte deveriam ser muito próximos da linha que representa o tempo de ciclo da montagem mas nunca a deveriam ultrapassar. Verifica-se que o tempo de ciclo do corte é sempre superior ao tempo de ciclo da preparação e

montagem. Problemas no correto balanceamento das linhas poderão também estar inerentes a estas variações.

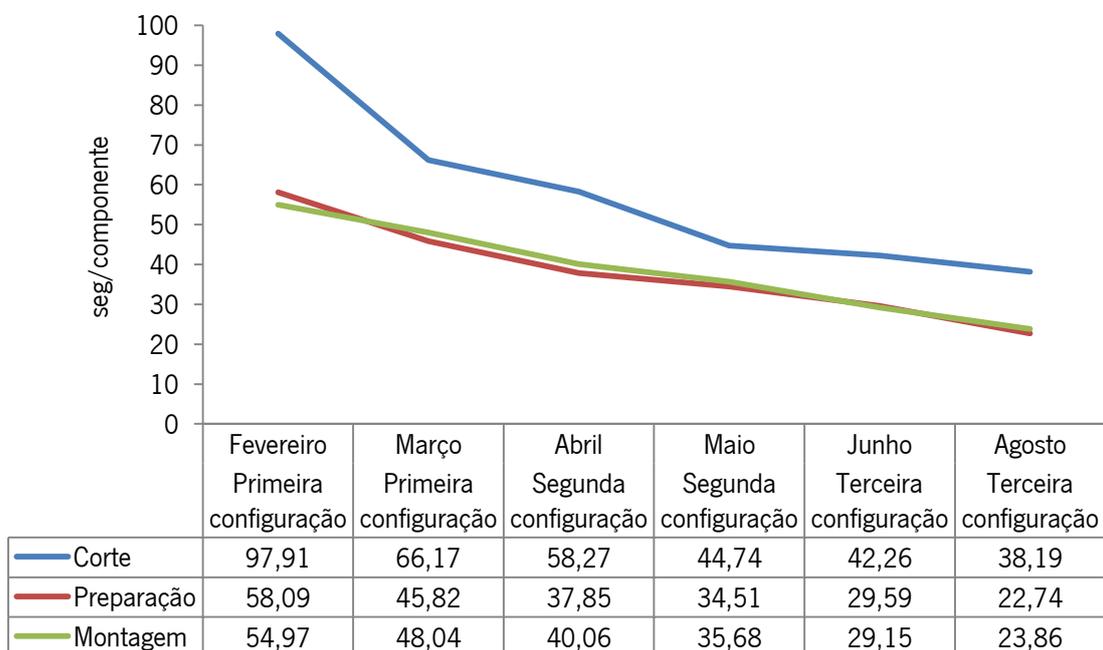


Figura 22: Tempo de ciclo nas várias configurações do CAP

Produtividade

Considera-se que a produtividade do sistema é 90%, assim o cliente envia mais 10% de pele para poder assegurar que tem as quantidades desejadas. Se a empresa tiver produtividade inferior a 90% no processamento de determinada OF, deve produzir novamente os artigos para essa OF, até atingir a quantidade desejada pelo cliente. Supondo que o cliente pretende receber 100 peças, então envia matéria-prima para 110 peças, para poder garantir que recebe as 100 peças.

Ocupação

Na empresa em estudo a ocupação é determinada pela fórmula que a seguir se apresenta. A carga é dada pela soma da multiplicação da quantidade produzida de determinado artigo pelo tempo padrão (TP) de uma unidade desse artigo. A capacidade é dada pelo produto do número de operadores pelo tempo disponível no turno, neste caso é de 26400 segundos.

$$\text{Ocupação} = \frac{\text{Carga}}{\text{Capacidade}} = \frac{\text{Quantidade a realizar} \times \text{Tempo padrão}}{\text{Tempo total disponível} \times \text{Disponibilidade} \times \text{Eficiência}}$$

$$\text{Ocupação} = \frac{\text{Quantidade}_{F1a} \times \text{TP}_{F1a} + \text{Quantidade}_{F1b} \times \text{TP}_{F1b} + \text{Quantidade}_{F2a} \times \text{TP}_{F2a} + \dots + \text{Quantidade}_{FzZ} \times \text{TP}_{FzZ}}{\text{Número de operadores} \times \text{Tempo disponível}}$$

*Considera-se eficiência e disponibilidade = 100%

** Considera-se que Tempo total disponível = Número de operadores * Tempo disponível

A ocupação não deve ser igual ou superior a 100% pois isso causa estrangulamento no sistema, ou seja, o número de encomendas em atraso vai crescendo continuamente resultando em mau serviço. Em consequência surgem graves problemas de planeamento e controlo de operações.

Tendo em conta as inúmeras oscilações do gráfico da Figura 23, a empresa deve procurar estabelecer um equilíbrio entre produtividade (elevada ocupação) e serviço (baixa ocupação).

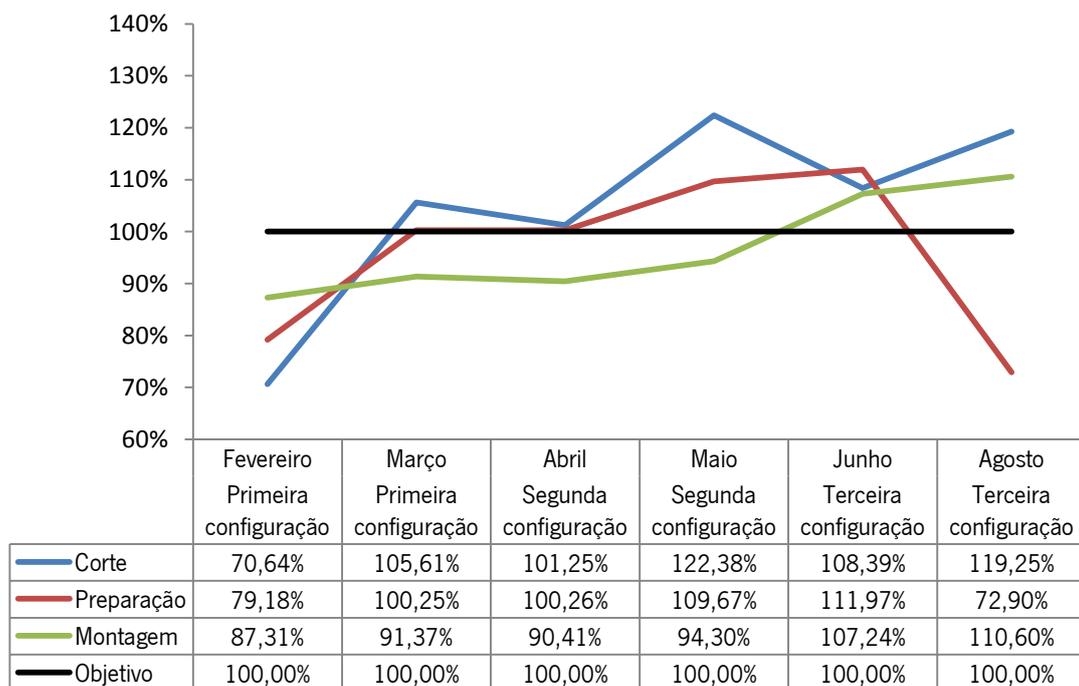


Figura 23: Ocupação do sistema produtivo nas várias configurações do CAP

4.3. Análise crítica

Considerando algumas das observações feitas na descrição da situação atual, pretende-se nesta secção discutir e resumir os vários aspetos que requerem análise crítica. Os focos de análise e discussão são classificados segundo os 7 desperdícios, usualmente considerados em sistemas produtivos, e apresentados num VSM.

Para a otimização de um sistema produtivo é necessário ter uma visão global dos processos para poder atuar de forma individualizada. Assim surge o *Value Stream Mapping* (VSM) ou mapeamento da cadeia de valor, conceito desenvolvido por Rother & Shook (1999), como ferramenta neste capítulo para ajudar na percepção de problemas.

O VSM permite visualizar tanto o fluxo de materiais como o fluxo de informação permitindo que todos na empresa reconheçam o desperdício e possam identificar as suas causas, servindo assim como ferramenta de comunicação. Cada processo tem uma representação típica no esquema, e.g. o fluxo de informação, de transporte e de material, o *stock* e os tempos de ciclo das operações. A grande potencialidade desta ferramenta, é que distingue as atividades que acrescentam valor das atividades que não acrescentam valor ao processo. Ao apresentar esta distinção, percebe-se onde estão os focos de análise e onde podemos melhorar. Esta representação considera o *lead time* do processo e ilustra o estado atual e a situação futura, a qual se pretende atingir, num ciclo de melhoria contínua ou *kaizen* - que poderá ser realizado num projeto contínuo de *Plan Do Check Act* (PDCA), método proposto por Deming e exposto por Walton & Deming (1988).

Segundo Pinto (2006), o VSM é uma boa ferramenta para empresas que estão a iniciar a sua jornada *lean*, porque:

- Ajuda a visualizar mais do que um processo. Permite uma visão de toda a cadeia de valor não se centrando em partes específicas.
- Permite identificar algo mais do que desperdício. Ajuda a identificar as suas origens ao longo de toda a cadeia de valor.
- Fornece uma linguagem comum, simples e intuitiva.
- Favorece uma abordagem global aos conceitos e ferramentas *lean*.
- Fornece uma base para um plano de implementação.
- Demonstra a ligação entre fluxo de materiais, capital e informação.

Tendo em conta as características descritas sobre o sistema ao longo da presente secção, construiu-se o VSM com base na primeira configuração de CAP que se descreveu, o qual que se ilustra na Figura 24.

O VSM usa uma linguagem intuitiva e simples para facilitar a compreensão da representação. O significado da simbologia usada na construção do presente VSM, encontra-se na Figura 49 do Anexo 1.

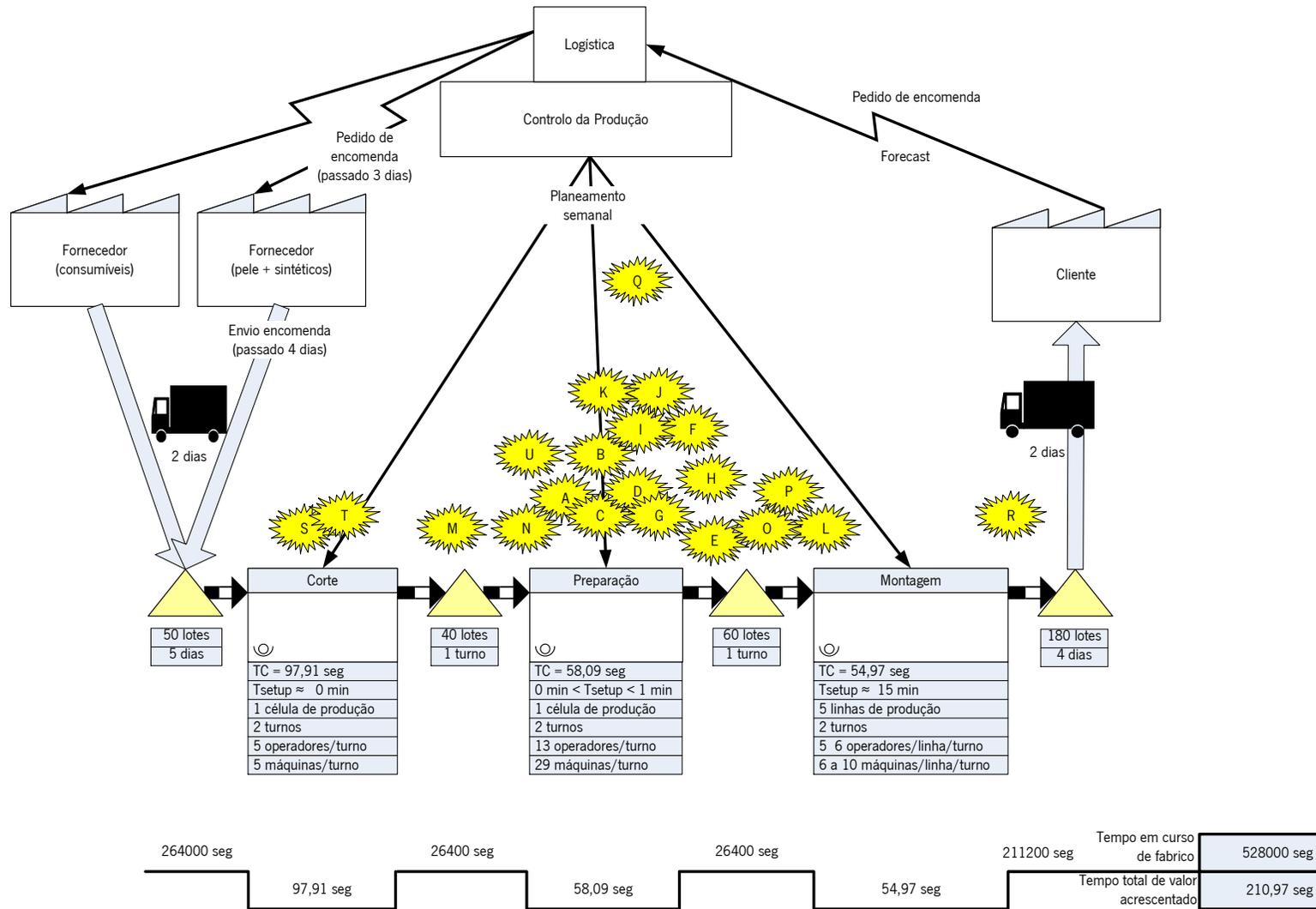


Figura 24: *Value stream mapping*, relativo à primeira configuração do CAP

Desde que a logística recebe uma encomenda, esta só chega ao cliente 21 dias depois, na empresa o material permanece 528000 segundos sofrendo apenas uma média de 210,97 segundos de valor acrescentado.

Segue-se uma síntese dos pontos onde há desperdício (Tabela 6) e que são portanto focos de análise e melhoria, indicando o tipo de desperdício/*muda*, alguns pontos foram já levantados e outros ainda não foram discutidos. Todos os pontos se encontram assinalados na Figura 24.

Tabela 6: Desperdícios no sistema produtivo, situação atual

Ref. ^a	Descrição	Tipo de Muda
A	Na preparação há erros no processamento de componentes pela semelhança geométrica que estes apresentam, levando frequentemente a confusão por parte dos operadores no processamento dos componentes.	MD, PI
B	Na preparação há muitos fluxos inversos e transpostos o que leva a maiores tempos em curso de fabrico, maiores distâncias percorridas pelo material e consequente ocupação da mão-de-obra.	T, TE
C	A utilização do <i>buffer</i> Bf2 - uma mesa de suporte, incorre em perdas de tempo no manuseamento das caixas e na procura dos componentes, logo no tempo de escoamento dos trabalhos.	MD
D	Elevado WIP e desrespeito do FIFO ao longo da preparação, devidos à desorganização dos postos de trabalho e falta de clareza no processamento dos trabalhos.	PI, ES, TE
E	O tempo de ciclo da preparação (58,09 seg./componente) é superior ao tempo de ciclo da montagem (54,97 seg./componente), assim, a preparação não consegue responder atempadamente aos pedidos da montagem.	TE, T, ES
F	A métrica de ocupação no sistema produtivo é baixa e instável levando a incertezas no desempenho do sistema produtivo e imprevisibilidade de resultados.	ES, TE, MD, PI
G	O facto de um operador trabalhar apenas um tipo de componente, depois do <i>buffer</i> Bf2, não permite o melhor escoamento dos trabalhos. Faz com que haja elevado nível de stock de determinados componentes, quando estão em atraso. Verificam-se 13 a 16 caixas (i.e. lotes) na mesa de suporte, considerando mais 3 caixas em curso na linha, pode-se atingir 19 caixas em WIP no total da preparação.	ES
H	Não são conhecidos os tempos de processamento reais da preparação. Frequentemente verifica-se número inadequado de operadores na preparação, tanto em excesso como em falta. Com o modo operatório atual os operadores sentem que entre eles há diferente carga de trabalho.	EP, TE, PI
I	Na preparação o modo operatório é diferente entre os operadores. Esta situação leva por vezes a deslocações desnecessárias, e.g. o operador procura uma máquina que tenha <i>stock</i> para processar sem respeitar mais nenhum critério.	T, MD
J	Na preparação não está definido quem faz o quê, em que máquina ou quando. Levando frequentemente a tempos de espera dos trabalhos, porque o recurso que determinado operador pretende utilizar está ocupado naquele momento.	TE
K	Há consecutivamente OF's por terminar porque há lotes que ficam "esquecidos" ao longo do sistema produtivo, consequentemente há encomendas em atraso.	PI, ES

L	Mudança de <i>set-up</i> é mais crítica na montagem (aproximadamente 15 minutos), este tempo está associado à mudança da linha de costura. Neste momento há vários fatores que exigem um maior número de mudanças de <i>set-up</i> , aumentando o tempo de processamento, são eles: o FIFO não é respeitado nos <i>buffers</i> não se conseguindo terminar uma OF de uma só vez, a prioridade a dar na preparação é confusa misturando OF's aquando do escoamento de trabalho, há OF's e famílias de produtos misturadas num lote que sai da preparação.	TE, PI
M	As caixas só vêm do corte para a preparação quando o <i>milk run</i> define, não há períodos concretamente estipulados, o que leva a falta de material para a preparação.	TE, PI
N	Na preparação muitas vezes não fica claro que prioridade dar aos materiais, tendo em conta os critérios tidos na primeira e segunda configuração do CAP.	PI
O	No final da preparação verifica-se que numa mesma caixa ou lote, há artigos de diferentes OF's e/ou de diferentes famílias. Possivelmente ao longo da preparação há misturas de artigos de diferentes lotes.	PI
P	Há paragens na secção de montagem porque não há material no <i>buffer</i> Bf7 com material já preparado. Verifica-se que a preparação está a trabalhar artigos que a montagem não está a consumir.	TE, PI
Q	Planeamento e controlo da produção complexo. Não se percebe que OF estão em curso e que quantidade falta ainda produzir. Difícil e por vezes impossível, planejar a produção da semana seguinte, porque a informação dos trabalhos em curso e terminados é perdida ao longo do fluxo de material.	PI
R	O armazenamento do produto final por um período superior a uma semana pode levar a deformação do mesmo, sendo que o cliente final o pode rejeitar. Como há OF's incompletas e encomendas em atraso, verifica-se esta situação, a qual incorre em custos acrescidos para a empresa uma vez que o cliente rejeita todas as peças.	DQ
S	Para além das falhas no abastecimento de material às várias secções, devidas à descoordenação existente entre as secções de produção (sobretudo na primeira e segunda configurações do CAP), verifica-se que no corte são cortados os componentes de forma errada, gerando posteriormente falhas no abastecimento à preparação. As ferramentas não estão corretamente identificadas, cortando-se o componente errado no momento errado, conseqüentemente há falta do material necessário na preparação.	PI
T	Falta de matéria-prima e consequentes atrasos nas OF, usualmente quantidade de pele e sintéticos. Isto verifica-se porque o sistema de informação utilizado para planejar os materiais necessários da logística, não considera a percentagem de desperdícios de pele no corte (25%) nem de sintéticos (30%).	TE, PI
U	A minimização das paragens não programadas permitirá um melhor balanceamento e programação da produção para o sistema e conseqüentemente maior facilidade em atingir objetivos. Verificam-se pequenas paragens não programadas de máquinas, com necessidade de intervenção da manutenção. Usualmente na preparação e na montagem. De realçar a máquina de igualizar na preparação, que tem um ajuste muito relativo a cada componente e tem um desgaste muito rápido da lâmina, levando por vezes a paragens de uma hora. As máquinas de costura na montagem têm também muitas paragens não programadas, porque exigem muita afinação.	TE
EP = Excesso de produção; TE = Tempos de espera; T = Transportes; PI = Processos inadequados ES = Excesso de <i>stocks</i> ; MD = Movimentação desnecessária; DQ = Defeitos de qualidade.		

5. Estudo da organização e controlo do sistema de produção

Organizar é identificar funções e tarefas, relacioná-las face aos objetivos de produção, agrupar unidades organizacionais que devem ser implantadas no espaço fabril e estruturar a sua execução de forma coordenada. Na aceção da produção, deste processo resulta uma configuração organizacional do sistema de produção.

Falar em controlo de produção é no essencial falar de logística da produção, já que está em causa estabelecer e organizar fluxos de materiais e do trabalho associado, para atingir os objetivos de produção. Na aceção do espaço fabril poderá no essencial significar controlo da atividade produtiva.

O estudo aqui desenvolvido procura estabelecer um sistema balanceado, que garanta o fluxo contínuo e rápido de materiais ao longo de toda a cadeia de abastecimento, reduzindo tempos de ciclo e *lead times* através da melhor utilização de recursos e da sua flexibilização. Para tal, incide-se sobre a configuração da preparação e sua organização operacional, colmatando com uma proposta para o CAP do sistema produtivo.

5.1. Configuração do sistema produtivo na preparação

Burbidge (1971) introduziu o conceito de *Production Flow Analysis* (PFA), uma técnica para a formação de famílias de componentes e organização do sistema produtivo em células para as fabricar. Portanto é uma abordagem à chamada Tecnologia de Grupo (TG) (Gallagher & Knight, 1973). Burbidge (1971) designa este arranjo fabril como *Group Layout* (GL).

Burbidge (1971) e Kusiak & Chow (1988) referem a aplicação de PFA a três níveis de *layout*:

1. Análise do *layout* do fluxo da fábrica;
2. Análise do *layout* de grupo;
3. Análise do *layout* de linhas.

Este trabalho examina os vários níveis de análise. O primeiro nível é analisado com recurso ao VSM permitindo uma visão geral dos fluxos na fábrica e simultaneamente um foco nos problemas dos níveis inferiores. O nível 2 e 3 são analisados ao longo da secção 5.1., pela aplicação de métodos de TG e métodos que permitem obter bons *layouts* de células de produção.

O arranjo dos equipamentos no espaço fabril e a orientação dos fluxos de produção, determinam a configuração do sistema de produção. De uma forma genérica um sistema de produção pode ser orientado ao produto (SPOP) (Alves, 2007), quando os postos de trabalho do processo de fabrico estão implementados de forma a explorar a sequência das fases de transformação dos produtos, agrupando-os por isso, em células diferentes e dedicadas. A capacidade de cada célula depende apenas da procura dos produtos similares que fabrica. Por outro lado, o sistema pode ainda ser orientado à função (SPOF), quando os equipamentos estão agrupados em secções funcionais, cada uma para uma função de transformação, sem que a sua disposição obedeça necessariamente à sequência de fabricação de um

qualquer dos produtos em particular, fabricando-os todos, de forma misturada ou não, no sistema que portanto, integra todos os postos de trabalho necessários face à procura de todos os produtos. Na prática é frequente ver arranjos híbridos destes dois conceitos puros.

Os métodos de definição de células de produção requerem tempo e custos dos recursos homem-máquina, tempo que requer recolha, análise e tratamento de dados. A aplicação deste tipo de métodos encontra-se por vezes dependente dos seguintes fatores, segundo Kusiak & Chow (1988):

- Volume de informação;
- Sistema de manuseamento de materiais;
- Requisitos tecnológicos;
- Sistema de gestão.

São vários os métodos que permitem a seleção de grupos de componentes e a formação de células baseadas em grupos. Em geral, como apresentado na secção 3. da revisão bibliográfica, estes métodos podem ser agrupados em três abordagens: *Eyeballing*, *Production Flow Analysis* (PFA) e *Parts Classification and Coding* (C&C).

A opinião quanto ao melhor método a aplicar é divergente. Irani (1999) considera o método *Eyeballing* pouco expedito quando há muita informação para considerar. Burbidge (1971) e McAuley (1972) definem PFA como um método focado apenas nos procedimentos de fabricação, não levando em consideração características do projeto ou a forma dos componentes como um todo. Outros autores, como Elanchezhan, et al. (2007), referem que C&C requer muito tempo e esforço na sua análise, tornando-se dispendioso.

A abordagem *Eyeballing*, também conhecida como método de inspeção visual, consiste em classificar as peças por simples observação, considerando determinadas características visuais para esta avaliação. No caso em estudo esta abordagem não é muito adequada, devido à diversidade de matéria-prima e de operações de transformação necessárias nos componentes e ainda à procura variável dos produtos.

No período de tempo em que foi desenvolvido o presente trabalho na empresa em estudo, não existiam códigos atribuídos a cada um dos componentes que eram trabalhados na secção de preparação, sobre a qual incidiu particularmente o estudo. Por isso, métodos baseados na C&C não puderam ser utilizados. Desta forma, a abordagem PFA foi aplicada para o agrupamento dos componentes e definição de células na preparação e ainda para a sua implantação no espaço fabril, i.e. para a determinação da configuração do sistema de produção. O trabalho prévio necessário para a aplicação do PFA, foi a recolha no espaço fabril do processo de fabrico de cada um dos componentes que circulam na preparação.

Assim, implementaram-se os seguintes 8 passos iterativos para a definição da configuração da preparação. O resultado deste trabalho é descrito a seguir tendo sido, no contexto do trabalho, apresentado um estudo seminal na Mechaitech12 Conference (Carmo-Silva, et al., 2012) e publicado na revista Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics.

5.1.1. Descrição e aplicação da metodologia

Passo 1– Recolha de dados

Alguns dos dados a recolher poderão ser, segundo Courtois, et al. (2007):

- As plantas, à escala, dos locais e das instalações;
- O catálogo dos produtos fabricados;
- A gama de fabrico dos produtos ou matriz de processamento;
- O programa de fabrico da empresa (quantidades, cadências);
- Características das máquinas e dos postos de trabalho;
- Características dos meios de movimentação.

Carmo-Silva, et al. (2005) resume os dados fundamentais para o projeto de SPOP's num esquema representado na Figura 25. Estes dados dizem respeito aos produtos, às características das operações e das máquinas e ainda à sua interação.

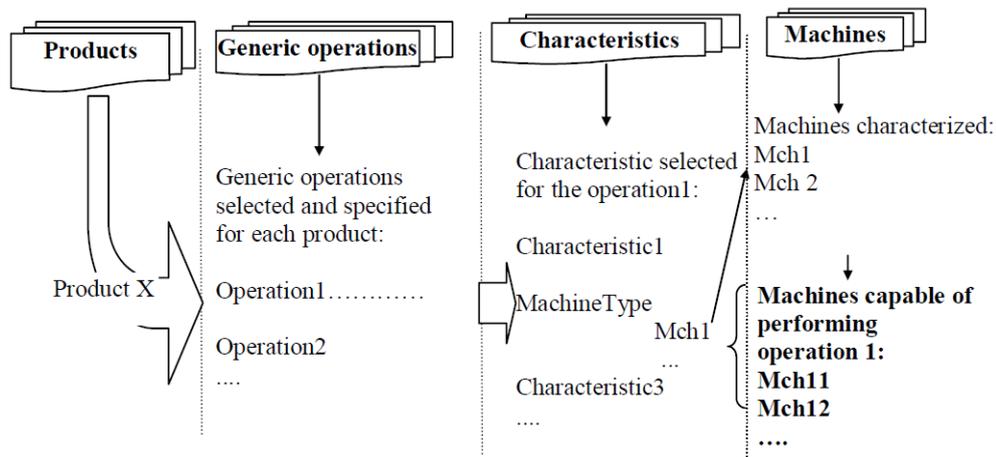


Figura 25: Dados fundamentais para o projeto de SPOP's, (Carmo-Silva, et al., 2005)

Importa ainda realçar a importância de recolher tempos, sejam eles tempos operatórios de cada componente em cada máquina, tempos de *set-up* ou tempos de transporte. No caso em estudo foram recolhidos por cronometragem os tempos operatórios de cada componente em cada máquina. Estes tempos operatórios são dependentes do ritmo de trabalho de cada operador quando as operações são mecanizadas ou semi-automáticas, como são as operações em estudo. Foram feitas as medições julgadas suficientemente para o efeito, tendo sido possível estabelecer o tempo operatório de todas as operações de transformação identificadas.

Os dados referidos serão apresentados quando requeridos ao longo dos passos aqui apresentados para a definição de células de produção.

A Tabela 7 ilustra a matriz de processamento relacionando os componentes presentes na preparação com as máquinas necessárias para executar as diferentes operações. Cada componente está agrupado

em famílias de mercado, designadas por F1, F2, F3 e F4, que não são necessariamente as famílias de produção que permitam organizar o sistema em células GT.

Existem 43 componentes – *work parts* – WP1 a WP43, que circulam na preparação. O objetivo passa por analisar o fluxo de cada um destes componentes e perceber se é possível formar famílias de produtos. As máquinas são definidas segundo o tipo de operação que realizam, de A a U. A máquina Q repete a operação sobre determinados componentes, a primeira passagem por esta máquina designa-se por Qa e a segunda por Qb. Por exemplo, para a preparação do componente WP1 deve ser seguida a seguinte sequência de máquinas: A, H, I, R, L.

Tabela 7: Matriz processamento na preparação

Familia de produtos de mercado	Componentes	Máquinas																								
		Descrição da operação																								
		Tipo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Qa	Qb	R	S	T	U		
F1	WP1		1						2	3			5								4					
	WP2		1	2			10		3			4	5		7	8	9				6					
	WP3		1	2	4	6		5											3	7						
	WP4		1	2	3			4																		
	WP5		1		2						4									3		5	6	7		
	WP6		1																							
	WP7																1									
	WP8						1																			
	WP9																			1						
	WP10														1	2										
	WP11														1	2										
	WP12														1	2										
	WP13																								2	
F2	WP14		1	2	4	6		5												3	7					
	WP15		1	2	3			4																		
	WP16		1		2					4											3		5	6	7	
	WP17		1																							
	WP18						1																			
	WP19																			1						
F3	WP20		1							3			4							2						
	WP21		1	2			9		3		4	5		6	7	8										
	WP22		1	2	3			4																		
	WP23		1							3										2		4	5	6		
	WP24		1							3										2		4	5	6		
	WP25															1										
	WP26																			1						
	WP27																			1						
	WP28																			1						
	WP29				1		2																			
	WP30														1	2										
	WP31														1	2										
WP32														1	2											
F4	WP33		1	2					3	4																
	WP34		1	2			9		3		4	5		6	7	8										
	WP35		1	2	3			4																		
	WP36		1										3									2				
	WP37		1		2					4										3		5	6	7		
	WP38		1		2					4										3		5	6	7		
	WP39															1										
	WP40														1	2										
	WP41														1	2										
	WP42														1	2										
	WP43																								1	

Passo 2 – Análise de carga/capacidade

Para poder conceber e configurar o sistema de produção torna-se imperativo determinar a capacidade produtiva que satisfaz a procura, e desta forma os meios de produção necessários de cada tipo, incluindo o número de operadores.

Segundo dados da empresa, a procura num turno na futura semana 10, tomada como referência para a realização deste estudo, é a seguinte:

- 101 unidades para artigos pertencentes a F1;
- 145 unidades para artigos pertencentes a F2;
- 370 unidades para artigos pertencentes a F3 ou F4.

O tempo disponível num turno de 8 horas são 26400 segundos. O restante tempo de paragens previstas são paragens respeitantes ao intervalo de meia hora para lanche, à reunião de 5 minutos no início do turno e à limpeza e arrumação dos postos de trabalho no final do turno.

A carga de trabalho de uma máquina por turno, é calculada multiplicando os tempos operatórios de cada componente em cada máquina pela quantidade a ser produzida nessa máquina, num turno. Na preparação o tempo de processamento recolhido, é o tempo produtivo, tempo de processamento útil ou ainda tempo de operação, uma vez que o tempo auxiliar e tempo morto não foram incluídos. Para além do tempo operatório de cada componente em cada máquina, é importante considerar outros tempos auxiliares, sejam eles tempos de: *set-up*; transporte; paragem de máquina; manutenção preventiva; limpeza de máquina. Uma vez que estes dados não se encontram disponíveis foi considerado apropriado acrescentar em 10% a carga de cada máquina em relação ao tempo operatório, para contar com perdas devido a estes fatores e eventualmente a outros.

Assim, tendo em conta a procura, o número mínimo teórico necessário de um tipo de máquina é obtido dividindo a carga de trabalho nessa máquina ao longo do turno, pelas horas de trabalho disponíveis no turno, Tabela 8.

Artigos da família F3 e F4 podem ser produzidos em simultâneo num turno, contando que não são ultrapassadas 370 unidades no seu conjunto. Ao ser garantida a produção de F4, cujos tempos operatórios são mais elevados, solicitando portanto maior ocupação dos recursos, está-se também a garantir a produção de F3, então considera-se neste estudo a produção da totalidade das 370 unidades de F4. Assim, para o cálculo da carga do tipo de máquina são tidos em conta os tempos operatórios da família F1, F2 e F4 com as quantidades 101, 145 e 370, respetivamente.

Tabela 8: Análise da carga dos recursos máquina, previsão semana 10

Tipo de máquina	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Qa	Qb	R	S	T	U
Nº de recursos em utilização	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1
Carga por turno (seg) (tempo operatório * quantidade)	40147	22347	22700	9102	9278	11277	3762	4465	21985	6412	16756	4162	29625	26835	10398	770	8159	456	14028	18919	36087	4417
Nº mínimo teórico de recursos necessários	1,52	0,85	0,86	0,34	0,35	0,43	0,14	0,17	0,83	0,24	0,63	0,16	1,12	1,02	0,39	0,03	0,31	0,02	0,53	0,72	1,37	0,17
Carga 10%	1,67	0,93	0,95	0,38	0,39	0,47	0,16	0,19	0,92	0,27	0,70	0,17	1,23	1,12	0,43	0,03	0,34	0,02	0,58	0,79	1,50	0,18
Nº mínimo real de recursos necessários	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1
Utilização prevista dos recursos	0,84	0,93	0,95	0,38	0,39	0,47	0,16	0,19	0,92	0,27	0,70	0,17	0,62	0,56	0,43	0,03	0,34	0,02	0,58	0,79	0,75	0,18
Nº de máquinas em excesso ou defeito		+1			+1						+1			-1						+1		

Geralmente, num sistema de produção há pelo menos um posto de trabalho ou unidade de produção que impõe o *output* do sistema ou subsistema de produção de que faz parte. Este posto ou unidade de produção é conhecido como *bottleneck* ou estrangulamento (de produção). O conhecimento dos *bottlenecks* é importante para poder configurar o sistema.

Vários estudos foram feitos para a deteção de *bottleneck*. Lee, et al. (1982) desenvolveu um algoritmo heurístico para a deteção de *bottleneck*. Uma extensão do algoritmo foi apresentada por Vannelli & Kumar (1986).

Neste estudo os *bottlenecks* são identificados com base na utilização prevista dos recursos devido à procura.

Analisando a utilização dos recursos (Tabela 8), podem-se identificar possíveis *bottlenecks*. C e I são os recursos mais críticos pela sua elevada utilização, A é um recurso que facilmente se tornará num, caso se verifique aumento da procura.

Há duas máquinas do tipo B disponíveis, sendo apontada apenas a necessidade de uma para assegurar a carga do recurso. No entanto, se apenas uma for utilizada, este recurso poderá ser considerado um *bottleneck*. Para além da carga deste recurso, a decisão acerca do número a utilizar dependerá da formação dos *clusters* e da decisão da gestão da empresa sobre a autonomia das células. Mais à frente neste capítulo serão apresentadas as decisões acerca deste recurso.

Tendo em conta a necessidade mínima de recursos, verifica-se que há uma máquina de E, K e S em excesso e uma máquina do tipo N em falta no sistema produtivo.

Passo 3 – Formação de *clusters*

Formar *clusters* implica agrupar determinados objetos em grupos homogêneos com base em algum objetivo definido (Kusiak & Chow, 1987). Os grupos homogêneos que aqui se pretendem formar são células de produção e os objetos a agrupar são máquinas e/ou produtos. Ao formar células de produção podem-se configurar tanto linhas de produção, como oficinas de produção orientadas ao produto ou ainda, hibridações destes dois conceitos (Carmo-Silva, 2008).

A falta de operadores com aptidão para operar determinadas máquinas, pode limitar o agrupamento de máquinas para a formação de células. No caso aqui em estudo, esta condicionante não é preocupante uma vez que os operadores são polivalentes e têm formação para operar em qualquer máquina.

São vários os métodos de PFA para a formação de *clusters*. Como mencionado na secção de revisão bibliográfica, existem métodos de formulação matemática e métodos de formulação gráfica (Kusiak & Chow, 1988), os métodos aqui considerados são métodos baseados na formulação de matrizes, são eles:

- *Rank Order Clustering* (ROC);
- *Direct Clustering Analysis* (DCA);
- *Cluster Identification Algorithm* (CIA).

Neste estudo a formação de células de produção tem por base o método CIA, também conhecido por método de Kusiak (Kusiak & Chow, 1987).

São 6 os passos de aplicação do método CIA:

- Passo 0. Definir na matriz processamento $k=1$ para interações produto/processo.
- Passo 1. Para uma linha que contenha $k=1$ traçar uma linha horizontal.
- Passo 2. Selecionar as colunas associadas à linha selecionada no passo anterior.
- Passo 3. Traçar nova horizontal para cada entrada 1 que se verifique nas colunas selecionadas.
- Passo 4. Repetir os passos 2 e 3 até finalizar todas as entradas 1 que se encontrem associadas ao processo iterativo da primeira linha selecionada.
- Passo 5. Formar uma matriz resultante do processo iterativo até ao passo 4.
- Passo 6. Se ainda há $k=1$ na matriz original, voltar para o passo 1 e formar nova matriz, caso contrário parar.

Partindo da matriz apresentada na Tabela 7, a aplicação dos 6 passos de Kusiak permite a definição de 4 *clusters* identificados na Tabela 9.

Alguns recursos são considerados excepcionais uma vez que são requeridos em diferentes *clusters* com baixo número de componentes afetados (máquina A, R, C e B), e uma vez que afetam produtos que no mesmo *cluster*, repetem uma máquina ao longo do fluxo produtivo (máquina Q – representadas como Qa e Qb). Estes recursos requerem por isso uma análise particular. Vejam-se os exemplos:

- Existem duas máquinas A disponíveis, aloca-se uma em C2 e outra em C3, pois é onde são requeridas pelo maior número de componentes, 10 em 13 e 8 em 13, respetivamente. Em C1 esta máquina é tida como excepcional uma vez que apenas é requerida por 3 dos 15 componentes.
- A máquina B considera-se excepcional em C2 uma vez que apenas comporta 1 de 13 componentes.

Outros elementos que possuem características muito próprias, quer ao nível do processo quer ao nível do produto, e por isso devem ser analisados de forma particular, são:

- Os componentes WP6 e WP17 apenas realizam a operação A, podendo ser incorporados em qualquer um dos *clusters* C1, C2 e C3. Optou-se por incorporá-los em C3 uma vez que estes irão sofrer processos comuns a WP3, WP4, WP14 e WP15 mais à frente na secção de montagem. Estes poderão seguir no lote com os componentes de C3 não correndo assim o risco de se “perderem”, tendo em conta a sua pequena dimensão (área de 0,0022 m²).
- O componente WP36 embora partilhe todas as operações de C2, apresenta semelhanças geométricas com a maioria dos componentes de C3. Uma vez que o método aqui em utilização é de PFA e como aqui se pretende minimizar o fluxo intercelular, este componente será mantido em C2.
- O elemento A para além de representar uma porta de entrada para o elevado número de componentes que afeta, é necessário em quase todos os *clusters*, exceto em C4. Oportunamente serão analisadas as características associadas ao recurso do tipo A, devendo ser analisada a carga em cada *cluster* e confrontá-la com a carga total na preparação.

Tabela 9: *Clusters* definidos pelo método CIA

		B	G	J	K	M	N	O	E	A	R
F1	WP2	2	3	4	5	7	8	9	10	1	6
F3	WP21	2	3	4	5	6	7	8	9	1	
F4	WP34	2	3	4	5	6	7	8	9	1	
F1	WP10					1	2				
F1	WP11					1	2				
F1	WP12					1	2				
F3	WP30					1	2				
F3	WP31					1	2				
F3	WP32					1	2				
F4	WP40					1	2				
F4	WP41					1	2				
F4	WP42					1	2				
F4	WP39								1		
F1	WP7								1		
F3	WP25								1		

		A	Q	H	I	R	L	S	T	C	B
F1	WP1	1		2	3	4	5				
F3	WP20	1	2		3		4				
F4	WP33	1		3	4						2
F1	WP5	1	3		4	5		6	7	2	
F2	WP16	1	3		4	5		6	7	2	
F3	WP23	1	2		3	4		5	6		
F3	WP24	1	2		3	4		5	6		
F3	WP26		1								
F3	WP27		1								
F3	WP28		1								
F4	WP37	1	3		4	5		6	7	2	
F4	WP38	1	3		4	5		6	7	2	
F4	WP36	1				2	3				

		B	C	F	D	E	A	Qa	Qb
F1	WP3	2	4	5	6		1	3	7
F2	WP14	2	4	5	6		1	3	7
F1	WP4	2	3	4			1		
F2	WP15	2	3	4			1		
F3	WP22	2	3	4			1		
F4	WP35	2	3	4			1		
F3	WP29		1			2			
F1	WP8					1			
F2	WP18					1			
F1	WP9							1	
F2	WP19							1	
F1	WP6						1		
F2	WP17						1		

		P	U
F1	WP13	1	2
F4	WP43		1

Verifica-se que estes *clusters* definidos incorporam componentes de diferentes famílias de produtos de mercado. O *cluster* C4, por exemplo, contém componentes da família de mercado F1 e F4.

Passo 4 – Alocar os recursos máquina às células

No passo anterior definiram-se aglomerações de máquinas que afetam o mesmo conjunto de produtos. Agora, é necessário ver estas aglomerações como um “todo” para perceber qual o número mínimo de recursos necessários para a preparação. Este passo visa portanto alocar os recursos às células, para se chegar a uma configuração *Cellular Manufacturing Systems* (CMS), isto é, a uma configuração SPOP baseada em células de tecnologia de grupo.

Para a alocação de recursos às células deve ser criado um equilíbrio entre o investimento em número de máquinas e o comportamento do fluxo de material (existência de fluxo intercelular, fluxo inverso, fluxo transposto).

A atribuição de um recurso a uma célula é um processo iterativo que, deve seguir uma sequência lógica. O procedimento de afetação apresentado a seguir é baseado no estudo seminal acima referido (Carmo-Silva, et al., 2012).

1º. Determinar o número mínimo de recursos necessários

Para proceder à determinação do número mínimo de recursos é necessário conhecer a carga por turno, baseada na procura e nos tempos operatórios. Assim, tendo em conta o tempo operatório e a procura por produto-processo, calcula-se a carga para cada recurso em cada *cluster*, e conhecido o tempo disponível de cada recurso por turno, podem ser obtidas as necessidades de recursos, neste caso máquinas, Tabela 10.

Note-se que os componentes cujo tempo operatório está representado a zero são componentes cujo tempo operatório é considerado em outros componentes, acontece quando a operação realizada é a junção de componentes. Relativamente ao *cluster* C1, a operação M sobre os componentes WP11/WP12/WP13 é feita em simultâneo com o componente WP2. Assim, o tempo total de processamento do recurso M para os componentes WP2/WP11/WP12/WP13 é de 47,16 segundos.

Tabela 10: Tempo operatório por produto-processo

Familia de mercado	Quantidade	Operação		B	G	J	K	M	N	O	E	A	R
		Componente											
F1	202	WP2		3,73	6,21	6,04	23,95	47,16	37,00	16,16	3,85	2,61	4,00
F3	370	WP21		3,96	6,77	14,03	32,21	54,32	52,33	19,28	6,78	2,28	
F4	370	WP34		10,19	6,77	14,03	32,21	54,32	52,33	19,28	6,78	2,32	
F1	202	WP10						0,00	0,00				
F1	202	WP11						0,00	0,00				
F1	202	WP12						0,00	0,00				
F3	370	WP30						0,00	0,00				
F3	370	WP31						0,00	0,00				
F3	740	WP32						0,00	0,00				
F4	370	WP40						0,00	0,00				
F4	370	WP41						0,00	0,00				
F4	740	WP42						0,00	0,00				
F4	370	WP39								0,00			
F1	202	WP7								0,00			
F3	370	WP25								0,00			
Carga (110%)				0,19	0,16	0,27	0,70	1,23	1,12	0,43	0,14	0,06	0,03
N° de máquinas necessárias				1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Perda de capacidade				0,81	0,84	0,73	0,30	0,77	0,88	0,57	0,86	0,94	0,97

Familia de mercado	Quantidade	Operação		A	Q	H	I	R	L	S	T	C	B
		Componente											
F1	101	WP1		4,56		14,75	9,82	4,00	4,08				
F3	370	WP20		3,53	21,36		6,73		4,08				
F4	370	WP33		5,16		8,04	8,74						21,40
F1	404	WP5		20,49	1,18		11,61	4,00		7,42	23,80	7,86	
F2	580	WP16		20,49	1,10		11,61	4,00		7,42	23,80	3,93	
F3	370	WP23		3,18	13,35		4,28	4,00		7,93	8,50		
F3	370	WP24		3,04	12,02		4,28	4,00		7,27	8,17		
F3	370	WP26			0,00								
F3	370	WP27			0,00								
F3	370	WP28			0,00								
F4	740	WP37		3,91	1,20		4,28	4,00		7,85	8,56	8,02	
F4	740	WP38		3,91	1,20		4,28	4,00		7,85	8,56	8,02	
F4	740	WP36		2,70				4,00	5,07				
Carga (110%)				1,26	0,12	0,19	0,92	0,55	0,17	0,79	1,50	0,72	0,33
N° de máquinas necessárias				2	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Perda de capacidade				0,74	0,88	0,81	0,08	0,45	0,83	0,21	0,50	0,28	0,67

Familia de mercado	Quantidade	Operação		B	C	F	D	E	A	Qa	Qb	
		Componente										
F1	202	WP3		4,49	3,12	4,29	15,05		3,30	10,71	0,93	
F2	290	WP14		4,49	3,12	4,29	20,91		3,30	10,71	0,93	
F1	202	WP4		4,49	3,12	4,29			3,30			
F2	290	WP15		4,49	3,12	4,29			3,30			
F3	740	WP22		3,54	3,12	4,18			2,21			
F4	740	WP35		7,42	3,12	9,53			2,80			
F3	740	WP29			2,25			15,45				
F1	202	WP8						12,18				
F2	290	WP18						12,18				
F1	202	WP9							0,00			
F2	290	WP19							0,00			
F1	202	WP6							6,35			
F2	290	WP17							6,35			
Carga (110%)				0,41	0,22	0,47	0,38	0,25	0,35	0,24		
N° de máquinas necessárias				1	1	1	1	1	1	1		
Perda de capacidade				0,59	0,78	0,53	0,62	0,75	0,65	0,76		

Familia de mercado	Quantidade	Operação		P	U
		Componente			
F1	101	WP13		7,63	6,32
F4	370	WP43			10,21
Carga (110%)				0,03	0,18
N° de máquinas necessárias				1	1
Perda de capacidade				0,97	0,82

2º. Alocar os recursos aos respetivos *clusters*

Procura-se criar primeiro células não autónomas e depois células autónomas (Carmo-Silva & Alves, 2004). Assim, devem adotar-se os seguintes passos:

- 2.1. Alocar os recursos às respetivas células, exceto para os elementos excecionais, com o objetivo de formar células de produção. Respeitar esta regra tendo em conta o número mínimo de recursos necessários ou o número de recursos disponíveis, quando se verificar que é um valor superior. Aplicar os próximos passos para lidar com os elementos excecionais.
- 2.2. Avaliar o número necessário ou disponível de máquinas. Se existir suficiente número de máquinas para alocar os elementos excecionais, manter os elementos excecionais nos seus *clusters*. Se isto se verificar para todos os elementos excecionais chega-se a um sistema SPOP unicamente com células autónomas. Se o número de máquinas não é suficiente para os elementos excecionais serem alocados em todos os *clusters* onde são necessários, então avançar para o passo seguinte.
- 2.3. Alocar os elementos excecionais às células que possuam suficiente e maior perda de capacidade do recurso necessário, para realizar operações associadas ao elemento excepcional. Começar com o elemento excepcional que possui maior carga e com a célula com maior perda de capacidade nesse recurso. Repetir o processo até que não existam mais elementos excecionais. Este processo poderá levar às seguintes situações:
 - I. Se o elemento excepcional for alocado numa outra célula forma-se um *layout* com células não autónomas e fluxo intercelular.
 - II. Se o elemento excepcional não poder ser alocado em nenhuma das outras células porque o respetivo recurso não possui suficiente perda de capacidade isoladamente em cada célula, verificar se o conjunto dos recursos das várias células, possuem capacidade suficiente para satisfazer a carga. Se isto se verifica, então o mesmo tipo de recurso das várias células, devem ser agrupados criando uma secção funcional. Forma-se portanto um sistema híbrido de células não autónomas (Carmo-Silva, 2004).
 - III. Se não existir suficiente perda de capacidade para alocar os elementos excepcional, acrescentar em um o número de recursos deste tipo. Alocar o recurso extra requerido ao *cluster* que contém o elemento excepcional. Nesta situação chega-se a um conjunto de células autónomas sem fluxo intercelular.

A aplicação dos passos aqui referidos permite distinguir duas situações possíveis, sendo que numa se mantém o número de máquinas e noutra se assume necessário obter mais. Estas duas situações são distinguidas para perceber o que se adequa mais às necessidades do sistema, ou a existência de fluxo intercelular ou a aquisição de novos recursos e a criação de células autónomas, ou ainda uma hibridação destas possibilidades.

Situação A – Não há alteração no número de máquinas disponíveis

Se a empresa decidir não adquirir mais máquinas, a decisão para os elementos excecionais do caso em estudo será:

- O recurso A é requerido em C1, C2 e C3 sendo que só para C2 necessita dois elementos. Embora dois elementos do recurso A sejam suficientes para satisfazer a carga total requerida (Tabela 8), ao alocar os dois recursos A a C2 gera-se demasiado fluxo intercelular (11 componentes do total de 13 que pertencem a C2 viriam de outros *clusters*). Como referido no

Passo 3 este recurso representa uma *gateway* para todos os componentes que afeta, parece acertado designar uma secção funcional para os recursos do tipo A, formando assim *cluster* designado CA. Com esta decisão o sistema passa a ser um híbrido de células não autónomas.

Uma outra possibilidade para A é a de alocar uma máquina em C2 e outra em C3, sendo que os componentes WP2/WP21/WP34 de C1, passariam por C3. Ao longo do turno, a carga que A/C2 não consegue assegurar, viaja para A/C3. Esta possibilidade não ganha tanto interesse pois implica que ao longo do turno sejam tomadas decisões que não estavam previstas sobre o fluxo de material, levando à possível entropia do sistema e podendo-se perder a noção de “quem faz o quê e onde?”, por outro lado aumenta ainda mais o fluxo intercelular.

- O elemento WP33/B de C2 é alocado em C1 pois tem suficiente e maior perda de capacidade. Uma única máquina B poderia ser necessária, mas esta teria uma utilização de 0,93. Uma vez que com uma máquina B a folga de capacidade é muito reduzida e tendo duas máquinas disponíveis, é mais cauteloso alocar uma a C1 e outra a C3, reduzindo o fluxo intercelular.
- O elemento WP2/R de C1 é alocado em C2 pois tem perda de capacidade suficiente e é o *cluster* onde este recurso é também necessário. O mesmo acontece no elemento Q para os componentes WP3, WP14, WP9 e WP19 de C3 que são alocados em C2, e no elemento C para os componentes WP5, WP16, WP37 e WP38 de C2 que são alocados em C3.

Tendo em conta os recursos já anteriormente estipulados como possíveis *bottleneck* (A,B,C,I), seguem algumas recomendações ou notas prioritárias:

- Recomenda-se a replicação de uma máquina C, uma vez que a única existente possui uma utilização muito elevada e é partilhada por C2 e C3. A replicação desta máquina levaria à independência de C3.
- A máquina I tem também uma utilização muito elevada. No entanto, esta é apenas usada em C2 não sendo recomendada uma replicação da mesma, com a procura da semana 10.
- Deverá ser comprada uma segunda máquina do tipo N, uma vez que a carga do único recurso existente é de 112%.
- Uma máquina S está a mais e poderá ser retirada do sistema produtivo, pois só é requerida em um *cluster* não afetando o fluxo intercelular de componentes.

A alocação dos recursos às células na situação A aqui descrita bem como a carga de cada recurso encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11: Alocação dos recursos às células na situação A, previsão semana 10

Familia de mercado	Quantidade	Operação		B	G	J	K	M	N	O	E
		Componente									
F1	202	WP2		3,73	6,21	6,04	23,95	47,16	37,00	16,16	3,85
F3	370	WP21		3,96	6,77	14,03	32,21	54,32	52,33	19,28	6,78
F4	370	WP34		10,19	6,77	14,03	32,21	54,32	52,33	19,28	6,78
F1	202	WP10						0,00	0,00		
F1	202	WP11						0,00	0,00		
F1	202	WP12						0,00	0,00		
F3	370	WP30						0,00	0,00		
F3	370	WP31						0,00	0,00		
F3	740	WP32						0,00	0,00		
F4	370	WP40						0,00	0,00		
F4	370	WP41						0,00	0,00		
F4	740	WP42						0,00	0,00		
F4	370	WP39								0,00	
F1	202	WP7								0,00	
F3	370	WP25								0,00	
F4	370	WP33		21,40							
Carga (110%)				0,52	0,16	0,27	0,70	1,23	1,12	0,43	0,14
N° de máquinas necessárias				1	1	1	1	2	2	1	1
Perda de capacidade				0,48	0,84	0,73	0,30	0,77	0,88	0,57	0,86

Familia de mercado	Quantidade	Operação		A
		Componente		
F1	202	WP2		2,61
F3	370	WP21		2,28
F4	370	WP34		2,32
F1	101	WP1		4,56
F3	370	WP20		3,53
F4	370	WP33		5,16
F1	404	WP5		20,49
F2	580	WP16		20,49
F3	370	WP23		3,18
F3	370	WP24		3,04
F4	740	WP37		3,91
F4	740	WP38		3,91
F4	740	WP36		2,70
F1	202	WP3		3,30
F2	290	WP14		3,30
F1	202	WP4		3,30
F2	290	WP15		3,30
F3	740	WP22		2,21
F4	740	WP35		2,80
F1	202	WP6		6,35
F2	290	WP17		6,35
Carga (110%)				1,67
N° de máquinas necessárias				2,00
Perda de capacidade				0,33

Familia de mercado	Quantidade	Operação		Qa	Qb	H	I	R	L	S	T
		Componente									
F1	101	WP1				14,75	9,82	4,00	4,08		
F3	370	WP20		21,36			6,73		4,08		
F4	370	WP33				8,04	8,74				
F1	404	WP5		1,18			11,61	4,00		7,42	23,80
F2	580	WP16		1,10			11,61	4,00		7,42	23,80
F3	370	WP23		13,35			4,28	4,00		7,93	8,50
F3	370	WP24		12,02			4,28	4,00		7,27	8,17
F3	370	WP26		0,00							
F3	370	WP27		0,00							
F3	370	WP28		0,00							
F4	740	WP37		1,20			4,28	4,00		7,85	8,56
F4	740	WP38		1,20			4,28	4,00		7,85	8,56
F4	740	WP36						4,00	5,07		
F1	202	WP2						4,00			
F1	202	WP3		10,71	0,93						
F2	290	WP14		10,71	0,93						
F1	202	WP9		0,00							
F2	290	WP19		0,00							
Carga (110%)				0,36	0,19	0,92	0,58	0,17	0,79	1,50	
N° de máquinas necessárias				1	1	1	1	1	1	2	
Perda de capacidade				0,64	0,81	0,08	0,42	0,83	0,21	0,50	

Familia de mercado	Quantidade	Operação		B	C	F	D	E
		Componente						
F1	202	WP3		4,49	3,12	4,29	15,05	
F2	290	WP14		4,49	3,12	4,29	20,91	
F1	202	WP4		4,49	3,12	4,29		
F2	290	WP15		4,49	3,12	4,29		
F3	740	WP22		3,54	3,12	4,18		
F4	740	WP35		7,42	3,12	9,53		
F3	740	WP29			2,25			15,45
F1	202	WP8						12,18
F2	290	WP18						12,18
F1	202	WP6						
F2	290	WP17						
F1	404	WP5			7,86			
F2	580	WP16			3,93			
F4	740	WP37			8,02			
F4	740	WP38			8,02			
Carga (110%)				0,41	0,95	0,47	0,38	0,25
N° de máquinas necessárias				1	1	1	1	1
Perda de capacidade				0,59	0,05	0,53	0,62	0,75

Familia de mercado	Quantidade	Operação		P	U
		Componente			
F1	101	WP13		7,63	6,32
F4	370	WP43			10,21
Carga (110%)				0,03	0,18
N° de máquinas necessárias				1	1
Perda de capacidade				0,97	0,82

Situação B – Há alteração no número de máquinas disponíveis

Quando não se pretender ter fluxo intercelular ou reduzir o mesmo, poderão simplesmente ser adquiridos mais recursos.

O número de recursos a serem adquiridos depende dos objetivos de gestão empresarial e deve ter em conta aspetos de ordem económica. De seguida estudam-se apenas os efeitos simplificativos no fluxo de materiais permitidos com a existência de recurso adicionais.

Verificada a existência de *bottleneck*, devido à carga inerente ao processo e à empresa prever um aumento da procura a curto e longo prazo (entre 3 meses a 5 anos), os riscos da aquisição de novas máquinas são reduzidos. Desta forma a sua aquisição, atenua os efeitos restritivos dos *bottlenecks* existentes e pode evitar fluxos intercelulares, que se traduzem numa perturbação dos fluxos intracelulares, com custos inerentes e potencial causa de erros de processamento, entre outros inconvenientes. Assim, depois de analisada a simplificação de fluxos e o aumento de capacidade por aquisição de novos meios, foram propostas as seguintes aquisições:

- Uma máquina do tipo A, ficando-se com três;
- Uma máquina do tipo C, ficando-se com duas;
- Uma máquina do tipo N, ficando-se com duas;
- Uma máquina do tipo Q, ficando-se com duas;
- Uma máquina do tipo R, ficando-se com duas.

Estas decisões afetam a configuração e a distribuição de carga, Tabela 12, e também os fluxos de trabalho e o funcionamento do sistema produtivo, como abaixo se descreve:

- Com a aquisição de uma terceira máquina do tipo A pode ter-se uma máquina dedicada a cada um dos *clusters* C1, C2 e C3. No entanto, a carga em cada um dos *clusters* não é semelhante sendo que C2 necessita mais que uma máquina. Assim, por ser uma *gateway* e envolver muitos componentes a opção de agrupar as máquinas do tipo A num *cluster* dedicado a esta função continua a ser a mais plausível.
- Com dois recursos do tipo C, este deixa de ser um *bottleneck* ficando um recurso em C2 e outro em C3.
- A segunda máquina do tipo N permite que este elemento deixa-se de ser *bottleneck*.
- Pelo fecho de uma outra linha de produção na empresa ficou disponível uma máquina do tipo R, embora com tempo de processamento duas vezes superior, o tempo de processamento de WP2 em R/C1 passa a ser 8 segundos em substituição dos 4 segundos. Optou-se por aproveitar esta oportunidade e colocar esta máquina em C1 criando assim independência para com C2.
- Uma segunda máquina do tipo Q não era necessária em termos de carga mas esta permite a inexistência de fluxos inversos e maior independência entre células. A segunda máquina Q é considerada em C2 e o tempo de operação nesta máquina é duas vezes superior ao tempo da primeira máquina Q, para todas as operações que realiza.
- Verifica-se uma quase anulação do fluxo intercelular. Apenas o componente WP33 passa primeiro por B/C1 antes do seu percurso por C2.

Tabela 12: Alocação dos recursos às células na situação B, previsão semana 10

Familia de mercado	Quantidade	Operação									
		Componente	B	G	J	K	R	M	N	O	E
F1	202	WP2	3,73	6,21	6,04	23,95	8,00	47,16	37,00	16,16	3,85
F3	370	WP21	3,96	6,77	14,03	32,21		54,32	52,33	19,28	6,78
F4	370	WP34	10,19	6,77	14,03	32,21		54,32	52,33	19,28	6,78
F1	202	WP10						0,00	0,00		
F1	202	WP11						0,00	0,00		
F1	202	WP12						0,00	0,00		
F3	370	WP30						0,00	0,00		
F3	370	WP31						0,00	0,00		
F3	740	WP32						0,00	0,00		
F4	370	WP40						0,00	0,00		
F4	370	WP41						0,00	0,00		
F4	740	WP42						0,00	0,00		
F4	370	WP39								0,00	
F1	202	WP7								0,00	
F3	370	WP25								0,00	
F4	370	WP33	21,40								
Carga (110%)			0,52	0,16	0,27	0,70	0,07	1,23	1,12	0,43	0,14
N° de máquinas necessárias			1	1	1	1	1	2	2	1	1
Perda de capacidade			0,48	0,84	0,73	0,30	0,93	0,77	0,88	0,57	0,86
N° de máquinas por decisão da empresa			1	1	1	2	1	2	2	1	1

Familia de mercado	Quantidade	Operação									
		Componente	C	Q	H	I	R	L	S	T	
F1	101	WP1			14,75	9,82	4,00	4,08			
F3	370	WP20		42,72		6,73		4,08			
F4	370	WP33			8,04	8,74					
F1	404	WP5	7,86	2,36		11,61	4,00		7,42	23,80	
F2	580	WP16	3,93	2,20		11,61	4,00		7,42	23,80	
F3	370	WP23		26,70		4,28	4,00		7,93	8,50	
F3	370	WP24		24,04		4,28	4,00		7,27	8,17	
F3	370	WP26		0,00							
F3	370	WP27		0,00							
F3	370	WP28		0,00							
F4	740	WP37	8,02	2,40		4,28	4,00		7,85	8,56	
F4	740	WP38	8,02	2,40		4,28	4,00		7,85	8,56	
F4	740	WP36					4,00	5,07			
Carga (110%)			0,72	0,24	0,19	0,92	0,55	0,17	0,79	1,50	
N° de máquinas necessárias			1	1	1	1	1	1	1	2	
Perda de capacidade			0,28	0,76	0,81	0,08	0,45	0,83	0,21	0,50	
N° de máquinas após aquisição			1	1	1	1	1	1	2	2	

Familia de mercado	Quantidade	Operação							
		Componente	B	Qa	Qb	C	F	D	E
F1	202	WP3	4,49	10,71	0,93	3,12	4,29	15,05	
F2	290	WP14	4,49	10,71	0,93	3,12	4,29	20,91	
F1	202	WP4	4,49			3,12	4,29		
F2	290	WP15	4,49			3,12	4,29		
F3	740	WP22	3,54			3,12	4,18		
F4	740	WP35	7,42			3,12	9,53		
F3	740	WP29				2,25		15,45	
F1	202	WP8						12,18	
F2	290	WP18						12,18	
F1	202	WP9		0,00					
F2	290	WP19		0,00					
F1	202	WP6							
F2	290	WP17							
Carga (110%)			0,38	0,22	0,20	0,43	0,34	0,23	
N° de máquinas necessárias			1	1	1	1	1	1	
Perda de capacidade			0,59	0,76	0,78	0,53	0,62	0,75	
N° de máquinas após aquisição			1	1	1	1	1	1	

Familia de mercado	Quantidade	Operação		
		Componente	P	U
F1	101	WP13	7,63	6,32
F4	370	WP43		10,21
Carga (110%)			0,03	0,18
N° de máquinas necessárias			1	1
Perda de capacidade			0,97	0,82
N° de máquinas após aquisição			1	1

Familia de mercado	Quantidade	Operação	
		Componente	A
F1	202	WP2	2,61
F3	370	WP21	2,28
F4	370	WP34	2,32
F1	101	WP1	4,56
F3	370	WP20	3,53
F4	370	WP33	5,16
F1	404	WP5	20,49
F2	580	WP16	20,49
F3	370	WP23	3,18
F3	370	WP24	3,04
F4	740	WP37	3,91
F4	740	WP38	3,91
F4	740	WP36	2,70
F1	202	WP3	3,30
F2	290	WP14	3,30
F1	202	WP4	3,30
F3	740	WP22	2,21
F4	740	WP35	2,80
F1	202	WP6	6,35
F2	290	WP17	6,35
Carga (110%)			1,67
N° de máquinas necessárias			2
Perda de capacidade			0,33
N° de máquinas após aquisição			3

Uma vez que a empresa está em franca expansão torna-se importante para a gestão empresarial perceber se a médio e longo prazo esta configuração é viável. Assim, procedeu-se à previsão da carga dos recursos para a semana 30, cujas quantidades segundo um *forecast* da empresa são:

- 101 unidades para artigos pertencentes a F1;
- 243 unidades para artigos pertencentes a F2;
- 426 unidades para artigos pertencentes a F3 ou F4.

A Tabela 13 mostra que das aquisições feitas A, C, N, Q e R, a única que não será necessária ao nível de carga para a semana 30 é a máquina Q e a máquina R. No entanto, estas máquinas têm um grande impacto na simplificação dos fluxos por eliminar fluxos inversos e fluxos intercelulares no sistema.

Quando comparado o número de recursos disponíveis após a aquisição de máquinas, com o número mínimo necessário, verifica-se que:

- São mantidos dois recursos E e são duplicados os recursos Q e R para evitar fluxo intercelular;
- Mantem-se uma forte necessidade de duplicar o recurso I. Tendo em conta esta necessidade a empresa é aconselhada a duplicar esta máquina num futuro próximo.
- Há ainda a necessidade de uma terceira máquina T, tendo em conta a procura para a semana 30, esta poderá passar a ser um *bottleneck*, com utilização prevista de 0,99.
- É apenas necessária uma máquina do tipo K. A segunda máquina não está em utilização no sistema produtivo e apenas distancia o percurso de produção dos componentes que necessitam de a transpor.
- A segunda máquina do tipo S poderá ser deixada no sistema uma vez que quando usada só uma, esta pode ser considerada um *bottleneck*, utilização prevista de 0,98.

Tabela 13: Análise da carga dos recursos máquina, previsão semana 30

Tipo de máquina	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Qa	Qb	R	S	T	U
Nº de recursos em utilização	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1
Nº de recursos adquiridos	+1		+1											+1			+1	+1				
Nº de recursos disponíveis	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1
Carga por turno (seg) (tempo operatório * quantidade)	52628	26707	27609	13200	12045	14028	4141	4915	27985	7198	18560	4730	32667	29765	11477	770	15187	17748	23586	47334	4989	
Nº mínimo teórico de recursos necessários	1,99	1,01	1,05	0,50	0,46	0,53	0,16	0,19	1,06	0,27	0,70	0,18	1,24	1,13	0,43	0,03	0,58	0,67	0,89	1,79	0,19	
Carga 10%	2,19	1,11	1,15	0,55	0,50	0,58	0,17	0,20	1,17	0,30	0,77	0,20	1,36	1,24	0,48	0,03	0,63	0,74	0,98	1,97	0,21	
Nº mínimo real de recursos necessários	3	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	
Utilização prevista dos recursos	0,73	0,56	0,58	0,55	0,50	0,58	0,17	0,20	0,58	0,30	0,77	0,20	0,68	0,62	0,48	0,03	0,63	0,74	0,98	0,99	0,21	
Recursos disponíveis vs mínimo necessário					+1				-1		+1						+1	+1	+1			

Na semana 30 a alocação dos recursos às células bem como a carga em cada máquina no seu *cluster*, será a apresentada na Tabela 14.

Tabela 14: Alocação dos recursos às células na situação B, previsão semana 30

Familia de mercado	Quantidade	Operação		B	G	J	K	R	M	N	O	E
		Componente										
F1	202	WP2		3,73	6,21	6,04	23,95	8,00	47,16	37,00	16,16	3,85
F3	426	WP21		3,96	6,77	14,03	32,21		54,32	52,33	19,28	6,78
F4	426	WP34		10,19	6,77	14,03	32,21		54,32	52,33	19,28	6,78
F1	202	WP10							0,00	0,00		
F1	202	WP11							0,00	0,00		
F1	202	WP12							0,00	0,00		
F3	426	WP30							0,00	0,00		
F3	426	WP31							0,00	0,00		
F3	852	WP32							0,00	0,00		
F4	426	WP40							0,00	0,00		
F4	426	WP41							0,00	0,00		
F4	852	WP42							0,00	0,00		
F4	426	WP39									0,00	
F1	202	WP7									0,00	
F3	426	WP25									0,00	
F4	426	WP33		21,40								
Carga (110%)				0,59	0,17	0,30	0,77	0,07	1,36	1,24	0,48	0,15
N° de máquinas necessárias				1	1	1	1	1	2	2	1	1
Perda de capacidade				0,41	0,83	0,70	0,23	0,93	0,64	0,76	0,52	0,85
N° de máquinas após aquisição				1	1	1	2	1	2	2	1	1

Familia de mercado	Quantidade	Operação		A
		Componente		
F1	202	WP2		2,61
F3	426	WP21		2,28
F4	426	WP34		2,32
F1	101	WP1		4,56
F3	426	WP20		3,53
F4	426	WP33		5,16
F1	404	WP5		20,49
F2	972	WP16		20,49
F3	426	WP23		3,18
F3	426	WP24		3,04
F4	852	WP37		3,91
F4	852	WP38		3,91
F4	852	WP36		2,70
F1	202	WP3		3,30
F2	486	WP14		3,30
F1	202	WP4		3,30
F3	852	WP22		2,21
F4	852	WP35		2,80
F1	202	WP6		6,35
F2	486	WP17		6,35
Carga (110%)				2,19
N° de máquinas necessárias				3
Perda de capacidade				0,81
N° de máquinas após aquisição				3

Familia de mercado	Quantidade	Operação		C	Q	H	I	R	L	S	T
		Componente									
F1	101	WP1				14,75	9,82	4,00	4,08		
F3	426	WP20			42,72		6,73		4,08		
F4	426	WP33				8,04	8,74				
F1	404	WP5		7,86	2,36		11,61	4,00		7,42	23,80
F2	972	WP16		3,93	2,20		11,61	4,00		7,42	23,80
F3	426	WP23				26,70	4,28	4,00		7,93	8,50
F3	426	WP24				24,04	4,28	4,00		7,27	8,17
F3	426	WP26				0,00					
F3	426	WP27				0,00					
F3	426	WP28				0,00					
F4	852	WP37		8,02	2,40		4,28	4,00		7,85	8,56
F4	852	WP38		8,02	2,40		4,28	4,00		7,85	8,56
F4	852	WP36						4,00	5,07		
Carga (110%)				0,78	0,27	0,19	1,06	0,61	0,18	0,89	1,79
N° de máquinas necessárias				0,86	0,30	0,20	1,17	0,67	0,20	0,98	1,97
Perda de capacidade				0,14	0,70	0,80	0,83	0,33	0,80	0,02	0,03
N° de máquinas após aquisição				1	1	1	1	1	1	2	2

Familia de mercado	Quantidade	Operação		B	Qa	Qb	C	F	D	E		
		Componente										
F1	202	WP3		4,49	10,71	0,93	3,12	4,29	15,05			
F2	486	WP14		4,49	10,71	0,93	3,12	4,29	20,91			
F1	202	WP4		4,49			3,12	4,29				
F2	486	WP15		4,49			3,12	4,29				
F3	852	WP22		3,54			3,12	4,18				
F4	852	WP35		7,42			3,12	9,53				
F3	852	WP29					2,25			15,45		
F1	202	WP8								12,18		
F2	486	WP18								12,18		
F1	202	WP9			0,00							
F2	486	WP19			0,00							
F1	202	WP6										
F2	486	WP17										
Carga (110%)				0,52	0,31	0,29	0,58	0,55	0,35			
N° de máquinas necessárias				1	1	1	1	1	1			
Perda de capacidade				0,48	0,69	0,71	0,42	0,45	0,65			
N° de máquinas após aquisição				1	1	1	1	1	1			

Familia de mercado	Quantidade	Operação		P	U
		Componente			
F1	101	WP13		7,63	6,32
F4	426	WP43			10,21
Carga (110%)				0,03	0,21
N° de máquinas necessárias				1	1
Perda de capacidade				0,97	0,79
N° de máquinas após aquisição				1	1

Passo 5 – Disposição das máquinas nas células, fluxo intracelular

Para a definição do *layout* da preparação deve-se procurar sequenciar as máquinas ou postos de trabalho de forma a minimizar fluxos inversos e transpostos. i.e., optar por fluxos diretos somente (Aneke & Carrie, 1986). A posição sequencial e proximidade entre as diferentes células devem também ser analisadas, para minimizar distâncias percorrida, particularmente se existirem fluxos intercelulares.

Segundo Gallagher & Knight (1973), nas células de TG é importante:

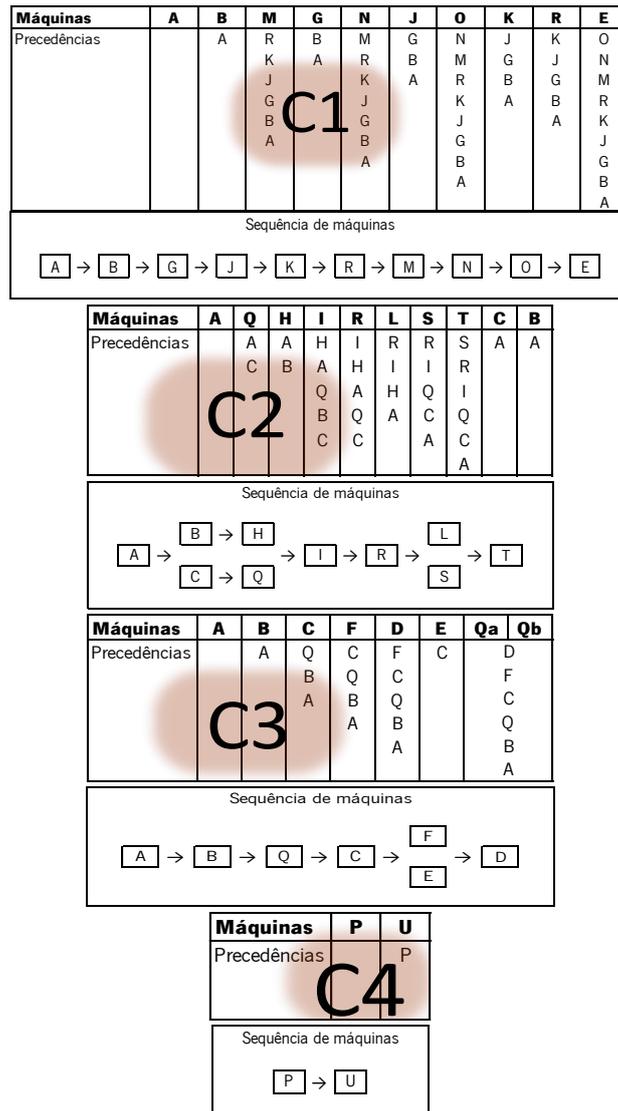
- Completar tanto quanto possível o processamento dos artigos dentro da célula, sem que estes a abandonem antes disso acontecer;
- Procurar encontrar um fluxo de trabalho num único sentido, tendo os artigos movimento sequencial, num único sentido, de máquina para máquina.

No caso aqui em estudo usa-se o método das precedências (MP) referido por Courtois, et al. (2007). Embora o método das posições intermédias (MPI), que determina o *rank* de cada máquina, referido por Courtois, et al. (2007) e Ahi, et al. (2009), se possa apresentar simples de usar, a sua aplicação no caso de estudo torna-se problemática. De facto, na matriz produto-processo usada neste trabalho, especificam-se componentes em que a única transformação que sofrem é a junção com outros (como é o caso de WP10/WP11/WP12 que são agrupados a WP2 inerentes às operações M e N). A aplicação de MPI, Tabela 15 para C1, onde as máquinas se encontram dispostas segundo a ordem obtida pelo *rank*, origina 3 inversões de fluxo de material e 22 fluxos transpostos. No entanto, por aplicação de MP para C1, Tabela 16, não se verificam fluxos inversos e verificam-se apenas duas transposições de máquinas (componente WP21 e WP34 que transpõem a máquina R). A máquina A foi também considerada nesta análise para garantir a total aplicação a todos os recursos, ocupando obviamente a primeira posição nos *clusters* definidos.

Tabela 15: Disposição intracelular das máquinas pelo método das posições intermédias, para C1

		A	B	M	G	N	J	O	K	R	E
F1	WP2	1	2	7	3	8	4	9	5	6	10
F3	WP21	1	2	6	3	7	4	8	5		9
F4	WP34	1	2	6	3	7	4	8	5		9
F1	WP10			1		2					
F1	WP11			1		2					
F1	WP12			1		2					
F3	WP30			1		2					
F3	WP31			1		2					
F3	WP32			1		2					
F4	WP40			1		2					
F4	WP41			1		2					
F4	WP42			1		2					
F4	WP39							1			
F1	WP7							1			
F3	WP25							1			
Rank		1,00	2,00	2,33	3,00	3,33	4,00	4,67	5,00	6,00	9,33

Tabela 16: Disposição intracelular das máquinas pelo método das precedências, C1/C2/C3/C4



Terminado este passo torna-se agora importante levar a teoria para o espaço fabril e perceber a alocação das máquinas de forma a criar tanto um fluxo intracelular e se necessário intercelular, que seja o mais adequado tendo em conta as restrições tecnológicas e os objetivos da empresa.

Passo 6– Arranjo entre células, fluxo intercelular

O arranjo de *layout* pode tomar diferentes configurações tendo em atenção o tipo de fluxo não só a nível intracelular como intercelular. Arvinth & Irani (1994) classificam alguns tipos de implantação intercelular:

- A. Implantação *Spline* Linear;
- B. Implantação *Spline* X;
- C. Implantação *Spline* T;
- D. Rede de células;
- E. Partilha de equipamento;
- F. Células em cascata;
- G. Linhas paralelas;
- H. Células virtuais.

A Figura 26 esquematiza os tipos de implantação citados.

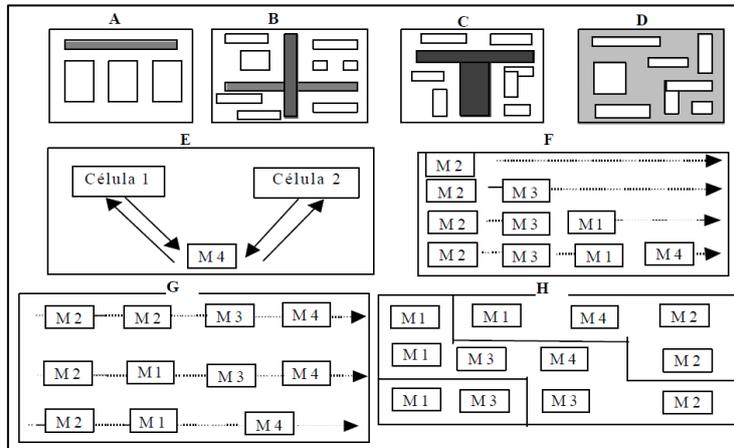


Figura 26: Tipo de implantações intercelulares, adaptada de Arvindeh & Irani (1994), em Alves (2007)

O *cluster* CA representa uma *gateway* para o sistema, formando assim uma implantação do tipo *spline* linear.

Em C3, a máquina Q surge na posição 3 e na posição 7 do fluxo de materiais para WP3 e WP14. O componente WP9 é agrupado a WP3 na operação Qa bem como WP19 aí se agrupa a WP14. No entanto, todos estes quatro componentes sofrem o mesmo transporte uma vez que a produção segue em lote. Os componentes de um mesmo lote vão para uma das células, estes só avançam de máquina quando todos os componentes desse lote tiverem terminado todas as operações precedentes. Assim, torna-se indiferente colocar a máquina Q/C3 na posição 3 ou 7.

Visto que se encontra disponível duas máquinas que realizam a operação do tipo Q, surgem as seguintes possibilidades para as alocar:

- Com C2 e C3 autónomas:
 - Opção A. posição 3 no *cluster* C2 + posição 3 no *cluster* C3 (com fluxo inverso).
 - Opção B. posição 3 no *cluster* C2 + posição 7 no *cluster* C3 (com fluxo inverso).
- Com C2 e C3 não autónomas (fluxo intercelular):
 - Opção C. posição 3 do *cluster* C2 e C3 (partilha de equipamento) + posição 7 do *cluster* C3 (sem fluxo inverso).

As diferentes opções encontram-se ilustradas na Figura 27.

A questão que se coloca é o que compensa mais de todas estas possibilidades? Como lidar com repetição de operações numa célula de produção? Poderão as características físicas do local ajudar a decidir a esta questão pela minimização da distância percorrida pelos componentes envolvidos?

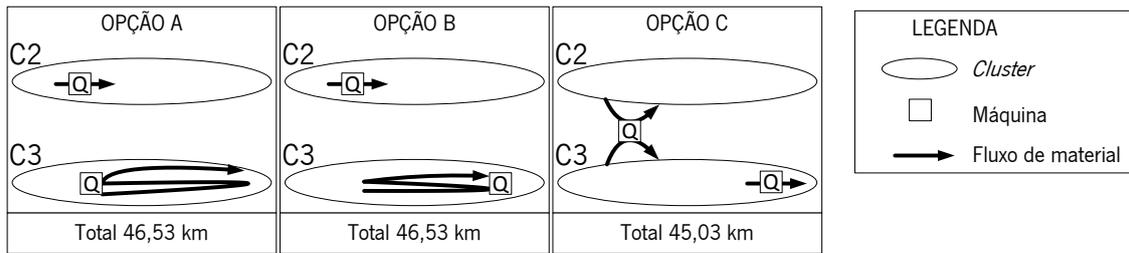


Figura 27: Opções de arranjo para máquina com fluxo repetido

A distância total percorrida pelos componentes envolvidos na operação Q ao longo de um turno, é menor na opção C (Figura 27), sendo percorrido menos 1,50 km o que se traduz numa redução de 3,23% da distância. Embora o ganho não se apresente muito significativo esta parece ser a melhor opção por permitir lidar apenas com fluxos diretos requerendo partilha de equipamento possível entre os *clusters* C2 e C3.

A Figura 28 apresenta a configuração que a preparação terá, segundo a opção C, em termos de disposição das máquinas e destaca os fluxos intercelulares existentes. A nível do fluxo intercelular está-se perante uma Implantação *Spline* Linear com partilha de equipamento, ou seja uma hibridação de dois conceitos apresentados por Arvindeh & Irani (1994).

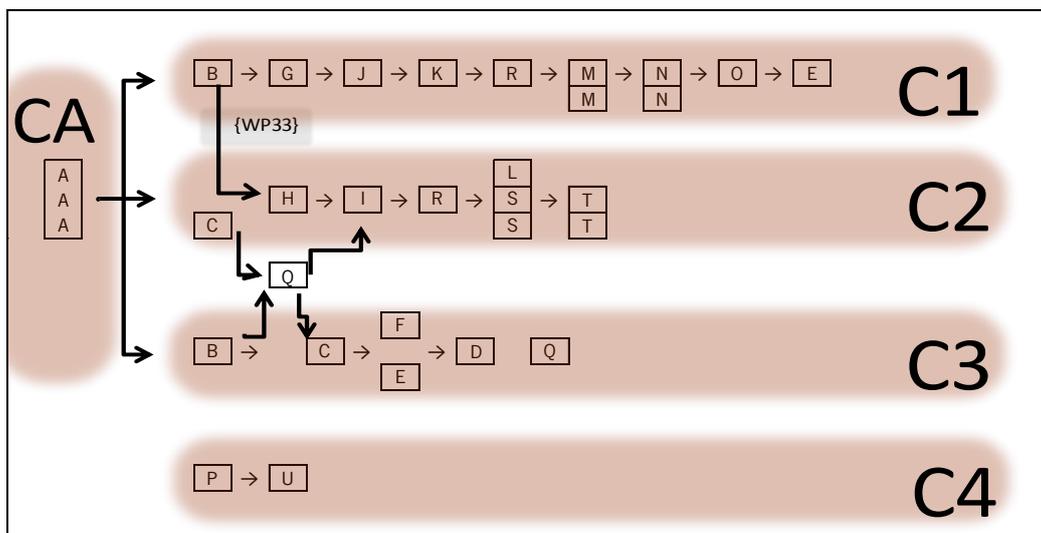


Figura 28: Disposição proposta para as máquinas nas células e fluxo intercelular associado

Passo 7 – Arranjo físico do *layout* celular

Para a análise final da configuração física de um sistema produtivo é ainda importante ter em consideração os pontos que se passam a enunciar.

Ponto 1: Visão macro do espaço fabril e interação entre fluxos

Nesta secção é analisada a posição da secção em estudo, relativamente a outras secções com que possa interagir, por exemplo: armazém ou sistema de abastecimento de matéria-prima; posição de secção a montante ou jusante; deslocação de pessoas entre secções; questões de segurança como a posição das saídas de emergência; entre outros.

Nesta situação em estudo o que se revela importante é a posição que a preparação apresenta em relação ao corte, secção a montante do fluxo de materiais, e a montagem, secção a jusante do fluxo de materiais. A secção do corte bem como o armazém ficam situados num andar interior ao da secção de preparação e montagem. O abastecimento de todos os consumíveis da preparação é feito por um elevador que se encontra deslocado como ilustrado na Figura 29. Nesta figura a zona a sombreado é a zona onde passa o *milk run* (MR) abastecendo as secções com os consumíveis e abastecendo a preparação com material que vem do corte.

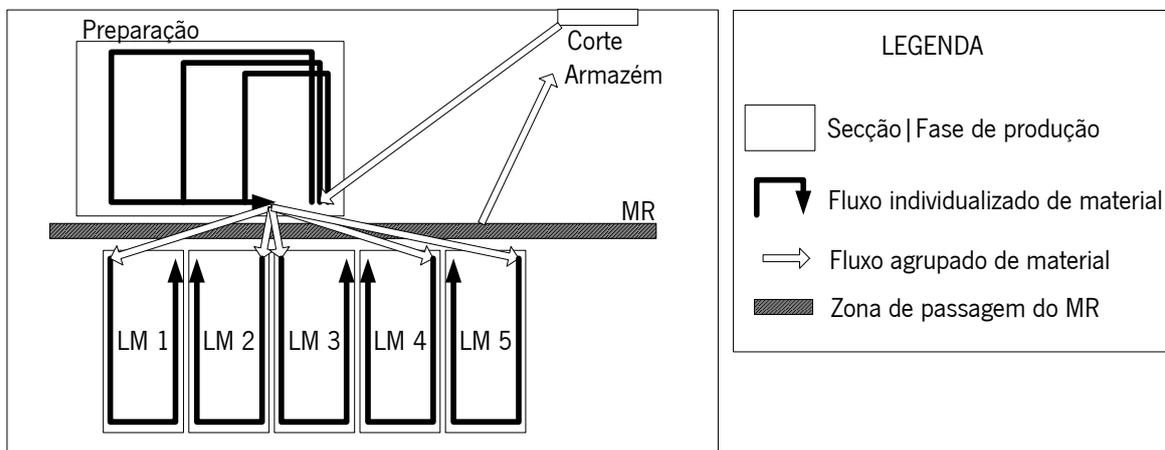


Figura 29: Posição da preparação face às restantes secções com que interage

Ponto 2: Dimensões e características físicas da secção funcional em estudo

As implantações podem ser em linha, em W, em U, em S, em L, em O, em D (Arvindh & Irani, 1994).

A disposição em linha parece ser uma boa opção nesta situação uma vez que assim a secção a montante da preparação estaria imediatamente antes, e a secção a jusante imediatamente depois. Contudo o espaço físico não permite esta configuração pois a preparação tem 10 x 10 metros e o conjunto de todas as máquinas (incluindo a máquinas A) não possibilita a alocação em linha. Uma vez que temos definida a secção funcional das máquinas A, estas podem estar fisicamente separadas dos restantes *clusters*. Propõem-se assim uma implantação em forma de U, encadeando os vários *clusters* definidos, como se pode verificar pela representação na Figura 29.

Deve ser tido em conta o espaço necessário para uma segunda máquina I que a empresa deverá adquirir, por questões de capacidade. As mesmas questões de capacidade levam a deixar no *layout* a segunda máquina S e a adquirir uma terceira máquina T.

Ponto 3: Aspetos organizacionais

Outros aspetos organizacionais que podem ter interferência são por exemplo: balanceamento dos postos de trabalho; nivelamento da produção; sistema de controlo da produção, entre outros.

No caso em estudo realçam-se questões de balanceamento dos postos de trabalho. Uma vez que o conjunto de operadores que realiza a operação A também realiza a operação B, para assim terem carga de trabalho equivalente a outros postos de trabalho da preparação, justifica-se aproximar fisicamente a máquina A e B formando um *cluster*. Esta decisão parece aceitável também porque o recurso do tipo B afeta grande número de componentes (10 em 43, i.e. 23%) e é a segunda operação para muitos dos componentes na preparação. Com esta decisão o componente WP33, que criava fluxo intercelular por necessitar de B, deixa de ir a C1 e passa imediatamente de CA para C2. O *cluster* denominado por CA passa a ter incluídas as máquinas com as operações do tipo A e B.

Não haverá operadores estritamente dedicadas à operação das máquinas P e U, uma vez que a carga destas operações é reduzida. Sendo que fisicamente há espaço para alocar estas máquinas junto das máquinas de C3, deverá ser analisada a carga dos operadores de C3 e se possível incumbi-las de realizar estas operações.

O arranjo físico final que a preparação toma apresenta-se na Figura 30, sendo que as células estão encadeadas em U. Verificam-se grandes diferenças quando comparada esta configuração com a configuração inicial da Figura 10.

Após as operações do tipo B são criados *buffers* que permitem o abastecimento das 3 células SPOP, sendo que:

- Bf5 abastece C1;
- Bf4 abastece C2,
- Bf3 abastece C3;
- Bf2 abastece C4.

Outros *buffers* foram ainda mantidos ou criados, com o seguinte intuito:

- Bf1 permite a receção do material do corte, nas caixas do tipo CaA (Figura 13).
- Bf2, Bf3, Bf4 e Bf5 permitem a separação dos componentes em caixas do tipo CaB.
- Bf6 permite agregar novamente num lote de família de produtos de mercado, os componentes provenientes das várias células da preparação, uma vez que a montagem trabalha com estes lotes, num tipo de caixa CaB.
- Quando todos os componentes estão agrupados e o lote está formado avança de Bf6 para Bf7 ficando disponível para a montagem, num tipo de caixa CaB.
- Quando entram na montagem, os componentes são separados por grupos de componentes a montar, nas caixas do tipo CaC.

Em todos estes *buffers* são criados mecanismos para ser respeitado o FIFO. Por um lado as estantes estão inclinadas fazendo deslizar as caixas que transportam os componentes, por outro lado todas as caixas estão identificadas e numeradas.

Relativamente ao posicionamento estratégico dos *buffers* é importante realçar o facto de Bf1 e Bf7 conterem 5 níveis, correspondendo cada um a uma linha de montagem, e destes estarem posicionados

frente a frente fisicamente. Esta configuração permite a percepção imediata dos níveis de *stock* de entrada e saída da preparação, permitindo assim uma boa gestão visual dos consumos a montante e jusante.

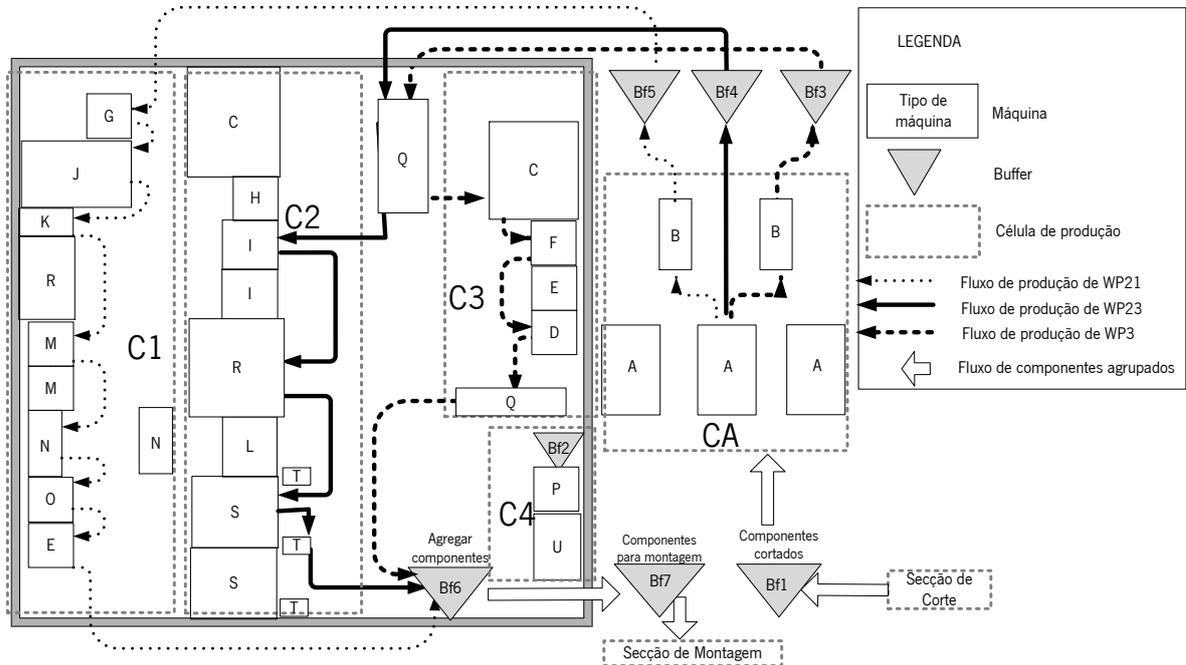


Figura 30: Configuração física do *layout* de produção e fluxo de material, proposta

Ponto 4: Dimensionamento dos *buffers*

Os *buffers* devem ser dimensionados para facilitar a ocorrência do FIFO, facilitar o fluxo de caixas cheias e vazias e não causar transtornos ergonómicos.

O Bf6 ilustrado na Figura 31 encontra-se inclinado segundo duas perspetivas, a A e a B. A perspetiva A permite que cada caixa do tipo CaB, entre neste *buffer* respeitando o FIFO respetivamente em cada uma das 5 linhas de montagem disponíveis. A inclinação no sentido B permite que os operadores possam visualizar o conteúdo de todas as caixas, para poderem colocar determinado componente na primeira caixa que estiver com este componente em falta. A inclinação na perspetiva B garante o FIFO e ao mesmo tempo assegura que determinado componente pertence a determinada caixa, uma vez que essa foi a ordem de chegada à preparação. É importante que os trabalhos não ultrapassem outros dentro de uma célula de produção, este aspeto será garantido pela definição de um adequado modo operativo.



Figura 31: Perspectivas do *buffer* Bf6

O *buffer* Bf3, Bf4, Bf5 têm dois patamares inclinados. O patamar representado como A na vista lateral da Figura 32 garante o FIFO na entrada do material nas células depois da operação B. Quando o operador vai buscar uma caixa com material ao patamar A, coloca no patamar B uma caixa vazia. Esta caixa vazia foi a caixa que esvaziou quando processou o trabalho anterior. Estes três *buffers* encontram-se lado a lado, identificados com a respetiva célula de destino, i.e. C1, C2 e C3 (vista frontal Figura 32).

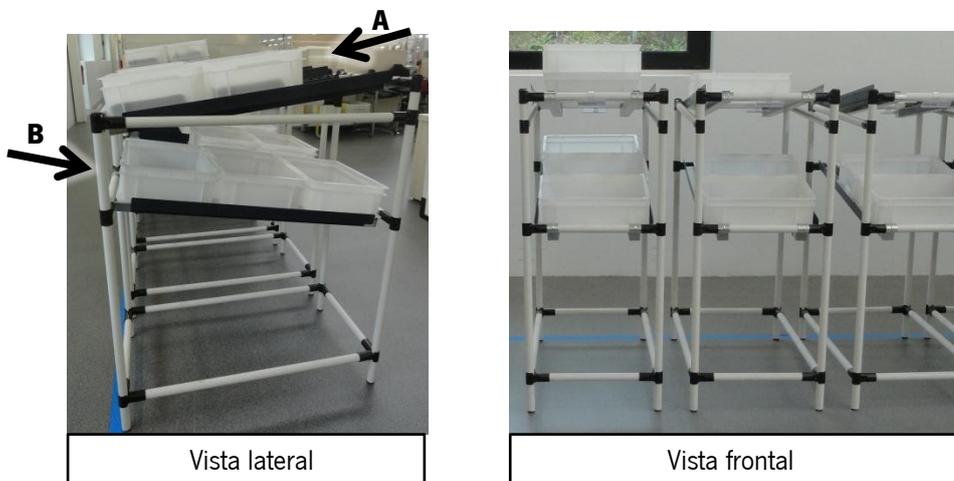


Figura 32: Vista lateral e frontal dos *buffers* Bf3, Bf4, Bf5

Passo 8– Avaliação e classificação da proposta

A preparação apresenta assim uma implantação *Spline* Linear com partilha de equipamento em forma de U encadeado, formando 4 células SPOP (C1,C2, C3 e C4) e uma SPOF (CA) que definem um sistema híbrido de células de tecnologia de grupo.

Aspetos positivos:

- Há somente fluxos unidirecionais e transpostos;
- Respeito do FIFO intracelular e intercelular;
- Diferentes componentes de um mesmo lote de família de mercado são processados em simultâneo, permite a coordenação dos trabalhos e portanto maior prontidão no abastecimento da montagem;
- O processamento simultâneo reduz o tempo em curso de fabrico de um lote de uma família de produtos de mercado, uma vez que o tempo de espera é menor;
- Evita o elevado cruzamento de fluxo de componentes na secção de preparação;
- Torna-se mais fácil controlar a produção de pequenas unidades de produção (C1,C2,C3,C4 e CA) ao invés de controlar a produção de uma única unidade de produção (toda a preparação);
- Perceber os níveis de stock em WIP e o comportamento real do escoamento dos trabalhos das diferentes secções, pela posição estratégica de Bf1 e Bf7;
- Reduzir a distância total percorrida pelos componentes;
- Ter operadores dedicados à produção de determinada família de componentes sendo polivalentes da célula onde estão a atuar, - dá clareza ao processamento do material;
- Uma única zona bem definida para a passagem do *milk run*, ao fornecer material e consumíveis tanto à preparação como à montagem, levanta os produtos finais das linhas de montagem;
- Células C2 e C3 estão voltadas de frente permitindo a comunicação entre as equipas de trabalho das duas células, quer relativamente à partilha da máquina Q quer relativamente a entreaajuda;
- A chegada de novos produtos permite rapidamente a incorporação dos seus componentes nas células onde serão produzidos;
- O *buffer* Bf6 permite perceber qual a célula da preparação que possa estar descoordenada em relação às outras (quer adiantada quer atrasada) permitindo agir em tempo real, quer pela rotação de operadores entre células ou fazendo um apelo à manutenção por avaria ou mau funcionamento de máquina.

5.1.2. Implementação na empresa

Após aprovação por parte da empresa da nova configuração de *layout* foram acionados os recursos necessários para a mudança de *layout*. Esta mudança foi realizada no fim da semana 10 que corresponde ao final do mês Fevereiro e início de Março.

5.1.2.1. Preocupações na reimplementação

Envolvimento dos operadores

Para ser *lean* é necessário que todos na empresa estejam envolvidos nessa vontade percebendo as suas implicações. O *Lean Thinking* defende precisamente uma abordagem global aos sistemas de criação de valor numa organização, visando em particular os processos e as pessoas, através da criação e proliferação duma cultura de melhoria contínua em toda a organização.

O projeto de reconfiguração da preparação foi abertamente partilhado com todos os operadores da preparação, os quais colaboraram em todas as etapas do processo, desde a cronometragem dos tempos à partilha de propostas de melhoria nos postos de trabalho ou sugestões de posição e patilha de máquinas.

Os operadores mostraram-se interessados e satisfeitos com a reconfiguração efetuada. As principais vantagens apontadas por estes são relativas à organização pela simplificação do fluxo de material.

Organização dos postos de trabalho

Em simultâneo com a reimplantação física é lançado um plano para a organização dos postos de trabalho. A primeira medida a ser aplicada foi os 5S's.

As diferentes fases dos 5S's foram aplicadas sendo que a primeira fase se ilustra na Figura 33, como resultado da eliminação de tudo o que não é necessário nos postos de trabalho da preparação.



Figura 33: Aplicação do 1ºS da metodologia 5S's (*Seiri*)

A Figura 34 ilustra o posto de trabalho onde é realizada a operação M antes da aplicação dos 5S's. Assinalam-se na imagem diferentes componentes em diferentes locais, inclusive debaixo do suporte de trabalho.



Figura 34: Posto de trabalho antes da aplicação da metodologia 5S's

A Figura 35 ilustra o mesmo posto de trabalho depois da aplicação dos 5S's. Para além de definir locais para os componentes, assinalados na imagem, foi também criado um outro suporte de trabalho mais alto e ergonomicamente mais adaptado aos operadores.



Figura 35: Posto de trabalho depois da aplicação da metodologia 5S's

Segundo Chapman (2005) os 5S's o apresentam várias vantagens no dia-a-dia, entre as quais:

- Menos do tempo despendido à procura de ferramentas ou materiais;
- Menos distância percorrida e movimentos pelo operador;
- Menor tempo de inatividade;
- Ambiente de trabalho limpo e seguro;
- Melhoria do fluxo de material;
- Menos erros de processamento dos trabalhos;
- Otimização do espaço de trabalho.

Adicionalmente, estas vantagens levam a aumentos na produtividade, qualidade, custos, tempos de entrega, segurança e motivação.

5.1.2.2. Análise dos custos de reimplantação

Como já referido para a reimplantação é necessário ter em conta aspetos económicos para além da simplificação e organização dos fluxos de material e de informação. Apresenta-se de seguida uma análise aos custos e ganhos financeiros envolvidos no processo de reconfiguração.

Distâncias e custos na movimentação de material

O método ou algoritmo *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT) propõe um procedimento heurístico para resolver a configuração de *layout*, proposto inicialmente por Buffa, et al. (1962). É utilizado para estabelecer a posição relativa, num determinado espaço, dos diferentes postos de trabalho permitindo o estudo de implantações interoperacionais (Carmo-Silva, 2008). Através deste método pode determinar-se o custo de movimentação de materiais (CMM) entre postos de trabalho.

Para este estudo, procedeu-se a uma adaptação do método de CRAFT com o intuito de calcular o CMM, este pode ser calculado segundo Carmo-Silva (2008) pela equação seguinte.

$$\text{CMM} = \sum_{i=1}^n \text{Distância entre a máquina } i \text{ e } i+1 \times \text{Quantidade movimentada por turno, entre a máquina } i \text{ e } i+1 \times \text{Custo de movimentação de uma unidade entre a máquina } i \text{ e } i+1, \text{ por unidade de distância}$$

Onde i é um tipo de máquinas, e n é o número total de máquinas. São os operadores quem transporta o material entre as máquinas, admite-se neste estudo que um operador percorre 1 metro por segundo. Pela empresa em estudo foi cedida a informação que o custo de um operador é de 20 €/hora.

Para as quantidades de um turno estabelecidas para a semana 10 na situação atual, os 43 componentes percorrem na preparação um total de 243,91 km. Com a proposta os mesmos componentes passam a percorrer um total de 132,51 km, uma redução de 45,67 %. As distâncias entre máquinas e percorridas pelos componentes encontram-se em maior detalhe no Anexo 2.

O CMM para a preparação na situação atual é de 184,78 €/turno. Com a proposta de *layout* este custo passa para 100,38 €/turno, tal como indicado na Tabela 17.

Tabela 17: Análise do custo de movimentação de material

	Situação atual	Proposta
Distância entre máquinas (metros) × Quantidade movimentada por turno, entre máquinas (unidades/turno)	243910	132506
Custo de movimentação de uma unidade de materiais entre máquinas por unidade de distância (€.unidade-1.m-1)	0,0008	0,0008
Custo de Movimentação de Materiais (€/turno)	184,78	100,38

Custos de reconfiguração de *layout*

Todas as máquinas da preparação são de fácil e rápida movimentação, sendo que a reconfiguração física do *layout* poderá ser executada recorrendo aos recursos, humanos e materiais, disponíveis na empresa.

O custo de paragem de produção também não se verifica neste caso, pois a movimentação das máquinas é efetuada em dias de paragem, ao sábado. Foram necessárias 7 pessoas durante 5 horas para efetuar a mudança. Assumindo que o custo destas pessoas é 20€/hora, o custo com a reconfiguração do *layout* é de 700€.

Custos de aquisição de novas máquinas

A Tabela 18 indica o custo de aquisição de cada máquina que realiza determinada operação. Num total foram investidos 84.000€ em equipamento. A aquisição deste equipamento para além de simplificar o fluxo de material permite assegurar a produção desejada pela procura a curto, médio e longo prazo.

Tabela 18: Análise dos custos com aquisição de novas máquinas

Tipo de operação	Preço de aquisição (€)
A	40.000
C	15.000
N	3.000
Q	6.000
R	20.000
Total	84.000

Análise global dos custos

No total os custos com a reimplantação foram de 84.700€, resultante da aquisição de máquinas e dos recursos usados na reimplantação física.

Com a reimplantação poupam-se 84,40€ por turno em CMM (184,78€-100,38€), em 23 meses poupam-se:

$$84,40 \text{ €} \times 2 \text{ turnos} \times 22 \text{ dias/mês} \times 23 \text{ meses} = 85408,99\text{€}$$

Estima-se que este investimento seja reembolsado após 23 meses pela poupança feita com CMM.

5.1.2.3. Análise das métricas de desempenho

WIP

Os *buffers* Bf2, Bf3, Bf4, Bf5 foram dimensionados para conterem no máximo 3 lotes em WIP. Usualmente verificam-se 2 caixas em curso nas células de preparação. No *buffer* Bf6 verifica-se usualmente 2 caixas por linha de montagem. Considerando mais uma caixa em curso no *cluster* CA, significa que podem estar no total 16 caixas em circulação na preparação com a nova configuração, o que representa 480 unidades em WIP.

O WIP verificado na configuração antes de reimplantação era de 19 caixas em média, i.e. 570 unidades. Verifica-se assim redução média do WIP. A tendência ilustrada na Figura 36 confirma precisamente o decréscimo no WIP nas células de preparação, ao longo do tempo, após reimplantação.

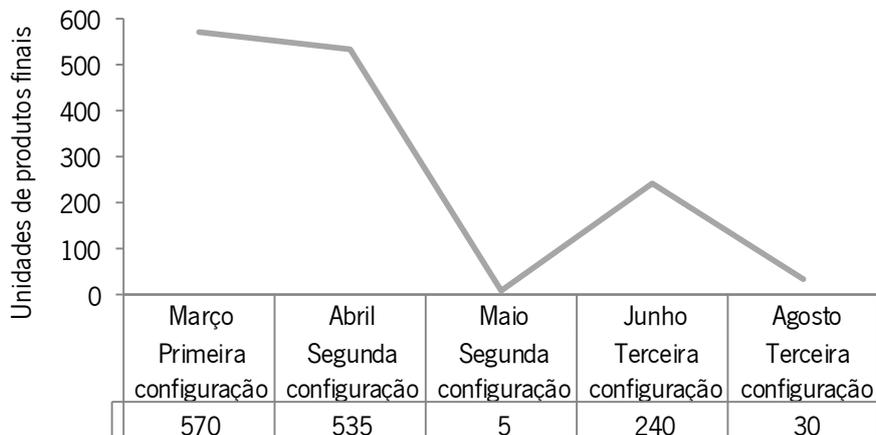


Figura 36: WIP nas células de preparação, após reimplantação

As variações na configuração de controlo da atividade produtiva também tiveram muito impacto no nível de WIP. A grande descida no mês de Maio, deve-se sobretudo à falta de abastecimento do corte para com a preparação.

Tempo de ciclo

Como ilustrado na Figura 22 da secção 4.2.5.4. o tempo de ciclo na preparação em Fevereiro (antes da reimplantação) é de 58,09 segundos por componente e em Março (depois da reimplantação) é de 45,82 segundos por componente. Nestes meses o CAP do sistema não foi alterado, permanecendo na primeira configuração descrita, daí pode concluir-se que o tempo de ciclo reduziu substancialmente graças à alteração da configuração da preparação.

Para além do tempo de ciclo na preparação ter reduzido em 21,12%, este passou a ser menor que na montagem, sua cliente. O tempo de ciclo da preparação deve ser próximo do tempo de ciclo da montagem mas nunca superior, garantindo assim que a preparação consegue responder aos pedidos da montagem no período de tempo pretendido.

Análise real da ocupação dos recursos

O gráfico da Figura 37 ilustra a evolução real da ocupação da preparação desde a semana 1 à semana 10, i.e. antes da reimplantação na preparação. O gráfico da Figura 38 ilustra a evolução depois da reimplantação.

Antes da reimplantação verifica-se muita instabilidade na ocupação ou utilização dos recursos na preparação. A variação vai de 102% na semana 3, a 66,6% na semana 8.

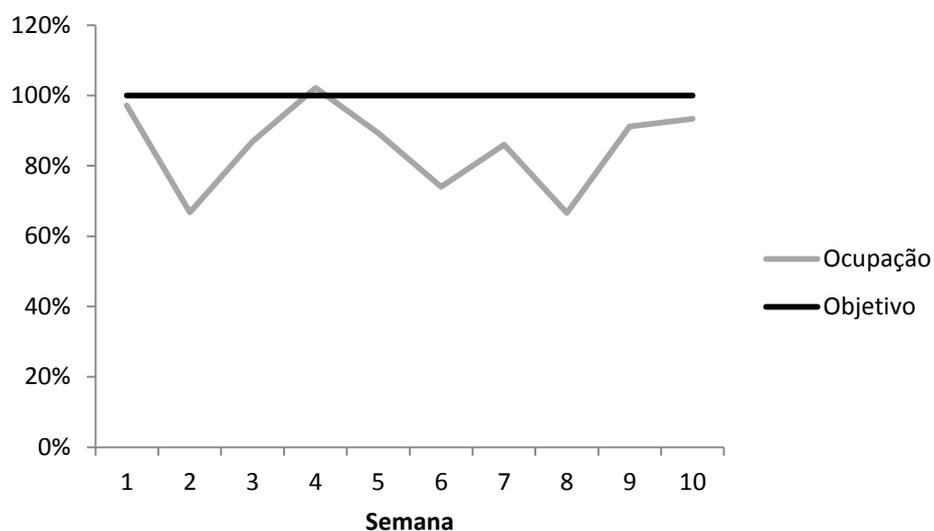


Figura 37: Ocupação na preparação, antes da reimplantação

Após reimplantação verifica-se maior estabilidade na ocupação dos recursos na preparação, valores muito próximos de 100%. Verificam-se no entanto dois picos, um na semana 13 com 109,60% e outro na semana 18 com 138,00%. Estes picos podem dever-se a outras fontes de desperdício ou instabilidades no sistema que não a configuração do mesmo, e.g. lançamento de novas OF's no sistema quando outras ainda não estavam terminadas. Este comportamento leva a elevada produtividade mas a um mau serviço

daí se verificarem algumas encomendas em atraso. Verifica-se ainda que a ocupação está com tendência a aumentar o que não é satisfatório.

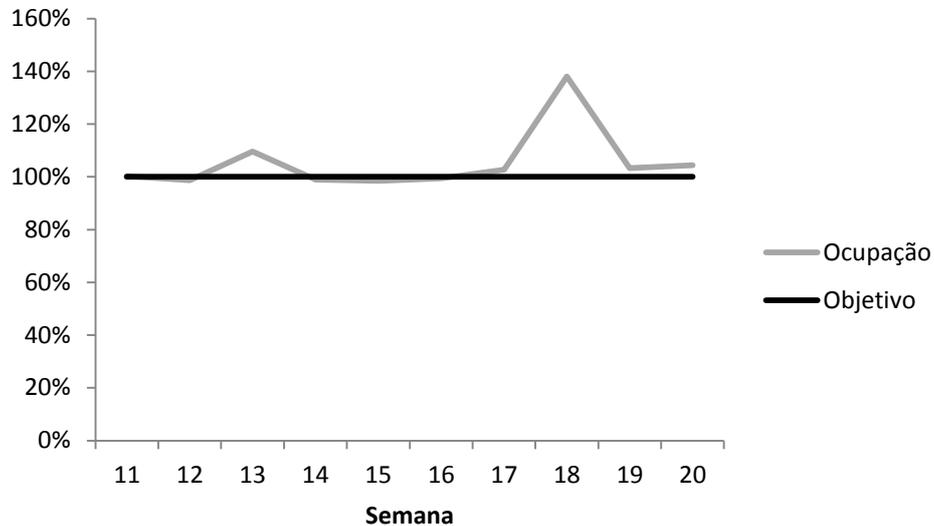


Figura 38: Ocupação na preparação, após reimplantação

5.2. Configuração operacional na preparação

Em TG a configuração do sistema pode manter-se por períodos de tempo prolongados, podendo apenas sofrer alterações no número de recursos necessários, quer no número de máquinas quer no número de operadores.

Uma célula de produção flexível é aquela que independentemente do número e tipo de artigos a processar consegue responder à procura, garantindo os melhores resultados nos seus indicadores de desempenho. Uma célula de produção deve ser flexível para facilmente se adaptar ao mercado. São alguns os fatores que permitem uma célula de produção flexível, (Black, 1991):

- O movimento de materiais deve seguir a lógica de peça atrás de peça;
- Trabalho deverá ser em pequenos lotes, que são transferidos entre células;
- Operadores nas células dominam múltiplos conhecimentos e podem transitar entre células, i.e. há polivalência;
- Há balanceamento dos processos garantindo que todos os intervenientes no processo têm a mesma carga de trabalho, i.e. têm o mesmo tempo de ciclo. O tempo de ciclo de um processo deve ser o mais próximo possível do *takt time* mas sem o ultrapassar;
- Deve garantir o nivelamento do sistema produtivo para otimizar a resposta às variações da procura, conceito designado por *heijunka*.

Recordando a diversidade de modos operatórios presentes na preparação, tal como descrito na secção 4.2.4.4., e tendo agora os tempos de processamento e a previsão da procura, justifica-se perceber de

que forma poderá ser distribuída a carga pelos operadores com a formação de células individualizadas dentro da preparação. A secção seguinte apresenta os passos iterativos que permitem definir e balancear os postos de trabalho na preparação, bem como a fundamentação para utilizar novos modos operatórios.

Carmo-Silva (2008) descreve o balanceamento ou equilibragem de sistemas de produção, como o processo de formação de postos de trabalho procurando distribuir de forma equilibrada o conteúdo de fabrico de um artigo, pelo número de postos de trabalho, de forma a satisfazer a procura. Existem vários métodos para balancear linhas de produção, mas definir a forma como os artigos podem ser produzidos de forma misturada numa linha de produção é frequentemente complexa.

Para organizar um sistema produtivo de forma a melhorar a otimização a utilização dos seus recursos, neste caso dos operadores, foram estabelecidos os seguintes passos:

- Definir o tempo produtivo e não produtivo dos postos de trabalho;
- Caracterizar a procura;
- Definir objetivos produtivos (produtos e taxas de produção) nas células;
- Definir os recursos necessários;
- Equilibrar a afetação de operadores a postos de trabalho;
- Definir modos operatórios;
- Avaliar a proposta.

5.2.1. Definir o tempo produtivo e não produtivo dos postos de trabalho

Tempo operatório é o conjunto do tempo produtivo e não produtivo para realizar uma operação. Este inclui o tempo para realizar funções tais como: transporte/manutenção ou limpeza da máquina; controlo de qualidade; preenchimento de documentação; entre outros.

No caso em estudo é considerada uma tolerância de 10% para contabilizar o conjunto das tarefas que não são incluídas no tempo operatório, mas que consomem recursos. Esta percentagem foi já considerada para a definição dos recursos máquina e torna-se assim coerente para os recursos-homem.

5.2.2. Caracterizar a procura

Uma vez que se trata da indústria da moda, i.e. sujeita a tendências e a inícios e fins de coleção ao longo das estações do ano, a procura pode variar em tipo e quantidade de artigo a produzir, daí a problemática de conseguir balancear os postos de trabalho atribuindo igual carga de trabalho a todos os operadores.

As quantidades usadas para a semana 10 são meramente ilustrativas servindo como base para uma análise exemplo, sendo que este exemplo poderá vir a estar mais ou menos próximo da realidade.

A procura de determinado tipo de artigo de determinada família de mercado varia com muita frequência, tendo em conta que a preparação trabalha com 43 componentes diferentes que podem assumir diferentes cores, facilmente se percebe a importância da polivalência dos operadores e de eles próprios se movimentarem com o objetivo de balancear a carga entre os postos de trabalho.

5.2.3. Definir objetivos produtivos (produtos e taxas de produção) nas células

Tendo em consideração as quantidades a produzir na semana 10 usada para o estudo da configuração do sistema produtivo, e sendo que o tempo disponível do turno é de 26400 segundo, obtém-se o *takt time* de 42,86 seg/peça.

$$Takt\ time = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Produção desejada}} = \frac{26400}{616} = 42,86 \text{ seg/peça}$$

O mercado exige a produção de um artigo a cada 42,86 segundos, seja ele de F1, F2, F3 ou F4.

O objetivo da secção de preparação é de no final ter produzidas as quantidades que lhe foram requeridas, de cada família de produto. Na prática, é necessário estabelecer o ciclo de produção na preparação, i.e., de quanto em quanto tempo sai um lote para a montagem, o mesmo é dizer, estabelecer as taxas de produção das células. Com base na procura e necessidades da montagem, foram estabelecidos esses valores para cada célula, Tabela 19.

Tabela 19: Objetivo do turno por célula, previsão semana 10

Família de Mercado	Quantidade	Célula	Objetivo horas/lote	Objetivo lotes/hora
			Tempo de ciclo	Taxa de produção
F1	101	C1	0,47	2,14
F2	145	C2	0,36	2,80
F3/F4	370	C3	0,36	2,80
Total	616	C4	0,47	2,14
		CA	0,36	2,80

Uma vez que as células C1 e C4 não trabalham com F2 o seu objetivo por hora é menor. Veja-se a percentagem de trabalho que cada célula tem com a produção de uma unidade de F1, F2 ou F3/F4 na Tabela 20. Por exemplo quando produzido apenas F1 é necessário 38% dos operadores em C1. Já quando produzida a família F2 nenhum operador é necessário em C1.

Tabela 20: Percentagem de utilização das células por família de produto, previsão semana 10

Família Célula	F1	F2	F3/F4
C1	38%	0%	43%
C2	29%	45%	33%
C3	14%	27%	6%
C4	2%	0%	2%
CA	18%	28%	15%
Total	100%	100%	100%

A Figura 39 ilustra um quadro que foi colocado junto da célula CA junto dos *buffers* Bf3, Bf4 e Bf5 (rever Figura 30). Quando os operadores de CA terminam um lote devem colocar um “quadrado” na hora que terminaram, sendo que um “quadrado” representa um lote de uma família de produtos de

mercado. Quadros com o mesmo objetivo foram colocados no final das células C1, C2, C3 e C4. Pela análise do quadro ilustrado percebe-se que:

- o objetivo da célula CA (com os recursos A e B), é produzir 3,41 lotes por hora;
- na hora 4 (hora do lanche) apenas são pedidos 1,7 lotes.
- a célula encontra-se na hora 5 de 8;
- na hora 2 deviam estar 4 lotes realizados e não 3;
- no final da hora 3 devia ter já mais de 10 lotes feitos (e não 9 como acontece);
- houve uma recuperação do lote em atraso na hora do lanche, ou seja hora 4.

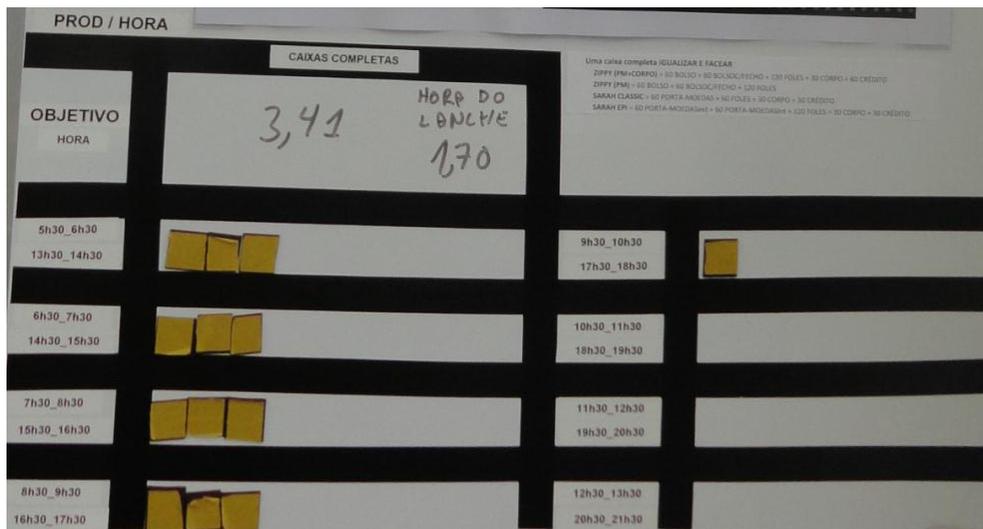


Figura 39: Exemplo do objetivo por hora da célula CA

Esta ferramenta torna-se prática e permite perceber aos operadores de cada célula se estão a cumprir os seus objetivos. Se cada célula de preparação cumprir os seus objetivos, a preparação encontra-se balanceada e o lançamento dos trabalhos é nivelado, estando esta a responder aos pedidos da montagem. Esta é uma ferramenta visual que permite a todos os intervenientes perceber em que ponto se encontra a produção, permite aos chefes de equipa da preparação perceber qual a célula atrasada/adiantada em relação às outras, às operadoras de outras células para perceber se estão equilibradas, aos chefes de equipa das linhas de montagem alertar uma célula de preparação em concreto no caso de falta de abastecimento.

Num modo operatório “ideal” quando é lançado um lote de F1 para a preparação todos os operadores se deslocam para a respetiva célula nas proporções indicadas na Tabela 20 e aí operam até todos os elementos de F1 estarem finalizados. Este modo operatório requer movimento constante tendo em conta a elevada variedade de lançamentos na preparação, o que leva a elevado tempo de movimentação e operadores e certamente a tempos de espera quando uma célula não esteja coordenada 100% com as outras. Mas facilmente se percebe que com a imensa rotação de produtos lançados na preparação este modo operatório leva a perdas de tempo maiores quer no rearranjo dos postos de trabalho quer em casos de atraso de processamento, por fatores como avaria de máquina. Adicionalmente, este tipo de

indústria não trabalha com tempos operatórios muito constantes tendo em conta as variações resultantes da grande intervenção da mão-de-obra no processo.

Assim torna-se necessário balancear a linha numa perspetiva global olhando para o total de componentes produzidos na preparação, no caso da semana 10 são 616 unidades. Esta definição de postos de trabalho corresponde à secção 5.2.5. apresentado posteriormente.

5.2.4. Definir os recursos necessários

Para definir os recursos necessários deve ser calculado o tempo de processamento dos componentes em cada máquina de cada célula, e assim satisfazer a procura para trabalhar de acordo com os objetivos definidos.

A Tabela 21 ilustra o número de operadores necessários para cada célula tendo em conta as quantidades referidas. Foi estabelecido um acréscimo de 10% na carga de cada operador à semelhança do caso dos recursos máquina. Tal como para a definição do número de máquinas, também na definição do número de operadores foi tida em conta a produção de F1/101, F2/145 e F4/370, não sendo F3 considerado uma vez que F4 tem tempos operatórios superiores, assegurando assim que se está a trabalhar com a carga máxima que pode ser requerida ao sistema.

A fórmula usada para o cálculo do número de operadores é a apresentada a seguir e é apresentado o exemplo do cálculo do número de operadores em C1.

$$P_{\min} = \text{Roundup}\left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i q_i}{T}\right) = \text{Roundup}\left(\frac{6,21 \times 202 + \dots + 6,78 \times 370}{26400}\right) = \text{Roundup}(3,74)$$

Com:

t_i : tempo de processamento do componente i.

q_i : quantidade a processar do componente i, num turno.

T: tempo disponível num turno.

Ao valor de 3,74 é acrescentado um peso de 10% para tempos não produtivos, obtendo assim um total de 4,11 operadores para C1.

O número mínimo teórico de operadores para esta quantidade na preparação é de 13,3, representando na prática um mínimo de 14 operadores. Estando disponíveis 14 operadores devem ser atribuídos, em termos de tempo de operador, o equivalente a 4,32 operadores a C1.

Uma vez que as quantidades a produzir por turno são extremamente variáveis em quantidade e em família de produtos a fabricar, é necessário adaptar frequentemente o número de operadores em cada célula, geralmente define-se no início do turno. A Tabela 21 ilustra uma aplicação que foi transmitida aos chefes de equipa e que lhes permite alterar a quantidade de cada família de produto de mercado e saberem de imediato quantas pessoas necessitam para a preparação e para cada célula. Na última linha da coluna “Nº operadores real” da Tabela 21, pode ser indicado o número de operadores que estão

disponíveis na preparação e imediatamente é feita a distribuição desses operadores a cada célula da preparação.

Tabela 21: Análise do número de operadores necessários e disponíveis, previsão semana 10

Família de Mercado	Quantidade	Célula	Nº operadores (Teórico)	Nº operadores (Real)
F1	101	C1	4,11	4,32
F2	145	C2	5,08	5,33
F3/F4	370	C3	1,56	1,64
Total	616	C4	0,22	0,23
		CA	2,36	2,48
Takt Time (seg/peça)	42,86	Preparação	13,33	14

Podem acontecer situações em que o número mínimo de operadores é menor ou maior ao real/disponível na preparação. Nesta situação o chefe de equipa deve distribuir os operadores pelas células como indica a aplicação fornecida e alertar a gestão da empresa. Nestas circunstâncias a chefia deverá perceber se a alteração na quantidade da procura se verifica a longo prazo, para poder tomar uma decisão quanto ao número de operadores em excesso ou falta, quando em excesso poderá por exemplo alocá-los em outras secções da empresa em que possam ser necessários. É preferível retirar o operador do seu posto de trabalho, mesmo que temporariamente, do que mexer com o seu ritmo de trabalho. Não devem ser impostos diferentes ritmos de trabalho aos operadores, uma vez que essa alteração poderá ter consequências provocando instabilidades constantes, perdendo-se a noção dos tempos operatórios reais e em consequente torna-se difícil definir as quantidades que se conseguem produzir num turno. Isto acontece porque os tempos operatórios são em muito dependentes do ritmo de trabalho dos operadores.

A distribuição atual dos operadores é de 13 operadores num turno e 11 no outro. O turno com 11 operadores justifica-se por não apresentar de momento uma produção tão elevada, no entanto espera-se que na semana 10 a produção dos dois turnos seja equilibrada. Torna-se necessário requerer operadores para a preparação. Estes operadores encontram-se disponíveis na empresa em outras secções e poderão rapidamente integrar as equipas da secção da preparação.

5.2.5. Equilibrar a afetação de operadores a postos de trabalho

Para o balanceamento das linhas de produção é essencial ter alguns dados de produção, como planos da sequência de produção e as quantidades a produzir num determinado período.

Há métodos de balanceamento multi-modelo ou modelos misturados, tal como exposto na secção 3.3.. No caso aqui em análise trata-se de um modelo misturado uma vez que se produzem lotes simultaneamente ao longo do turno. O facto de se estar perante um modelo misturado resulta do cliente da preparação, ou seja a montagem, consumir artigos diferentes de famílias diferentes ao longo do turno, uma vez que cada linha da montagem produz artigos diferentes. A montagem por sua vez, entrega semanalmente pequenas quantidades de diferentes artigos ao cliente final. Na preparação os tempos associados à mudança de *set-up* não se apresenta muito relevante o que permite também a mudança rápida de artigo a produzir.

Os métodos propostos por Wild (1972) e Bedworth & Bailey (1987) são métodos heurísticos não otimizantes que propõem o balanceamento de linhas de fabrico de artigos misturados.

Para o caso aqui em estudo estes métodos não se apresentam pertinentes uma vez que neste caso a duração de cada artigo em cada máquina é diferente. O tratamento destes dados é volumoso e os resultados não se afiguram satisfatórios. Veja-se o desenvolvimento pelo método de Wild apresentado na Tabela 32 do Anexo 3 que propõe 18 postos de trabalho com uma perda total de 114350 segundos por turno o que representa uma perda percentual de 24,06%.

Uma vez que o trabalho na preparação é maioritariamente manual seria pertinente avaliar o balanceamento pela aplicação de métodos que consideram operações com duração estocástica, como descreve Carmo-Silva (2008). Por outro lado deve ser tirado partido da polivalência dos operadores, faz todo o sentido que a afetação de tarefas seja flexível podendo a responsabilização das tarefas ser de uma equipa e não apenas do indivíduo.

O balanceamento de uma linha de artigos misturados é um processo complexo, sendo necessário perceber o contexto de estudo, as condicionantes e o volume de informação a processar.

No caso aqui em estudo, embora possam ser definidas quantidades de produção para ter uma carga base das máquinas e efetuar um balanceamento, as quantidades mudam com muita frequência. Embora possam mudar em cada turno, considera-se que durante uma semana a mudança nas quantidades a produzir não é significativa. É importante que os chefes de equipa possam adaptar o balanceamento tendo em conta as necessidades do mercado. Verifica-se ser impraticável que os chefes de equipa tenham que desenvolver modelos de balanceamento cada vez que mudam as quantidades.

A criação de uma tabela com que os chefes de equipa possam trabalhar e afetar os postos aos operadores torna-se útil uma vez que em cada semana, ou mesmo em cada turno, pode tornar-se necessária esta adaptação. Assim, foi desenvolvido um modelo que permite rapidamente e de forma intuitiva afetar os operadores às operações.

Os critérios para a aplicação deste modelo, a ter em consideração para o balanceamento do conjunto de células na preparação, são:

- “Um operador deve operar pelo menos duas máquinas e uma máquina deve ser operada por pelo menos dois operadores” – norma seguida pela empresa. Na Tabela 22 isto é garantido sempre que o valor que consta na coluna “ N° de tipos de operações” é igual ou superior a 2, e sempre que o valor que consta na linha “N° de operadores” é igual ou superior a 2.
- Equilibrar a ocupação de uma operação entre os operadores, i.e. numa operação dividir em igual parte a afetação de trabalho pelos operadores. Esta característica traz vantagens a nível de motivação, de ergonomia e de trabalho em equipa facilitado também a afetação de trabalho.
- Se é pretendido realizar 100% da produção, então uma operação deve ter ocupação de 100%. Na Tabela 22 a soma das colunas deve ser 100%.
- A ocupação de um operador deve preferencialmente ser superior a 90% e inferior a 100%.
- Quando é alterada a produção desejada e isso implicar alteração no número de operadores, devem ser introduzidas ou retirados operadores da análise, i.e. linhas da Tabela 22.
- Quando surgem novos produtos que exigem novas operações, estas podem ser introduzidas na análise, introduzindo operações na Tabela 22, i.e. colunas.
- Deve-se preferir que um operador não esteja afeto a células diferentes, por forma a evitar ou reduzir fluxo intercelular.
- Considerar que os tempos de processamento dizem respeito à soma dos tempos de operação, um acréscimo de 10% deste tempo permite englobar restantes tempos não considerados.

- Quando um componente repete um tipo de operação ao longo do processo produtivo, essa operação deve ser replicada considerando 1ª passagem como sendo uma operação (e.g.: Qa) e 2ª passagem como sendo outra operação (e.g.: Qb), com os respectivos tempos.
- Este modelo pode ser aplicado tanto em células autónomas como células com partilha de operações ou equipamentos, em células de tecnologia de grupo. No caso aqui em estudo as operações foram agrupadas nas respetivas células definidas anteriormente.

O modelo considera que:

$$\text{Operações} = \{i, i+1; i+2; \dots; m\}$$

$$\text{Operadores} = \{j; j+1; j+2; \dots; n\}$$

$$\text{Tempo da operação } i = t_i, \text{ com } i=1,2,\dots,m$$

$$T = \text{tempo disponível (neste estudo é de 26400 segundos)}$$

$$\text{Fator} = \frac{1}{x}, \text{ com } x = 2,3,\dots,n$$

$$\text{Tempo de operação do operador } j = \text{Too}_j = \sum_{x=2; i=1}^{n; m} \left(\frac{1}{x} \times t_i \right), \text{ com } j=1,2,\dots,n$$

$$\text{Ocupação do operador } j = \text{OO}_j = \frac{\text{Too}_j}{T}, \text{ com } j=1,2,\dots,n$$

A Tabela 22 é um exemplo de aplicação do modelo, com a alocação das respetivas fórmulas e condições. Sugerem-se os seguintes passos para a resolução do modelo:

1. Perceber qual o número de operadores sugeridos para uma célula e para o sistema produtivo (análise presente na Tabela 21), i.e. definir n. Na zona a sombreado da Tabela 22 deve ser colocado o fator $1/x$.
2. Iniciar por definir $x=2$ no fator, i.e. atribuir 50% da carga da operação i ao operador j. Se o operador j fica com ocupação entre 90% e 100% avançar para o operador j+1 e repetir o passo 1, caso contrário avançar para o passo seguinte.
3. Atribuir 50% da carga da operação i+1 ao operador j, tendo em consideração os seguintes critérios:
 - I. A operação i+1 deve pertencer a uma máquina que se encontre fisicamente próxima da máquina com a operação i. Isto resulta da análise preliminar do *layout* da célula, em caso de inexistência deste estudo preliminar ter em consideração o ponto II.
 - II. A operação i+1 deve preceder ou anteceder o fluxo do material que requer a operação j.

* Devem ser selecionadas iterativamente as operações que permitem maior ocupação do operador sem ultrapassar 100% e superior a 90%.
4. Continuar a atribuir operações ao operador j respeitando os critérios mencionados. Quando não é possível atribuir ao operador j 50% da carga de uma operação, porque o conjunto das m operações ultrapassa 100% da carga do operador, então atribuir apenas $1/3=33\%$. O valor de x deve ser sempre incrementado em 1, com o objetivo de ter uma carga para o operador entre 90% e 100%.

5. Ocupação do operador j está entre 90% e 100%? Se não, continuar com o operador j e repetir o passo 4. Se sim, avançar para o operador j+1 e iniciar o passo 2. Terminar quando todos os operadores têm carga entre 90% e 100%? Ter sempre em atenção que:
 1. Quando a carga de uma operação é distribuída por n operadores, deve ser atribuída 1/x da carga da operação a cada operador, i.e. os operadores devem realizar a mesma quantidade de tempo de trabalho entre si em determinada operação.
6. Todas as operações têm a ocupação pretendida (usualmente é 100%)? Se sim terminar. Se não, encontrar o operador com menor ocupação e distribuir a carga restante da operação.

Tabela 22: Modelo para definir e balancear os postos de trabalho com artigos misturados

Operação	i	i+1	...	m			
Tempo Op.(seg)	t_i	t_{i+1}	...	t_m	Nº de tipos de operações	Tempo de operação/ operador (Too)	Ocupação operador OO
Operador						$90\% \leq Too_{j,j \rightarrow n} \leq 100\%$	
j	$1/x_j$	$1/(x+1)_j$	...	$1/n_j$	contar(nº de fatores de j) ≥ 2	$90\% \leq 1/x_j * t_i + 1/(x+1)_j * t_{i+1} + \dots + 1/n_j * t_m \leq 100\%$	$(Too)_j/T$
j+1	$1/x_{j+1}$	$1/(x+1)_{j+1}$	...	$1/n_{j+1}$	contar(nº de fatores de j+1) ≥ 2	$90\% \leq 1/x_{j+1} * t_i + 1/(x+1)_{j+1} * t_{i+1} + \dots + 1/n_{j+1} * t_m \leq 100\%$	$(Too)_{j+1}/T$
j+2	$1/x_{j+2}$	$1/(x+1)_{j+2}$	...	$1/n_{j+2}$	contar(nº de fatores de j+2) ≥ 2	$90\% \leq 1/x_{j+2} * t_i + 1/(x+1)_{j+2} * t_{i+1} + \dots + 1/n_{j+2} * t_m \leq 100\%$	$(Too)_{j+2}/T$
...
n	$1/x_n$	$1/(x+1)_n$	...	$1/n_n$	contar(nº de fatores de n) ≥ 2	$90\% \leq 1/x_n * t_i + 1/(x+1)_n * t_{i+1} + \dots + 1/n_n * t_m \leq 100\%$	$(Too)_n/T$
Nº de operadores	contar (nº de fatores de i) ≥ 2	contar(nº de fatores de i+1) ≥ 2	...	contar(nº de fatores de m) ≥ 2		$\sum Too_{j,j \rightarrow n}/n$	$\sum Too_{j,j \rightarrow n}/(n * T)$
Ocupação operação	$\sum 1/x_{j,j \rightarrow n} = 100\%$	$\sum 1/(x+1)_{j,j \rightarrow n} = 100\%$	...	$\sum 1/n_{j,j \rightarrow n} = 100\%$			

Pretende-se que os chefes de equipa afetem semanalmente os operadores às respetivas operações, estes devem colocar o fator “1/x” na zona sombreada a cinzento e atingir os objetivos pretendidos. A Tabela 23 ilustra um exemplo do modelo desenvolvido tendo em conta as quantidades definidas para a semana 10. Esta indica, por exemplo, que o operador A (OpA), B (OpB) e C (OpC) realizam um terço das operações realizadas nas máquinas do tipo A, B e Q (operação Qa), assim cada máquina é ocupada em um terço do tempo por um operador diferente. A ocupação de cada um destes operadores é de 94%. Cada máquina deve ter imperativamente uma ocupação de 100%.

A ligeira diferença na carga entre operadores, pode ser atenuada com entreajuda quando requerida entre estes, mesmo que provenientes de outras células. Assim, este modelo serve como base de trabalho para uma semana. Sendo uma base de trabalho não implica rigidez, permitindo entreajuda e flutuação entre outras máquinas sempre que necessário.

Tabela 23: Aplicação do modelo de balanceamento de artigos misturados, previsão semana 10

Operação	Carga (seg)																				Nº de tipos de operações	Tempo de operação/operador	Ocupação operador
	A	B	G	J	K	R	M	N	O	E	C	Qa	H	I	R	L	S	T	Qa	C			
OpA	0,33	0,33																	0,33	0,33	4	24853	94%
OpB	0,33	0,33																	0,33	0,33	4	24853	94%
OpC	0,33	0,33																	0,33	0,33	4	24853	94%
OpD	CA		0,50	0,50															0,50	0,50	5	25230	96%
OpE			0,50	0,50	0,50	0,50													0,50	0,50	5	25230	96%
OpF																					4	25719	97%
OpG					C1																4	25719	97%
OpH						0,33	0,33	0,33													4	25719	97%
OpI																					3	24471	93%
OpJ												0,50	0,50								3	24471	93%
OpK													0,50	0,50							4	24687	94%
OpL														0,50	0,50	0,25	0,25				4	24687	94%
OpM																0,25	0,25	0,50	0,50		8	25767	98%
OpN																0,25	0,25	0,50	0,50		8	25767	98%
Nº de operadores	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	4	4	3	2	2	25145	95,25%	
Ocupação operação	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			

O balanceamento presente na Tabela 23 representa uma perda percentual de 4,75%. O tempo médio de trabalho de um operador, num turno com 26400 segundos disponíveis, é de 25145 segundos.

Nem sempre o facto de um operador possuir maior número de máquinas significa que tem maior carga de trabalho uma vez que a carga difere entre máquinas. Exemplo é o operador F com 4 máquinas e ocupação de 97% e o operador D com 5 máquinas e ocupação de 96%. O gráfico da Figura 40, baseado nos resultados da Tabela 23, representa no eixo das abcissas os operadores e o respetivo número de máquinas que operam, no eixo das ordenadas está o tempo operatório em segundos por peça, que se espera que estes realizem.

O tempo de ciclo corresponde ao tempo entre peças sucessivas e é definido pela operação mais demorada ou crítica. Na situação em análise os operadores ou postos de trabalhos com a operação mais demorada são OpM e OpN demorando 41,83 seg/peça. Uma vez que o *takt time* definido é de 42,86 seg/peça está-se a trabalhar a um tempo ligeiramente inferior, demorando menos tempo para a produção de uma peça que o cliente pede, contudo é um valor muito próximo do objetivo.

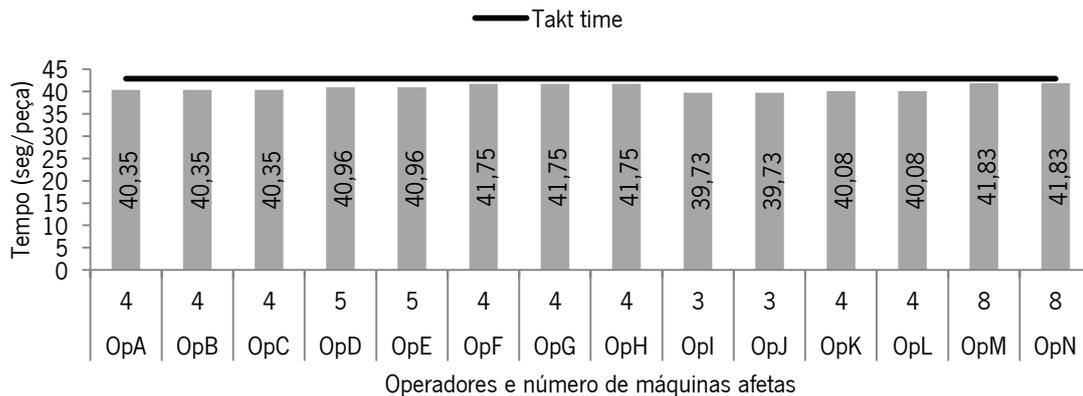


Figura 40: N° de máquinas *versus* tempo de ciclo de um posto de trabalho, previsão semana 10

Verifica-se que há situações em que os operadores devem trabalhar em mais que uma célula e que há células que afetam mais que um posto de trabalho, veja-se a Tabela 24. Pretende-se que esta situação de movimento intercelular por parte dos operadores seja reduzida. Apresenta-se como ponto forte desta interação o facto de melhorar a comunicação e o espírito de equipa e como ponto fraco, o facto de poder criar atraso no processamento de determinados trabalhos por aguardarem a intervenção de operadores de outras células.

Pretende-se que os tipos de postos de trabalho não variem muito, isto torna o sistema mais estável e fazível entre todos nas células.

Tabela 24: Operador por célula e tipo de posto de trabalho, previsão semana 10

Operador \ Célula	Célula					Tipo de posto de trabalho
	CA	C1	C2	C3	C4	
OpA	X		X	X		1
OpB	X		X	X		
OpC	X		X	X		
OpD		X	X			2
OpE		X	X			
OpF		X				3
OpG		X				
OpH		X				
OpI			X			4
OpJ			X			
OpK			X			
OpL			X			
OpM			X	X	X	5
OpN			X	X	X	

Uma vez balanceado o sistema produtivo torna-se agora importante definir a forma como os operadores devem interagir e operar.

5.2.6. Definir o modo operatório

Os operadores devem executar as operações sobre os componentes e seguir a correta sequência de produção. Normalizar a sequência pela qual cada operador deve processar as operações permite atingir três objetivos (Monden, 1981; Black, 1991):

- conseguir produtividade elevada através de trabalho eficiente sem movimentos desnecessários,
- atingir o balanceamento entre processos e operações de acordo com o tempo de ciclo da montagem final (determinado pelo número de produtos a serem produzidos num dado período),
- manter uma quantidade mínima de trabalho em curso de fabrico para eliminar excessivos *stocks* intermédios.

Objetivos pretendidos

Para a preparação pretende-se um modo operatório que permita:

- Atingir objetivos de produção para responder ao cliente em termos de quantidade e qualidade do produto final;
- Assegurar que as várias células da preparação possam terminar a produção dos diferentes componentes de um lote de produtos finais, em simultâneo (tanto quanto possível). É necessário garantir o abastecimento estável às linhas de montagem, evitando por um lado a falta de abastecimento da preparação e por outro a acumulação de *stock* de um tipo de componente.
- Trabalho em equipa e partilha de tarefas, tirando assim proveito da polivalência;
- Prevenção de problemas ergonómicos no que diz respeito à frequência de exposição a uma tarefa;
- Elevados níveis de motivação e reduzida monotonia no posto de trabalho;
- Autonomia moderada impondo responsabilidade aos operadores;
- Manter níveis moderados de WIP ao longo da preparação;
- Estimular flexibilidade e polivalência dos operadores. Para permitir um rápido balanceamento aquando da mudança de artigos e de objetivos de produção;
- Simplificar e facilitar a execução da tarefa, reduzindo os erros e confusão de como fazer pela simplificação dos fluxos;
- Melhorar a aprendizagem e o desempenho.
- Encontrar um equilíbrio entre benefícios da repetitividade de uma tarefa e benefícios da rotatividade.

Devido à diversidade de componentes que circulam na preparação, justifica-se definir de forma equilibrada um conjunto de operações que um operador deva realizar sobre determinados componentes. Esta decisão permite que o operador conheça bem o produto e as operações com que está a lidar. A experiência que o operador adquire permite reduzir erros de processamento e equívocos de operações sobre determinados componentes. Por outro lado, a rotatividade deverá ser tida em conta, uma vez que são operações que requerem muita perícia manual na interação com as máquinas e a maioria dos operadores trabalha de pé. Esta rotatividade permitirá outros benefícios como evitar a monotonia e melhorar a comunicação em equipa.

A sugestão que aqui se apresenta é balancear a preparação como um todo tendo em conta as quantidades semanais, ou até mensais (como mostrado na secção 5.2.5.), e posteriormente realizar mudança de posto de trabalho sobre cada operador, de forma semanal, ou até mensal – realizando

assim rotatividade. Um exemplo de plano de rotatividade semanal é ilustrado na Tabela 25. Por exemplo, o OpA na semana 10 realiza o posto de trabalho do tipo 1, e na semana 16 já realiza o posto de trabalho do tipo 3.

Tabela 25: Exemplo de plano de rotatividade para a preparação

Plano realizado por: _____		Plano aprovado por: _____		Data: __/__/_____			
Tipo de posto de trabalho	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
1	OpA	OpN	OpM	OpL	OpK	OpJ	OpI
1	OpB	OpA	OpN	OpM	OpL	OpK	OpJ
1	OpC	OpB	OpA	OpN	OpM	OpL	OpK
2	OpD	OpC	OpB	OpA	OpN	OpM	OpL
2	OpE	OpD	OpC	OpB	OpA	OpN	OpM
3	OpF	OpE	OpD	OpC	OpB	OpA	OpN
3	OpG	OpF	OpE	OpD	OpC	OpB	OpA
3	OpH	OpG	OpF	OpE	OpD	OpC	OpB
4	OpI	OpH	OpG	OpF	OpE	OpD	OpC
4	OpJ	OpI	OpH	OpG	OpF	OpE	OpD
4	OpK	OpJ	OpI	OpH	OpG	OpF	OpE
4	OpL	OpK	OpJ	OpI	OpH	OpG	OpF
5	OpM	OpL	OpK	OpJ	OpI	OpH	OpG
5	OpN	OpM	OpL	OpK	OpJ	OpI	OpH

Modo operatório

Embora possam ser encontradas semelhanças com outros modos operatórios, no global sugere-se um modo operatório que é uma hibridação do WB e do BB. Um conjunto de operadores tem um determinado conjunto de operações às quais estão afetados, existindo *buffers* no início e no final desse conjunto de operações. Ou seja à semelhança do WB é feito um balanceamento prévio do conjunto de operações, cujo tempo de processamento é relativamente idêntico. Os operadores que fazem parte do mesmo conjunto de operações interagem segundo uma lógica de BB. Um operador do grupo movimenta-se com a peça executando as operações que lhe sucedem até à última operação a que estão afetados, entregando a peça no *buffer* a jusante, depois esse operador movimenta-se no sentido inverso retirando a peça ao seu antecessor que larga a peça e movimenta-se no sentido inverso tirando a peça ao seu antecessor e assim até que o primeiro retire uma peça do *buffer* a jusante do conjunto de operações. Uma ilustração do método proposto encontra-se na Figura 41.

Cada posto de trabalho tem um pequeno *buffer* com capacidade para o número de componentes que compõem um lote de produtos finais, é aí onde se pretende que os operadores deixem o trabalho para o conjunto dos operadores seguintes (exemplo na Figura 42). Não é obrigatório, mas é preferencial que os operadores operem em postos adjacentes, é o balanceamento dos postos de trabalho quem ditará isto.

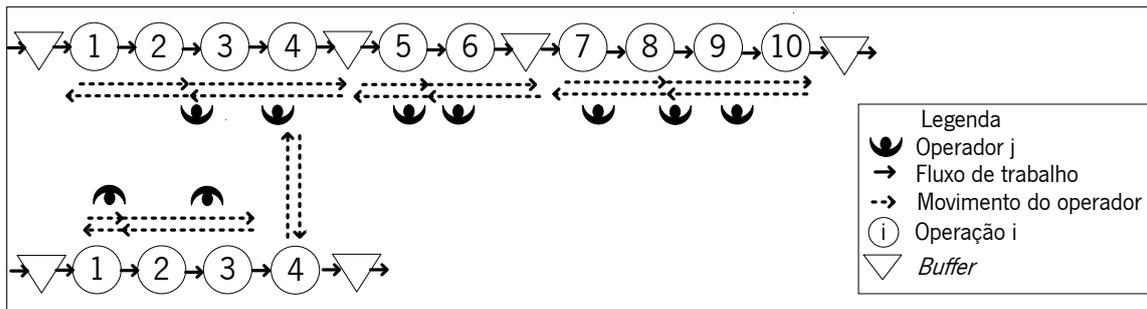


Figura 41: Modo operatório proposto para a preparação



Figura 42: Gestão visual implementada para o controlo do WIP na preparação

O que caracteriza este modo operatório é:

- Ser direcionado a um sistema de células de tecnologia de grupo.
- Operadores não trabalham peça a peça mas sim lote a lote, havendo por isso economias de escala e um mais fácil equilíbrio do trabalho.
- É feita uma análise conjunta do sistema produtivo tendo em conta a existência de subgrupos de células, sendo que os operadores podem operar nas diferentes células.
- Lida bem com o absentismo, podendo rapidamente redefinir o balanceamento para a célula tendo em conta o número de operadores disponíveis.
- Pode ser usada mesmo em células com operações semiautomáticas ou manuais, como é por exemplo a indústria têxtil.
- Há uma equipa responsável por um conjunto de operações e não apenas um indivíduo. Esta pequena subequipa deve trabalhar em conjunto nas operações que lhe estão destinadas coordenando o trabalho entre si. Há a vontade individual de ver um bom desempenho do grupo.
- No sistema produtivo há um operador que é o facilitador e pode no limite realizar todas as operações sobre um artigo, mas isso terá que ficar definido no balanceamento e os restantes postos de trabalho terão que ser adaptados.
- Quando um conjunto de operadores não tem trabalho no *buffer* que os antecede devem procurar ajudar os seus colegas a montante do fluxo de materiais, retirando-lhes o trabalho da mão e operando eles. Isto é possível graças a polivalência existente.
- Cada operador sabe o conjunto de operações que deve realizar e com quem deve partilhar esse conjunto de operações. No caso aqui em estudo torna-se importante definir o número de

operadores para cada célula e para cada subgrupo. Este número deve ser definido para assim balancear os postos de trabalho de forma a que os componentes de um mesmo lote de produtos finais, saiam do sistema simultaneamente, daí a autonomia não poder ser total mas restrita a uma pequena subequipa.

- Desvantagens que podem advir deste modelo é a formação de pequenos subgrupos isolados reduzindo a comunicação com outros operadores da preparação.

Quanto à responsabilidade dos operadores:

- Os operadores do posto nº 1 ficam responsáveis pelo lançamento dos trabalhos na célula. Esta decisão terá por base um método que será apresentado na secção 5.3..
- Os operadores do fim da célula ficam responsáveis por assegurar que a peça está conforme e “aparentemente” cumpre os requisitos de qualidade, responsabilizando-se de todas as operações que antecederam a sua intervenção. Estes operadores são responsáveis por colocar os componentes no *buffer* Bf6. O operador que colocar o último componente de uma caixa no *buffer* Bf6, deve mudar a caixa completa para o *buffer* Bf7, disponibilizando-a para a montagem.
- Os operadores dentro da célula ficam responsáveis pelo transporte de material dentro da célula e por regular o fluxo intracelular vigiando o WIP ao longo do fluxo. Na empresa em estudo, foram introduzidos suportes nos postos de trabalho que permitem uma gestão visual do fluxo de trabalho, no exemplo da verifica-se uns encaixes para colocar os artigos com a indicação que o *stock* deve ser no máximo de 30 peças.

O modo operatório aqui descrito pode ser aplicado tanto num arranjo linear como em U. No caso do sistema produtivo ser constituído por várias células, podendo os operadores interagir nas várias, prefere-se o arranjo linear uma vez que as células poderão ser colocadas lado a lado facilitando a movimentação dos operadores entre células.

Esta proposta pretende normalizar e igualizar os processos entre todos os operadores da preparação, uma vez que se verifica que nem todos trabalham nas mesmas circunstâncias:

- Há operadores com mais carga que outros;
- Há operadores que operaram de forma diferente de outros. Este processo não está normalizado e cada operador de cada turno processa o trabalho como acha mais adequado. Podendo trabalhar no sentido do fluxo de material ou no sentido inverso, transpondo ou não a célula.

5.2.6.1. Relação com outros modos operatórios

A Tabela 26 compara outros modos operatórios já discutidos com o modelo proposto. Contrariamente a outros modelos, o modelo proposto apresenta obrigatoriedade no que diz respeito ao balanceamento, afetação, entreadjusta, polivalência e trabalho em equipa.

Tabela 26: Comparação dos modos operatórios considerados com a proposta, adaptada de (Alves, 2007)

	WB	RC	TSS	BT	BB	Proposta
Balanceamento	✓	○	○	○	○	✓
Afetação	✓	○	✓	✓	✓	✓
Entreajuda	○	○	✓	✓	✓	✓
Polivalência	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Trabalho em equipa	○	○	✓	✓	✓	✓
○ :livre, não condicionado						
✓ :obrigatório						

Descreve-se de seguida as semelhanças e diferenças que o modelo aqui proposto apresenta com cada um dos modelos indicados na Tabela 26. Ao apresentar as diferenças com cada modo operatório, pretende-se demonstrar o motivo que levou a não aplicar esse modo operatório na sua forma pura a esta situação em estudo.

Semelhanças com o WB:

- Afetar a cada operador um dado número de operações que constituem o seu posto de trabalho;
- Há *buffers* ou *decouplers* ao longo de uma célula de produção e entre células de produção;
- Os *decouplers* permitem lidar com variações nos tempos operatórios. A variação no tempo operatório pode dever-se à necessidade do próprio artigo (no caso em estudo tendo em conta a variação da pele é muito comum isto acontecer), ou à presença de um operador com mais ou menos prática.
- Os operadores podem ter afetas operações que existam antes ou depois dos *decouplers*.
- Um operador pode estar afeto a operações não adjacentes. Deve optar-se por alocar os operadores a postos que estejam próximos fisicamente ou cujo fluxo do material se intercete. Esta característica pretende evitar tempos de transporte e/ou cruzamento de operadores, evitando acidentes com os artigos uma vez que o transporte é manual. Esta condição é mais relevante quando se trata de um arranjo linear e não tanto em U, pela proximidade física que os arranjos em U proporcionam.

Diferenças com o WB:

- O número de operações que um operador tem afetas não é invariável ou permanente, difere a cada semana, ou a cada mês. Pode ainda diferir dentro de um turno se ocorrerem imprevistos e alteração nos objetivos de produção.
- Os operadores podem estar afetos a operações em diferentes grupos de células.
- A zona de afetação de um operador pode-se misturar com a zona de afetação de outro operador. Inclusive, se se verificarem desequilíbrios na pontualidade da saída dos trabalhos das diferentes células, a zona de afetação de um operador pode ser misturada com a zona de afetação de outro operador intercetando posto de trabalho diferente. Isto é possível graças à elevada polivalência e permite quebrar a limitação de desequilíbrios na linha, por ser imposto um balanceamento rígido. É de esperar que esta situação seja meramente pontual, caso se verifique repetitividade devem ser reequilibrado o balanceamento ou medidos novos tempos.
- Tem flexibilidade aquando da alteração de condições operatórias, ao contrário do WB. O que permite a rápida reconfiguração da célula resultante por exemplo da redução da procura ou da mudança do produto a fabricar.

- A primeira operação (operação do tipo A) da maioria dos componentes é semelhante e é realizada por um mesmo operador, mas a última operação desses componentes é diferente, podendo haver diferentes últimas operações. Seria impraticável que o operador que faz a primeira operação, neste caso a operação do tipo A, faça também as últimas, e diferentes, operações dos 43 componentes. Mas ocasionalmente, pode acontecer ser afetada uma operação final de determinado componente, meramente por motivo de balanceamento e/ou proximidade de máquinas, o que se pode verificar sobretudo no arranjo em U.

Semelhanças com o RC:

- Grau de polivalência total.
- Desempenhos relativamente similares e equilibrados para todos os operadores.

Diferenças com o RC:

- O modelo proposto exige *decouplers* ao contrário do RC. Percebe-se a importância dos *decouplers* para lidar com variações nos tempos de processamento.
- No RC o balanceamento interoperadores torna-se desnecessário.
- Sendo que o sistema produtivo tem um elevado número de artigos diferentes no seu fluxo produtivo (43 neste caso) perder-se-ia muito tempo a processar todos os trabalhos se apenas um operador percorre-se todas as operações de todos os componentes de uma célula.
- Uma vez que no RC os operadores não podem ser “ultrapassados” por outros, o atraso pode ainda ser maior, porque é um operador mais lento quem impõe o ritmo. Este aspeto é ainda mais crítico quando se torna necessário aumentar o número de operadores.

Semelhanças com TSS:

- Operadores polivalentes partilham as tarefas e passam o trabalho aos outros.
- Podem retirar o trabalho ao operador dentro da subequipa que está estabelecida.
- Há uma zona partilhada pelos operadores que fazem parte da subequipa.
- No sistema produtivo há um operador que é o facilitador.
- Os operadores movimentam-se no sentido inverso ao fluxo de material para procurar trabalho.

Diferenças com TSS:

- O facto de estar apenas um operador afeto a um determinado número de máquinas, no modelo proposto devem estar no mínimo 2.
- Ao contrário do TSS, no modelo proposto os operadores podem trabalhar em postos não adjacentes.
- No modelo proposto os operadores estão afetos a um conjunto de operações e têm uma zona de atuação, ao contrário do TSS.
- O facto da primeira e última operação ser da responsabilidade do primeiro e último operador é uma vantagem que se pode perder no TSS mas não no modelo proposto. Um vez que na preparação, com a nova configuração, seria impraticável ter o operador que faz a operação A a realizar a última operação dos 43 componentes.
- Como é necessária interação entre as células para poupar recursos e uma vez que o número de operadores é superior a cinco, estabelecidos pelo TSS, torna-se complicado atribuir total

autonomia e auto-organização, pois perder-se-ia o sentido de responsabilização sobre os trabalhos.

Semelhanças com BT:

- Operadores desenvolvem padrões de trabalho.
- Podem atravessar a célula e trabalhar em postos não adjacentes.
- Um operador tem o papel de líder executando outros trabalhos como alimentando a célula, substituindo operadores, preenchendo documentação necessária entre outras tarefas.

Diferenças com BT:

- O operador que faz a primeira não faz a última operação de todos os componentes, mas pode ter que fazer a última de alguns deles.
- No modo operatório proposto o operador tem uma zona de atuação, enquanto que no BT os operadores podem desenvolver os seus padrões de trabalho.
- No BT não são definidas zonas de atuação para cada operador. Se o número de operadores for elevado pode deixar de haver responsabilização e controlo das saídas dos trabalhos i.e. descoordenação no tempo de processamento dos componentes de um lote de produtos de famílias de mercado.

Semelhanças com BB

- Operadores polivalentes.
- Operam com as peças no sentido do fluxo de trabalho.
- Quando terminam o trabalho, vão no sentido oposto procurar trabalho e retirando das mãos do operador a jusante (ou do *decoupler*), este por sua vez movimenta-se também no sentido contrário retirando do anterior e assim sucessivamente.

Diferenças com BB

- No BB não há necessidade de balanceamento prévio.
- No modelo proposto ao contrário do BB, os operadores não operam ao longo de toda a célula, mas sim numa zona designada.

5.2.7. Avaliar a proposta de configuração operacional

A Tabela 27 resume alguns critérios que permitem avaliar a adequabilidade do modelo atual da configuração da preparação, comparam-no com o modelo de Wild e com o modelo proposto para o balanceamento. De realçar que para outros casos de estudo, os objetivos mencionados na Tabela 27 podem ser diferentes dos aqui implicados.

Segunda a análise efetuada a proposta apresenta resultados mais satisfatórios para os objetivos da empresa, comparativamente à situação atual e ao modelo de balanceamento pelo método de Wild.

Tabela 27: Avaliação da configuração operacional proposta para a preparação

Critério	Nível de objetivo pretendido	Modelo			Modelo preferível
		Atual	Wild	Proposta	
Trabalho em equipa (Baixo, Moderado, Elevado)	Elevado	Elevado	Baixo	Moderado a Elevado	Atual; Proposta
Estímulo da polivalência (Baixo; Moderado; Elevado)	Elevado	Elevado	Baixo	Moderado a Elevado	Atual; Proposta
Preocupação ergonómica tendo em conta a baixa frequência de exposição à mesma tarefa (Baixo, Moderado; Elevado)	Elevada	Definida apenas quando surgem dificuldades (cansaço, manifestação de doença, etc.), i.e. não é preventiva é corretiva	Baixo	Elevada (em cada turno é garantido que um operador trabalho no mínimo em duas máquinas e há rotação semanal ou mensal)	Proposta
Tempo gasto pelos chefes de equipa na construção do modelo de balanceamento (Baixo, Moderado; Elevado)	Baixo	Inexistente	Elevado	Baixo	Proposta
Nº de postos de trabalho com fluxo intercelular dos operadores	Mínimo	Indefinido	0/18 =0%	7/14=50%	Wild
Nº de tipos de posto de trabalho/ Nº de operadores	Mínimo	13/13= 100%	16/18 =88,89%	5/14 =35,71/%	Proposta
Perda percentual da capacidade disponível	Mínimo	Desconhecida (verifica-se situações de operadores em excesso ou em falta)	24,06%	4,75%	Proposta
Verificam-se postos de trabalho definidos (PTD) e balanceados (PTB)	PTD & PTB	PTD (um operador tem informação acerca das máquinas que usualmente deve operar e que componentes deve processar)	PTD & PTB	PTD & PTB	Wild; Proposta
Modo operatório	Objetivos realçados na secção 5.2.6.	WB, TSS; BT; RC; BB	WB	WB & BB	Proposta

5.3. Proposta de controlo da atividade produtiva

Classificação da configuração proposta

O sistema produtivo apresenta agora uma visão macro diferente, uma vez que a preparação está agrupada em subgrupo celulares – Figura 43, realmente diferente da configuração na Figura 8, que agregava todos os postos de trabalho numa célula única.

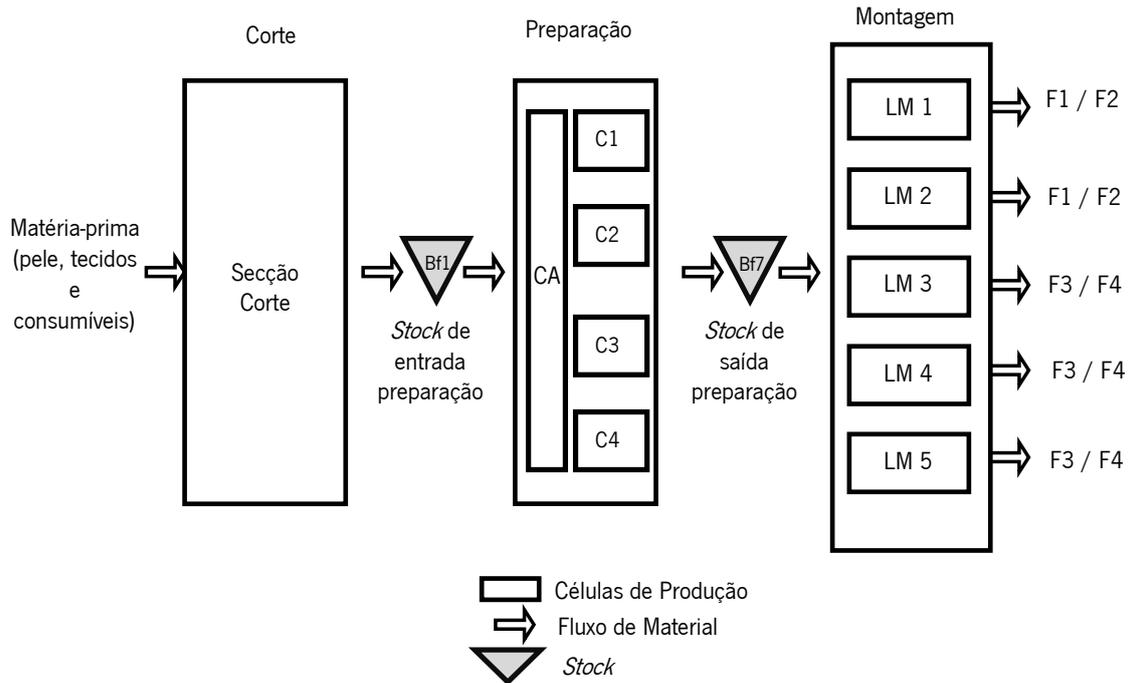


Figura 43: Visão macro do sistema produtivo e dos processos, após reimplantação

Embora a preparação possa estar agora organizada em células, a sua coordenação deve ser vista como um todo, uma vez que os trabalhos lançados para as diferentes células (CA, C1, C2, C3, C4) devem estar coordenados entre si, por forma a saírem da preparação em simultâneo e ficarem disponíveis para a montagem. O correto balanceamento das células apresentado anteriormente, deve garantir que a preparação dos componentes de um produto final seja simultânea. Nesta secção será proposto o controlo intercelular entre o corte, preparação e montagem por forma a coordenar a atividade produtiva e o fluxo de materiais e trabalho no sistema.

Mecanismo proposto de coordenação e prioridade

Considerando algumas das falhas presentes nos três tipos de configuração descritas na secção 4.2.5., considera-se que um mecanismo do tipo *push* pode apresentar melhores resultados para o sistema, permitindo a flexibilidade do sistema para lidar com certos imprevistos, e.g. falta de material do fornecedor, permitir flexibilidade, resposta a prioridades como por exemplo retrabalho, reduzir o WIP e o *lead time*. Algumas propostas de melhoria são de seguida apresentadas.

Para evitar OF's incompletas, devido ao facto de determinadas caixas ficarem “perdidas ou esquecidas” ao longo do sistema produtivo, foram tomadas duas medidas:

1. A primeira consiste em identificar com uma etiqueta uma das caixas das estantes (correspondente a uma linha de montagem) do *buffer* de entrada e do *buffer* de saída da preparação. Esta etiqueta sinaliza a “próxima caixa” a tratar em cada estante de cada linha de montagem e é visível na Figura 44 para o exemplo da linha 5.
2. A segunda medida consiste em numerar as caixas por OF, desde que entram no corte. A folha de “auto-controlo” (Figura 12 da secção 4.2.4), que acompanha a caixa desde o corte, terá um campo adicional com a indicação do número de caixa, e.g.: caixa nº 2 de 30. Isto permite que cada célula saiba que trabalho de determinada OF está a processar, permitindo um controlo mais fácil das OF's para todos os intervenientes.

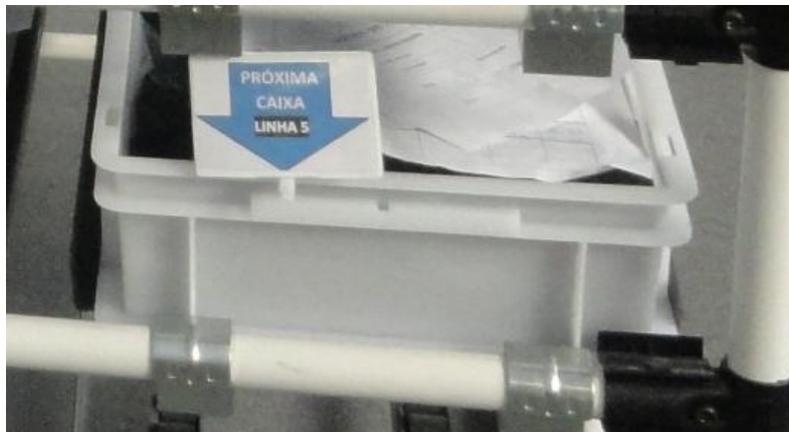


Figura 44: Etiqueta implementada que permite respeitar a lógica FIFO nos *buffers* do sistema

Mecanismos de controlo – uma visão breve

Devido à simplicidade e facilidade de implementação a popularidade de mecanismos baseados em cartões de controlo, frequentemente designados por “*kanbans*” tem vindo a crescer desde o aparecimento do *Toyota Kanban System* (TKS) (Sugimori, et al., 1977).

POLCA é um mecanismo de controlo da atividade produtiva híbrido, que combina um programa de produção com um número limitado de cartões de controlo da produção, designados por cartões POLCA (Suri, 1998). O programa gerado para cada centro de trabalho é uma lista de ordens de fabrico, com uma data planeada de autorização de início da execução de cada ordem. Os cartões POLCA identificam ordens de pares de centros de trabalho, células por exemplo, sucessivos na rota de fabrico do produto. Estes cartões são afetados às ordens de fabrico, para que possam de facto ser processadas, sendo posteriormente libertados para serem afetados a outras ordens, à medida que o trabalho é executado no segundo centro de trabalho, do par que cada cartão identifica.

O programa de produção, estabelecido por um sistema tipo MRP (*Material Requirements Planning*), utiliza normalmente os *lead times* dos centros de trabalho.

As datas programadas são datas de autorização e não de libertação, i.e. são necessárias para iniciar a produção mas não por si só suficientes. O início da execução de uma ordem de fabrico, dá-se apenas depois, logo que possível, quando há cartões POLCA livres para afetar à ordem de fabrico.

As células de produção são mantidas sob controlo de acordo com o número de cartões usados no sistema, uma vez que estes controlam as filas de espera, i.e. a quantidade de trabalhos em curso de fabrico (WIP), nos centros de trabalho.

Os cartões POLCA, ao contrário do que acontece no TKS, não se referem a nenhum produto em particular, mas somente aos pares de centros de trabalho a que pertencem.

O mecanismo POLCA almeja controlar e reduzir os trabalhos em curso e conseqüentemente os *lead times* das fases de produção e ainda, ter um impacto positivo na qualidade, nos custos e no tempo de resposta ao cliente.

Fernandes & Carmo-Silva (2006) propõem uma versão alterada deste mecanismo, designada de *generic* POLCA (gPOLCA). O gPOLCA pretende ser uma adaptação do mecanismo POLCA a ambientes de produção por encomenda do tipo MTO.

Tanto no POLCA como no gPOLCA são necessárias datas de autorização, bem como a atribuição de cartões a pares de centros de trabalho sucessivos no roteiro de fabrico dos trabalhos. No gPOLCA não é necessário gerar uma lista de OF's para cada centro de trabalho, embora possa usar uma data planeada, desejável, de lançamento do trabalho no sistema, visto como um todo.

Fundamentalmente, este mecanismo baseia-se numa carteira de ordens de fabrico, e.g. um planeamento semanal. Além do facto do gPOLCA não necessitar de uma programação explícita das ordens de fabrico em cada centro, a grande diferença entre um e outro mecanismo reside no facto de no POLCA, a autorização da produção em cada fase de fabrico ser intermitente e puxada (*pulled*), por cartões POLCA que vão sendo libertados em cada centro. No caso do gPOLCA, todos os cartões necessários a uma ordem de fabrico são reunidos antes de lançar a ordem em fabrico no sistema. Só então é lançada, fluindo numa lógica empurrada (*pushed*) pelo sistema, de forma a terminar o mais rapidamente a execução da ordem de fabrico. Controla assim a existência de capacidade em toda a cadeia de produção da ordem de fabrico, antes de a lançar, e ao mesmo tempo, acelera a sua fabricação depois do lançamento.

À semelhança do POLCA, o número de cartões permite o controlo do WIP, sendo associados os *lead times*, estabelecidos como admissíveis, em cada fase de fabrico.

O gPOLCA apresenta bons resultados em ambientes produtivos de elevada variabilidade e alteração na mistura de produtos. Este mecanismo assegura a taxa de produção, com reduzidos níveis de WIP e menores *lead times*, comparativamente com o MRP e o POLCA (Fernandes & Carmo-Silva, 2006).

Proposta de mecanismo de controlo no sistema de produção

A proposta aqui apresentada assenta no mecanismo gPOLCA. Propõem-se associar um tipo de cartão a cada par que engloba a preparação e cada uma das linhas de montagem, i.e. cinco cartões diferentes, ilustrados na Figura 45. Para além deste conjunto seria também proposto um tipo de cartão gPOLCA para o par de secções preparação e corte, ilustrado na Figura 46. No total estariam em circulação 6 tipos diferentes de cartões gPOLCA.

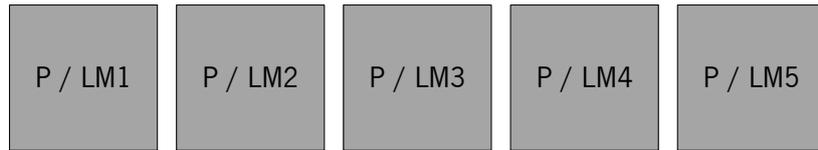


Figura 45: Cartões gPOLCA do tipo preparação/linha de montagem (de 1 a 5)

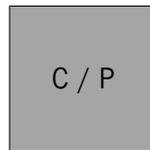


Figura 46: Cartão gPOLCA do tipo corte/preparação

Quando determinada linha de montagem termina um trabalho, liberta o cartão gPOLCA do tipo P/LMi associado ao trabalho, indicando ao corte que a linha *i* está disponível para novos trabalhos. Quando o corte tem disponíveis um cartão do tipo C/P juntamente com um cartão P/LMi, deve associar os mesmos ao trabalho e iniciar a sua produção, i.e. lançando a execução de lote de artigos para a linha *i*. Quando o corte termina o processamento do trabalho disponibiliza-o no *buffer* de entrada da preparação, juntamente com os dois tipos de cartão. A preparação levanta o trabalho com os cartões e processa o trabalho. Quando a preparação termina o processamento do trabalho e o disponibiliza no *buffer* de saída, liberta um cartão do tipo C/P, o cartão do tipo P/LMi continua com o trabalho no *buffer* de saída. A linha de montagem levanta o trabalho com o cartão P/LMi associado e processa-o. Quando a montagem termina o processamento do trabalho, liberta o cartão do tipo P/LMi que lhe estava associado. Este cartão do tipo P/LMi vai juntar-se a um cartão do tipo C/P e serão enviados para o corte, mostrando novamente a este, a disponibilidade de processamento de trabalho na linha correspondente, i.e. linha *i*.

O cartão do tipo C/P indica ao corte que a preparação tem disponibilidade. O cartão do tipo P/LMi indica ao corte que a linha de montagem *i* tem disponibilidade. O corte precisa ter o conjunto dos dois cartões para saber que tanto a preparação como a montagem têm disponibilidade e para perceber para que linha de montagem deve lançar trabalho.

Os cartões gPOLCA do tipo P/LMi são transmitidos ao corte, e posteriormente do corte para a preparação, numa lógica FIFO. Assim, a sequência de lançamentos de trabalho para produção é dada pela sequência de consumo da montagem, e.g.: P/LM1 → P/LM3 → P/LM1 → P/LM5, significa que o primeiro trabalho a processar é para a LM1, o segundo trabalho será para a LM3, posteriormente LM1 e por fim a LM5.

Os trabalhos são lançados para a produção tendo em conta o planeamento semanal, no qual são indicados os produtos a fabricar em cada linha de montagem, com as respetivas quantidades. Os trabalhos são lançados pela disponibilidade de cartões e seguindo o planeamento semanal, respeitando assim as duas condições previstas no gPOLCA. Contrariamente à segunda configuração adotada na empresa, relatada na secção 4.2.5.2., o corte deverá ter conhecimento dos objetivos de produção semanais por linha de montagem, tal como a preparação ou a montagem.

O número de cartões gPOLCA em circulação no sistema é definido considerando as OF's planeadas nas respetivas datas. Inicialmente pode-se proceder à simulação computacional do comportamento do sistema e assim determinar o número de cartões em circulação. Outra opção, é a de testar num curto período de tempo este mecanismo no sistema produtivo, com um número relativamente elevado de cartões e posteriormente, retirar cartões ao sistema, até encontrar o número ideal para funcionamento. Equilibrando os trabalhos em curso com o tempo de fabrico de cada lote, acelerando tanto quanto possível o prazo de fabrico, mas sem provar roturas de alimentação da preparação e da montagem.

Uma vez que o corte se situa no andar inferior, poderá ser estipulado que sempre que há uma acumulação de um determinado número de cartões gPOLCA estes devem ser remetidos ao corte.

As estantes do *buffer* de entrada e saída da preparação estão organizadas por linha de montagem, assim torna-se perceptível que trabalho está associado a que linha de montagem.

O sistema descrito encontra-se ilustrado na Figura 47. A estratégia de controlo de fluxo de materiais é puramente *push*.

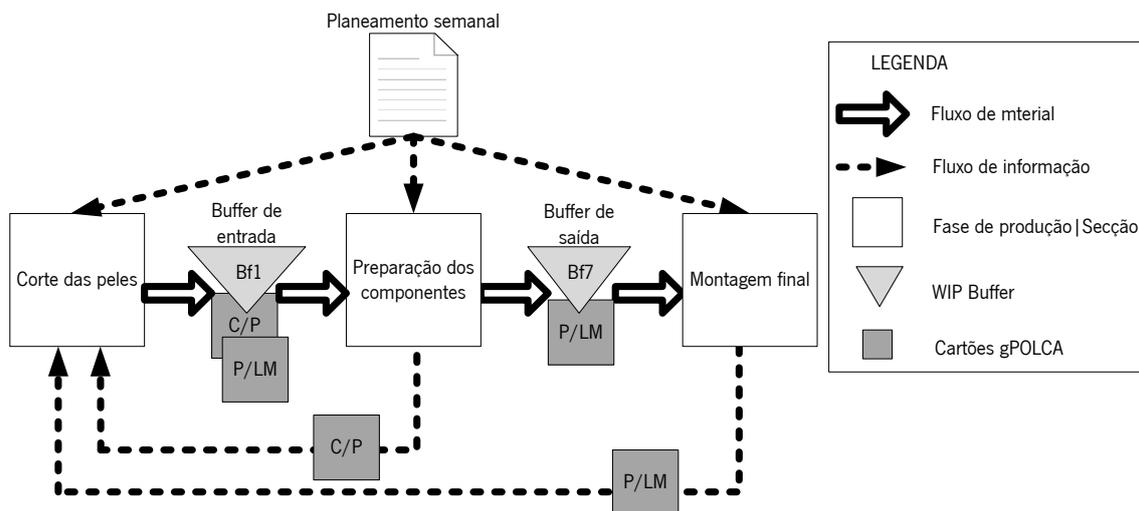


Figura 47: Configuração proposta para o controlo intercelular da atividade produtiva

Benefícios esperados da proposta apresentada

A utilização de cartões gPOLCA elimina a subjetividade e a entropia no sistema de decisão das prioridades de lançamento de trabalho na preparação. A sequência do fluxo de cartões gPOLCA que chegam ao corte e posteriormente à preparação, determina por si só a disponibilidade da montagem, tornando-se desnecessário olhar ao número de caixas no *buffer* de saída da preparação como acontece com as três configurações já adotadas na empresa.

Este é um sistema simples e intuitivo para o operador que lança os trabalhos no corte e na preparação, ao contrário da robustez apresentada pelos sistemas de decisão da primeira e segunda configuração, descrita anteriormente.

O corte e a preparação produzem o que a montagem necessita. A coordenação entre as três secções será garantida com este sistema, um vez que o corte e a preparação apenas produzem quando a montagem está disponível para processar determinado trabalho num futuro próximo.

O facto da empresa trabalhar com grande diversidade de artigos dá vantagens aos cartões gPOLCA sobre aos cartões *kanban*. Algumas das vantagens dos cartões gPOLCA apresentam perante os cartões *kanban* nesta situação são:

- Os cartões gPOLCA são um sinal de capacidade das células a jusante do corte, enquanto que um cartão do tipo *kanban* seria um sinal de reposição de *stock* de um produto específico.
- Se a célula a jusante não disponibilizar o cartão significa que está ocupada com trabalho evitando assim a acumulação de WIP e consequentemente acréscimo incontrolado dos tempos em curso de fabrico dos artigos no sistema, i.e. criando variações indesejáveis nos *lead time* de fabrico dos lotes. Este tipo de situação permite nivelar o inventário em situações em que a montagem tem problemas de qualidade e necessita por exemplo retrabalho.
- Produzir trabalho destinado apenas a uma célula aumenta o inventário no sistema, uma vez que algures a jusante há falta de capacidade para processar este trabalho. Os cartões gPOLCA permitem que o corte e a preparação possam absorver a elevada mistura de artigos que as diferentes linhas de montagem necessitam.
- Os cartões gPOLCA tornam-se mais adequados para ambientes de alta variabilidade como no caso da empresa em estudo, uma vez que são cartões dedicados a pares de células e não a artigos concretos.
- Os cartões gPOLCA fluem entre pares de células e não entre centros de trabalhos, evitando assim o acumular e manuseamento de grande número de cartões ao longo do sistema.
- Embora os produtos finais possam ser agrupados em famílias o seu tempo de processamento pode variar, devido ao tipo de pele, ao tipo de cor que pode requerer diferentes tipos de processamento, ou seja, torna-se inviável trabalhar com o *takt time* calculado minuciosamente, tal como a utilização de cartões *kanban* implica. Nesta situação de alta variabilidade faz mais sentido estimar a capacidade usando a carga agregada dos vários trabalhos, uma vez que a ocupação dos recursos e os *bottleneck* variam de dia para dia, daí a utilização de cartões gPOLCA fazer mais sentido.
- Por considerar pares de células e ligações sobrepostas entre os pares, cada célula percebe a carga a montante e a jusante, o que permite que a célula possa reagir às variações na carga de trabalho e equilibrar a sua capacidade da melhor forma possível tendo em conta a mistura real.

Vantagens da aplicação do mecanismo gPOLCA perante o POLCA, na situação aqui descrita:

- Maior simplicidade e flexibilidade por não necessitar programação detalhada por centro de trabalho de um programa do tipo MRP.
- Não se torna necessário criar uma lista de trabalhos autorizados em cada centro de trabalho, beneficiando da adaptabilidade inerente aos mecanismos *push*. Ao disponibilizar a lista de OF's no planeamento semanal é a montagem quem dita o que produzir e “puxa” os trabalhos desde o corte, i.e. autoriza o corte a lançar os trabalhos, que são então empurrados até à montagem.
- Independentemente da variedade e imprevistos que possam surgir na mistura de artigos da procura, o gPOLCA funciona por si só com a utilização de cartões, não necessitando uma lista detalhada por centro de trabalho.

- gPOLCA assegura a existência de capacidade em toda a cadeia de produção, para o artigo cuja autorização de lançamento existe, e não somente no par de células onde o trabalho se encontra, correspondente ao cartão, como no POLCA.
- No gPOLCA o cartão pertence a um par de células, e.g. corte/preparação. O cartão permanece com o trabalho desde que entra no sistema de pares de células até que termina o processamento na última célula do par, sendo posteriormente libertado, e.g. o cartão do tipo C/P é libertado para o corte quando o trabalho a que está associado termina o processamento na preparação. No POLCA o cartão apenas é libertado quando a célula posterior no fluxo de materiais levanta o trabalho, e.g. o cartão do par corte/preparação só seria libertado quando a montagem levantasse o trabalho.

A implementação do mecanismo gPOLCA conjugado com um bom balanceamento e definição adequada de modos operatórios previsivelmente trarão melhorias para o sistema, na utilização dos meios de produção, no controlo do fluxo de materiais do trabalho e no seu desempenho em geral.

5.4. Síntese das propostas de melhoria

Ao longo do presente capítulo foram apresentadas várias propostas que pretendem melhorar o desempenho do sistema produtivo. Procura-se simplificar a configuração do sistema, por forma a melhor sincronizar a produção e a procura, para uma boa utilização dos meios produtivos. A Tabela 28 resume as propostas efetuadas para a eliminação dos desperdícios identificados anteriormente. Algumas das propostas foram já implementadas na empresa em estudo e outras surgem como propostas para implementação futura. Estas propostas vão de encontro aos desperdícios já levantados na Tabela 6 da secção 4.3..

O tempo necessário para implementação das ações referidas, inclui a fase de estudo ou análise da situação, a recolha e tratamento de dados, o desenvolvimento das várias possibilidades de solução, a seleção da melhor proposta e por fim, a fase de implementação na empresa. Posteriormente à implementação das propostas decorreu o acompanhamento e suporte do projeto, na qual são recolhidos novos dados e perspetivas para perceber qual o impacto que este teve sobre o sistema.

Os últimos desperdícios indicados na Tabela 28, nomeadamente com a referência S, T e U, são pontos que não foram resolvidos com as principais propostas que surgem nesta dissertação. No entanto, a eliminação destes desperdícios permite obter melhores resultados das principais propostas aqui discutidas.

Tabela 28: Propostas de melhoria para os desperdícios do sistema produtivo

Ref. ^a	Proposta	Descrição	Imp.	Tempo necessário
A	Configuração organizacional da preparação	Com a nova configuração da preparação em células de tecnologia de grupo, há informação clara de que componente vai para que célula de preparação e consequentemente, em que conjunto de máquinas deverá ser processado e que operações deverá realizar.	C	1 mês
B	Configuração organizacional da preparação	A nova configuração da preparação em células de tecnologia de grupo, aliada à replicação de alguns recursos também por necessidade da carga, permitiu evitar todos os fluxos inversos e reduzir os transpostos. Assim, os tempos mortos onde não há valor acrescentado ao produto, são reduzidos.	C	1 mês
C	Configuração organizacional da preparação	Utilização de estantes inclinadas nos <i>buffers</i> Bf2, Bf3, Bf4 e Bf5, permite o fácil escoamento dos trabalhos, permitindo respeitar o FIFO e portanto, a fácil perceção dos próximos trabalhos a processar.	C	2 semanas
D	Configuração organizacional da preparação – metodologia 5S	A aplicação da metodologia 5S nos postos de trabalho da preparação possibilitou a organização dos postos de trabalho, permitindo respeitar simultaneamente níveis máximos de WIP e a lógica FIFO ao longo das células de preparação.	C	1 mês
E	Configuração organizacional da preparação	No mês antes da reimplantação o tempo de ciclo da preparação era superior ao tempo de ciclo da montagem (sua cliente). Após reimplantação, o tempo de ciclo na preparação (45,82 seg./componente) passou a ser ligeiramente inferior ao tempo de ciclo da montagem (48,04 seg./componente). Adicionalmente o tempo de ciclo da preparação reduziu de 58,09 segundos por componente, para 45,82 segundos por componente, redução de 21,12%. Esta redução garante que a preparação consegue responder aos pedidos da montagem no período de tempo pretendido.	C	1 mês
F	Configuração organizacional e operacional da preparação	A proposta de configuração aliada ao balanceamento dos postos de trabalho e definição do modo operatório na preparação, permitem a correta definição dos fluxos de material e ocupação dos recursos.	C	2 meses
G	Configuração organizacional e operacional da preparação	O correto dimensionamento dos <i>buffers</i> Bf2, Bf3, Bf4, Bf5 e Bf6 aliado ao modo operatório que atribui um operador a um conjunto de operações e não a um tipo de componente, permite o mais rápido escoamento de trabalhos. O WIP passa a ser usualmente de 16 caixas (i.e. lotes) na preparação, verificando-se constante redução ao longo do tempo.	C	2 meses
H	Configuração operacional da preparação	Recolha dos tempos por cronometragem e posterior desenvolvimento de um modelo dinâmico que permite estimar o número de operadores necessários na preparação, e em cada célula, tendo em conta a procura.	C	1 mês

I	Configuração operacional da preparação	Definição de um modo operatório claro e único entre todos os operadores de todas as células. Estimativa da carga de trabalho de cada operador, através de um modelo de definição e balanceamento dos postos de trabalho.	E	1 mês
J	Configuração operacional da preparação	O modelo de balanceamento garante a definição de postos de trabalho para os operadores, bem como a carga destes perante determinada tarefa.	C	1 mês
K	Configuração organizacional da preparação e mecanismo de coordenação e prioridade	As caixas são numeradas por OF desde o corte e são consumidas ao longo do sistema produtivo numa lógica FIFO, garantindo assim o término atempado de OF's. As possíveis OF's em atraso numa semana, são consideradas no planeamento da semana seguinte.	C	1 mês
L	Configuração organizacional da preparação e mecanismo de coordenação e prioridade	Implementar o FIFO nos <i>buffers</i> entre o corte/preparação, ao longo da preparação e entre preparação/montagem. Numerar as caixas por OF e seguir essa ordem de consumo de caixas, ao longo de todo o sistema produtivo. Estes processos são facilitados pela TG.	C	1 mes
M	CAP proposto.	Poderá ser estipulado que sempre que há uma acumulação de um determinado número de cartões gPOLCA, estes devem ser remetidos ao corte. Esta análise deverá ser tida em conta no processo, real ou teórico, da simulação do comportamento do sistema com cartões gPOLCA.	E	1 mês
N	CAP proposto	O operador da preparação deve lançar os trabalhos pela ordem com que os cartões gPOLCA associados a eles, chegam a esta secção, uma vez que essa foi a ordem com que o corte recebeu os pedidos por parte da montagem.	E	1 mês
O	Configuração organizacional e mecanismo de coordenação e prioridade	Numerar as caixas por OF, e.g. uma OF tem 30 caixas a primeira caixa é o número 1/30. A folha de auto-controlo (que identifica os artigos e o lote) deve acompanhar as caixas desde o corte até à montagem. O <i>buffer</i> Bf6 garante que os componentes são alocados ao respetivo lote no processo de agrupamento, pois este tem cinco estantes, uma por cada linha de montagem.	C	2 semanas
P	Mecanismo de coordenação e prioridade e CAP proposto	Com a utilização de cartões gPOLCA e a sua priorização segundo a lógica FIFO, as três secções estão coordenadas com os pedidos da montagem.	E	1 mês
Q	Mecanismo de coordenação e prioridade e CAP proposto	CAP proposto, aliado ao respeito da lógica FIFO e à numeração dos lotes de fabrico por OF.	E	1 mês

R	CAP proposto e VSM	A introdução do VSM permite uma visão geral do tempo em curso de fabrico dos artigos desde que chegam até que saem da empresa. A solução na redução do tempo em curso de fabrico, passa por aproveitar as vantagens de um CAP adequado ao melhor escoamento das OF's e planeamento semanal. O tempo mais crítico de estadia na empresa são os 264000 segundos (5 dias) de estadia da matéria-prima e os 211200 segundos (4 dias) de estadia dos produtos acabados. Numa primeira fase, poderá atingir-se o tempo total em curso de fabrico, i.e. <i>lead time</i> de 132000 segundos (Figura 48), principalmente pela redução do tempo de estadia dos produtos finais na empresa.	E	1 mês
S	Gestão visual	Implementar gestão visual na identificação das ferramentas de corte.	E	2 semanas
T	Outros	Implementar o registo do aproveitamento de pele e sintéticos no corte, por código de artigo e por OF.	C	2 meses
U	Outros	Usar o método de Taguchi para determinar os parâmetros ótimos das máquinas por tipo de pele e tipo de componente - mais informação sobre este método por Dura & Isac (2009). Trabalhar com manutenção preventiva e não corretiva.	C	1 mês
Imp. = Implementação C = Implementação concluída E = Implementação em espera				

As propostas vão de encontro a todos os tipos de desperdício levantados no VSM. Uma vez aplicadas todas estas propostas espera-se que o sistema possa apresentar melhores desempenhos, nomeadamente na redução do WIP e do *lead time* e maior estabilidade da ocupação dos recursos. São sobretudo as propostas na configuração do CAP, a configuração organizacional da preparação em células de tecnologia de grupo, a proposta de balanceamento e definição dos modos operatórios que permitem melhorar o desempenho do sistema.

Compilando todas as propostas efetuadas, espera-se que o VSM do estado futuro seja o ilustrado na Figura 48. Os tempos de ciclo da montagem e preparação são os reais verificados no último período da realização deste estudo. No estado futuro espera-se que o tempo de ciclo do corte seja inferior ao da preparação, sua cliente. Espera-se que o tempo total em curso de fabrico – *lead time* – passe de 528000 segundos para 132000 segundos, uma redução de 75%. O tempo total de valor acrescentado deverá reduzir em 67%, de 210,97 segundos para 69,34 segundos

De forma satisfatória, prevê-se que a proporção do tempo total de valor acrescentado em relação ao tempo total em curso de fabrico aumente de 0,040% (210,97 segundos/528000 segundos) para 0,053% (69,34 segundos /132000 segundos).

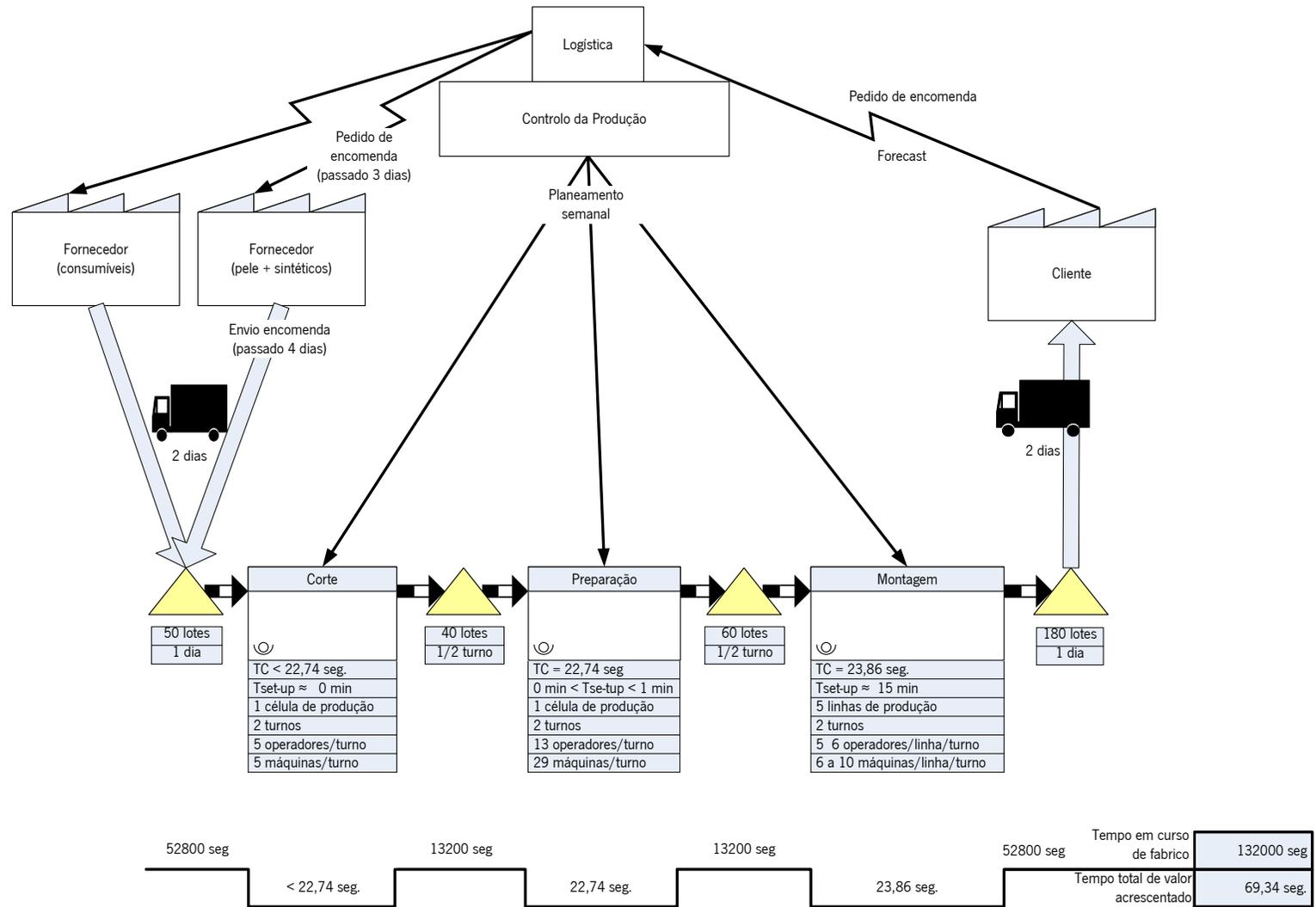


Figura 48: Value stream mapping, configuração futura

6. Conclusões e trabalho futuro

A organização e controlo da produção são duas áreas de atuação que nas empresas de manufatura influenciam largamente o desempenho produtivo, quer a nível do uso eficiente dos recursos, quer a nível da eficácia empresarial, principalmente no que se refere ao nível do serviço ao cliente.

Este trabalho centrou-se nas duas áreas referidas e foi aplicado numa empresa de manufatura de produtos de pequena marroquinaria. Devido à sua fase de instalação e de crescimento acentuado da empresa, planeado para os próximos três anos, os problemas de organização e controlo da produção são mais prementes, sendo também mais abundantes as oportunidades de aplicação de métodos e práticas de Engenharia e Gestão Industrial – a área de conhecimento explorada neste projeto.

É neste contexto que o trabalho desenvolvido se distribui e alarga nas vertentes de reorganização industrial e estudo de procedimentos de operação e controlo de sistemas de produção. Assim, perante a necessidade de reorganizar a produção, principalmente na transformação de componentes para a montagem, foi desenvolvida uma metodologia, para reorganização do sistema de produção, baseada na teoria, suficientemente abrangente para cobrir as várias fases, desde o estudo à obtenção de soluções organizativas e sua implementação. Esta metodologia permitiu a formação de células de tecnologia de grupo, a sua organização interna e ainda a sua implantação intra e intercelular para responder às necessidades de produção. Estas necessidades exigem a sincronização do fluxo de produção nas células de forma a congregar e coordenar a produção em cada célula, para a formação de *kits* de componentes para a montagem em lotes de 30 unidades de produtos idênticos. Sendo os produtos a montar altamente diversificados, em modelos, cores e materiais, uma má coordenação resultaria em perturbação dos fluxos desejáveis de produção, em perdas de *output* e ineficácia no alcance de objetivos, como ainda em perdas de eficiência. Por isso o processo de coordenação da produção intercelular foi estudado tendo-se apresentado propostas.

São vários os benefícios que a reconfiguração da preparação, nas vertentes da sua organização e modo de operação, trouxe à empresa. São de realçar uma maior estabilidade conseguida na ocupação dos recursos e uma aproximação a níveis máximos de utilização dos recursos. Bons níveis de produtividade foram também assegurados juntamente com um bom serviço ao cliente, principalmente no que se refere à fiabilidade das entregas nas datas e quantidades encomendadas. Foi feita a aquisição de algum equipamento sobre os quais se prevê o reembolso em 23 meses, resultante apenas da redução conseguida de 45,67% nos custos de movimentação de materiais.

Face às exigências de desempenho foi identificada a necessidade de realizar o balanceamento e estabelecer modos operatórios para as células na secção de preparação. Assim, é proposto um modelo dinâmico que permite o balanceamento das células de preparação consoante a produção de cada turno. O modo operatório que parece melhor satisfazer as necessidades de produção e que melhor se conjuga com o modelo de balanceamento proposto, é um híbrido dos modos conhecidos como *working balance* e *bucket brigades*.

As prioridades no lançamento da produção na preparação são determinantes para o bom funcionamento do sistema, e naturalmente dependentes das necessidades de montagem indexadas ao programa de

produção e da disponibilidade de material por parte do corte. Assim, o controlo da atividade produtiva em geral e dos lançamentos de trabalho em todas as fases de produção foram estudados tendo-se analisado e testado algumas configurações. Aparentemente, as configurações não se tornaram suficientemente atrativas face à necessidade de boa coordenação dos fluxos e priorização dos lançamentos. Assim, a proposta de uma nova configuração baseada no mecanismo *generic Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization* (gPOLCA) foi apresentada. O mérito desta configuração é o seu potencial para a boa coordenação e controlo da produção em simultâneo nas três fases de produção, i.e. corte, preparação e montagem, na aproximação do fluxo de produção a um fluxo quase contínuo, ajustado ao programa de produção semanal. Embora, não tenha sido possível implementar esta proposta de controlo, no decurso deste projeto, há elevadas expectativas quanto ao seu sucesso pelas razões apresentadas no texto da dissertação, na seção 5.3. e 5.4.. De facto, esta configuração de CAP deverá eliminar as paragens nas linhas de preparação e montagem por falta de material nos seus *buffers*, reduzirá a frequência de mudança de *set-up* em todo o sistema (com maior impacto na montagem pois possui tempo de mudança de *set-up* médio de 15 minutos) e facilita o escoamento do trabalho em curso.

Pela utilização da ferramenta *Value Stream Mapping* (VSM) prevê-se que as diversas propostas de melhoria permitam a redução do tempo total em curso em 75% e do tempo total de valor acrescentado em 67%. A proporção que o tempo total de valor acrescentado representa no tempo total em curso de fabrico, aumenta satisfatoriamente de 0,040% para 0,053%.

O trabalho estendeu-se, ainda que de forma moderada, à sensibilização e contribuição com aspetos ergonómicos, organização dos postos de trabalho (pela aplicação dos 5S) e motivação dos operadores.

Deve ser realçado que todas as propostas apresentadas resultaram de diálogo e interação na prática, com operadores e gestores de produção, e ainda da colaboração da orientação tida na empresa e na Universidade do Minho.

Pode dizer-se que o problema e objetivos do projeto de investigação foram cabalmente alcançados. Deu-se uma contribuição importante para a melhoria da organização e para o bom funcionamento da atividade produtiva da empresa.

Trabalho Futuro

A implementação do modo operatório proposto das células e a adoção da configuração de CAP baseada no gPOLCA, são passos prioritários na melhoria continuada e no desempenho do sistema produtivo. Para tal, e para evitar perturbação de funcionamento do sistema produtivo real poderá ser usada a simulação por computador para estudar o comportamento e as necessidades do mecanismo.

Propõem-se como trabalho futuro dar seguimento aos vários projetos definidos no VSM para a eliminação de fontes de desperdício já identificadas.

Bibliografia

- Agrawal, A. K., Bhardwaj, P. & Srivastava, V., 2011. Ant colony optimization for group technology applications. *International Journal of advanced Manufacturing Technology*, Volume 55, n.º 5-8, pp. 783-795.
- Agustín-Blas, L. E. et al., 2011. Team formation based on group technology: A hybrid grouping genetic algorithm approach. *Computers & Operations Research*, Volume 38, n.º 2, p. 484–495.
- Ahi, A., Aryanezhad, M. S., Ashitiani, B. & Makui, A., 2009. A novel approach to determine cell formation, intracellular machine layout and cell layout in the CMS problem based on TOPSIS method. *Computers & Operations Research*, Volume 36, pp. 1479-1496.
- Alves, A. C., 2007. *Projecto dinâmico de sistemas de produção orientados ao produto*, Universidade do Minho, Portugal: Tese de Doutoramento em Engenharia de Produção e Sistemas.
- Alves, A. C., Silva, S. C. & Lima, R. M., 2003. Sistemas de produção orientados ao produto : integrando células e pessoas. *CITEPE - Artigos em revistas nacionais com arbitragem científica*, pp. 1-16.
- Aneke, N. A. G. & Carrie, A. S., 1986. A design technique for the layout of multi-product flowlines. *International Journal of Production Research*, Volume 24, pp. 471-481.
- Arcus, A. L., 1966. COMSOAL: A Composition Method of Sequencing Operations for Assembly Lines. *International Journal of Production Research*, Volume 4, n.º 4.
- Armbruster, D., Gel, E. S. & Murakami, J., 2007. Bucket brigades with worker learning. *European Journal of Operational Research*, Volume 176, n.º 1, p. 264–274.
- Arvindeh, B. & Irani, S. A., 1994. Cell formation: the need for an integrated solution of the problems. *International Journal of Production Research*, Volume 32, n.º 5.
- Askin, R. & Subramanian, S., 1987. A cost-based heuristic for group technology configuration. *International Journal of Production Research*, Volume 25, n.º 1, pp. 101-114.
- Baker, K. B., 1974. *Introduction to sequencing and scheduling*. s.l.:John Wiley & Sons.
- Ballakur, A., 1986. *Streamlining material flows for just-in-time applications*. Boston, Fall Industrial Engineering Conference, pp. 51-56.
- Banerjee, I. & Das, R., 2012. Group technology based adaptive cell formation using predator – prey genetic algorithm. *Applied Soft Computing*, Volume 12, n.º 1, pp. 559-572.
- Bartholdi, J. J., Bunimovich, L. A. & Eisenstein, D. D., 1999. Dynamics of two- and three- worker "bucket brigade" production lines. *Operations Research*, Volume 47, n.º 3, pp. 488-491.
- Bartholdi, J. J. & Eisenstein, D. D., 1996. A production line that balances itself. *Operations Research*, Volume 44, n.º 1, pp. 21-34.

- Bartholdi, J. J., Eisenstein, D. D., Jacobs-Blecha, C. & Ratliff, H. D., 1995. *Design of bucket brigades production lines*. [Online] Available at: http://www2.isye.gatech.edu/people/faculty/John_Bartholdi/bucket-brigades/papers/tss.pdf [Acedido em 09 2012].
- Baudin, M., 2003. *From operator job design to task assignment in daily operations*. Eds. D. N. Sormaz and G. A. Suer, Columbus, Ohio, USA, In Proceedings of the Group Technology and Cellular Manufacturing, World Simposium 2003.
- Bauer, A. et al., 1994. *Shop floor control systems: from design to implementation*. s.l.:Chapman & Hall.
- Bedworth, D. D. & Bailey, J. J., 1987. *Integrated production control systems*. s.l.:John Wiley & Sons.
- Bergamaschi, D., Cigolini, R., Perona, M. & Portioli, A., 1997. Order review and release strategies in a job shop environment: a review and classification. *International Journal of Production Research*, Volume 35, n.º 2, pp. 339-420.
- Bidanda, B. et al., 2005. Human related issues in manufacturing cell design, implementation, and operation a review and survey. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 48, pp. 507-523.
- Black, J. T., 1991. *The design of the factory with a future*. s.l.:McGraw-Hill.
- Black, J. T. & Chen, J. C., 1995. The role of decouplers in JIT pull apparel cells. *International Journal of Clothing Science and Technology*, Volume 7, n.º 1.
- Black, J. T. & Kohse, R. A., 2011. *DeGarmo's materials and processes in manufacturing*. 11ª ed. USA: John Wiley & Sons.
- Black, J. T. & Schroer, B. J., 1988. Decouplers in Integrated Cellular Manufacturing Systems. *Journal of Engineering for Industry*, Volume 110.
- Black, J. T. & Schroer, B. J., 1994. Simulation of an apparel assembly cell with walkig workers and decouplers. *Journal of Manufaturig Systems*, Volume 12, n.º 2.
- Bluedorn, A. C., 1982. The theories of turnover: causes, effects, and meaning. *Research in the Sociology of Organizations*, Volume 1, n.º 75, p. 128.
- Blum, F., 1955. Action research - a scientific approach?. *Philosophy of Science*, Volume 22, n.º 1, pp. 1-7.
- Bonney, M. C. et al., 1999. Are push and pull systems really so different?. *International Journal of Production Economics*, Volume 59, pp. 53-64.
- Bonvik, A. M., Couch, C. & Gershwin, S. B., 1997. A comparison of production-line control mechanisms. *International Journal of Production Research*, Volume 35, n.º 3, pp. 789-804.
- Bradford, M. J., 2001. Repetitive manufacturing: benefits, benefits. *IIE Solutions*, Volume 33, pp. 38-43.
- Breithaupt, J., Land, M. & Nyhuis, P., 2002. The workload control concept: theory and practical extensions of load-oriented order release. *Production Planning & Control*, Volume 13, n.º 7, pp. 625-638.

- Browne, J., Harhen, J. & Shivnan, 1988. *Production management systems – A CIM perspective*. s.l.:Addison-Wesley Pub. Co..
- Buffa, E. S., Armour, G. C. & Vollmann, T. E., 1962. Allocating facilities with CRAFT. *Harvard Business Review*, Volume 42, pp. 136-58.
- Burbidge, J. L., 1968. *The principles of production control*. 2ª ed. London: Mac Donald Evand LTDA.
- Burbidge, J. L., 1971. Production flow analysis. *The Production Engineer*, Volume 50, pp. 139-152.
- Burbidge, J. L., 1975. *The introduction of group technology*. London: Heinemann.
- Burbidge, J. L., 1990. Production control: a universal conceptual framework. *Taylor & Francis*, Volume 1, pp. 3-16.
- Burbidge, J. L., 1994. The use of period batch control (PBC) in the implosive industries. *Production Planning & Control*, Volume 5, n.º 1, pp. 97-102.
- Carmo-Silva, S., 1988. *An investigation into tooling requirements and strategies for FMS operation*, LUT, UK: PhD Thesis.
- Carmo-Silva, S., 2008. *Textos e elementos de apoio - organização de sistemas de produção I - V01.08*, Braga: Publicação interna, Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho.
- Carmo-Silva, S. & Alves, A. C., 2004. *A framework for understanding cellular manufacturing systems*. Kluwer, London, Ferreira, J. J. P. E (editor), *Manufacturing: Business Paradigms and Supporting Technologies*, ISBN: 1-4020-7654-1, 2004 Chap. 17, pp.163-172.
- Carmo-Silva, S., Alves, A. C. & Costa, M., 2005. A computer aided design system for product oriented manufacturing systems reconfiguration. *Intelligent Production Machines and Systems*, Volume 1428.
- Carmo-Silva, S., Alves, A. C. & Moreira, F., 2006. *Linking production paradigms and organizational approaches to production systems*. s.l., Intelligent Production Machines and Systems (Proceedings of the 2nd I*PROMS Virtual International Conference).
- Carmo-Silva, S., Morais, M. C. & Fernandes, F. A., 2012. A practical methodology for cellular manufacturing systems design - an industrial study. *Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics*, Volume 41, pp. 113-118.
- Chandrasekharan, M. P. & Rajagopalan, R., 1986. An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, Volume 24, n.º 2, pp. 451-463.
- Chang, T. M. & Yih, Y., 1994. Generic kanban systems for dynamic environment. *International Journal of Production Research*, Volume 32, n.º 4, pp. 889-902.
- Chan, H. M. & Milner, D. A., 1982. Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 1, n.º 1, pp. 65-74.
- Chapman, C. D., 2005. *Clean house with lean 5S. Quality progress*. [Online] Available at: [iiquality.com](http://www.iiquality.com) [Acedido em 09 2012].

- Checkland, P., 1981. *Systems thinking, systems practice*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Chen, M. & Cao, D., 1998. Flexible production systems for the apparel and metal working industries: a contrast study on technologies and contributions. *International Journal of Clothing Science and Technology*, Volume 10, n.º 1, pp. 11-20.
- Chiang, S. Y., Kuo, C. T. & Meerkov, S. M., 1998. Bottlenecks in markovian production lines: a systems approach. *IEEE*, 14, n.º 2(Transactions on robotics and automation), pp. 352-359.
- Clark, A. J. & Scarf, H., 1960. Optimal policies for the multi - echelon inventory problem. *Management Science*, Volume 4, n.º 4, pp. 475-490.
- Courtois, A., Martin-Bonnefous, C. & Pillet, M., 2007. *Gestão da produção*. 6ª ed. Lisboa: Lidel - edições técnicas, lda..
- Croci, F. & Pozzetti, A., 2000. OPT scheduling performances: a case study. *Production Planning & Control*, Volume 11, n.º 1, pp. 82-89.
- Dagli, C. & Huggahalli, R., 1994. Machine-part family formation with the adaptive resonance theory paradigm. *International Journal of Production Research*, Volume 33, n.º 4, pp. 893-913.
- Dale, B. & Willey, P., 1980. How to predict the benefit of group technology. *Production Engineer*, Volume 59, n.º 2, pp. 51-54.
- Dias, I. A., 2004. *Flexibilidade e polivalência funcional: mitos e realidades no portugal dos anos 90*, Lisboa: PhD Thesis. Universidade Técnica de Lisboa.
- Dunlap, G. C. & Hirlinger, C. R., 1983. Well planned coding, classification system offers company-wide synergistic benefits. *Industrial Engineering*, Volume 15, n.º 1, pp. 78-83.
- Dura, C. & Isac, C., 2009. Using Taguchi methods to improve the production process quality: a case study. *Total Quality Management & Business Excellence*, Volume 20, n.º 20, p. 1189–1212.
- Durie, F. R. E., 1970. A survey of group technology and its potential for user application in the UK. *Production Engineer*, Volume 49, n.º 2, pp. 51-61.
- Eckert, R. L., 1975. Codes and classification systems. *American Machinist*, Issue Society of Manufacturing Engineers, pp. 88-92.
- Edwards, G. A. B., 1971. The family grouping philosophy. *International Journal of Production Research*, Volume 9, n.º 3, pp. 337-353.
- Elanchezhan, C., Selwin, T. S. & Sundar, G. S., 2007. *Computer aided manufacturing*. New Delhi: Laxmi publications Ltd..
- Fazakerlay, G. M., 1974. Group technology: social benefits and social problems. *Production Engineer*, Volume 53, n.º 10, pp. 383-386.
- Fernandes, F. C. F. & Filho, M. G., 2011. Production control systems: literature review, classification and insights regarding practical application. *African Journal of Business Management*, Volume 5, pp. 5573-5582.

- Fernandes, N. O. & Carmo-Silva, S., 2005. *A generic workload control model for order release and workflow control*. Fisciano, 18th International Conference on Production Research.
- Fernandes, N. O. & Carmo-Silva, S., 2006. Generic POLCA: a production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing. *International Journal of Production Economics*, Volume 104, n.º 1, pp. 74-84.
- Ferrance, E., 2000. *Action research*, publicação interna: The Education Alliance, Brown University.
- Filho, G. M. & Fernandes, F. C. F., 2009. A practical method to reduce nervousness and improve performance in MRP systems: proposal, implementation, and results. *Prod. Invent. Management*, Volume 45, n.º 2, pp. 65-79.
- Framinan, J. M., González, P. L. & Ruiz-Usano, R., 2003. The CONWIP production control system: review and research issues. *Production Planning & Control*, Volume 14, n.º 3, pp. 255-265.
- Gallagher, C. C. & Knight, W. A., 1973. *Group technology*. Butterworth ed. London: s.n.
- Gelders, L. F. & Wassenhove, L. N., 1985. Capacity planning in MRP, JIT and OPT: a critique. *Engineering Costs and Production*, Volume 9, pp. 201-209.
- Geraghty, J. & Heavey, C., 2004. A comparison of hybrid push/pull and CONWIP/pull production inventory control policies. *International Journal of Economics*, Volume 91, n.º 1, pp. 75-90.
- Gilbreth, F. B. & Gilbreth, L. M., 1973. *Motion study for the handicapped*. s.l.:Hive Pub. Co. (Easton Pa).
- Glasse, C. R. & Resende, M. G. C., 1988. A closed-loop job release control for VLSI circuit management. *IEEE*, 1(Trans. Semiconduct. Manuf.), pp. 36-46.
- González-R, P., Framinan, J. M. & Ruiz-Usano, R., 2010. A multiobjective comparison of dispatching rules in a drum-buffer-rope production control system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Volume 23, n.º 2, pp. 155-167.
- Greene, J. H., 1997. *Production and inventory control handbook*. EUA: McGraw-Hill.
- Greene, T. J. & Sadowski, R. P., 1983. Cellular manufacturing control. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 2, n.º 2, pp. 137-145.
- Greif, M., 2000. *L'usine s'affiche*. s.l.:Editions d'organisation.
- Hautaniemi, P. & Pirttilä, T., 1999. The choice of replenishment policies in an MRP environment. *International Journal Production Economics*, Volume 59, pp. 85-92.
- Hayes, R. H. & Wheelwright, S. G., 1979b. The dynamics of process-product life cycles. *Harvard Business Review*, Volume 57, n.º 2, pp. 127-136.
- Helgeson, W. B. & Birnie, D. P., 1961. Assembly line balancing using the ranked positional weight technique. *Journal of Industrial Engineering*, Volume 12, p. 394-398.
- Hendry, L. C. & Kingsman, B. G., 1991. A decision support system for job release in make-to-order companies. *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 11, n.º 6, pp. 6-16.

- Herzberg, F., 1964. The motivation-hygiene concept and problems of manpower. *Personnel Administration*, Volume 27, n.° 1, pp. 3-7.
- Hignett, S. & McAtamney, L., 2000. Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, Volume 31, n.° 2, p. 201-205.
- Hill, J. E., 1991. *Flexible manufacturing systems*. Atlanta, GA, Proceedings of the 18th International Apparel Research Conference.
- Hitomi, K., 1979. *Manufacturing systems engineering - a unified approach to manufacturing technology and production management*. London: Taylor & Francis.
- Hodgson, T. J. & Wang, D., 1991. Optimal hybrid push/pull control strategies for a parallel multi-stage system: part I. *International Journal of Production Research*, Volume 29, pp. 1279-1287.
- Holland, J. H., 1985. *Properties of the bucket brigade*. USA, Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms.
- Holtz, R., 1978a. GT and CAPP cut work-in-process time 80%, part 1. *Assembly Engineering*, Volume 21, n.° 6, pp. 24-27.
- Holtz, R. D., 1978b. GT and CAPP cut work-in-process time 80%: part 2. *Assembly Engineering*, Volume 21, n.° 7, pp. 16-19.
- Hopp, W. J. & Spearman, M. L., 1996. *Factory physics: foundations of manufacturing management*. Boston: Irwin.
- Houtzeel, A. & Brown, C. S., 1984. *A management overview of group technology*. Detroit: Manufacturing Engineers.
- Huang, M., Wang, D. & Ip, W. H., 1998. Simulation and comparative study of the CONWIP, Kanban and MRP production control systems in a cold rolling plant. *Production Planning & Control*, Volume 9, n.° 8, pp. 803-812.
- Hyer, N. L. & King, R. E., 1984. *Group technology at work*. Dearborn, USA: Society of Manufacturing Engineers.
- Hyer, N. & Wemmerlöv, U., 2002. *Reorganizing the factory: competing through cellular manufacturing*. USA: Productivity Press.
- Ingram, F. B., 1982. Group technology. *Production and Inventory Management*, Volume 23, n.° 4, pp. 19-34.
- Irani, S. A., 1999. *Handbook of cellular manufacturing systems*. USA: John Wiley & Sons.
- Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K. & Osaki, S., 1995. A modeling and simulation architecture for virtual manufacturing systems. *Annals of the CIRP*, Volume 44, n.° 1.
- Jacobs, F. R. & Whybark, D. C., 1992. A comparison of reorder point and material requirements planning inventory control logic. *Decision Sciences*, Volume 23, n.° 2, pp. 332-342.

JETRO, -. J. E. T. O., 1990. *Manufacturing technology guide n° 35 – sewing (apparel)*. s.l., Three “I” Publications, Ltd..

Jodlbauer, H. & Huber, A., 2008. Service-level performance of MRP kanban, CONWIP and DBR due to parameter stability and environmental robustness. *International Journal of Production Research*, Volume 46, n.º 8, pp. 2179-2195.

Kalta, M., Lowe, T. & Tyler, D., 1998. *A decision support system for designing assembly cells in apparel industry*. Group Technology and Cellular manufacturing updated perspectives: N. C. Suresh e J. M. Kay, Kluwer Academic Publishers.

Kidd, P. T., 1994. *Agile manufacturing forging new frontiers*. s.l.:Addison Wesley Publishers.

Kilbridge, M. D. & Wester, L., 1961. A heuristic method of assembly line balancing. *Journal of Industrial Engineering*, Volume 12, p. 394–398.

King, J. R., 1980. Machine-component group formulation in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, Volume 18, n.º 2, pp. 213-232.

Kingman, B. G., 2000. Modeling input-output workload control for dynamic capacity planning in production planning systems. *International Journal of Production Economics*, Volume 13, n.º 7, pp. 73-93.

Koenigsacker, G., 2009. *Leading the lean enterprise transformation*. EUA: Taylor & Francis Group, Productivity Press.

Kovács, I., 1992. *Novas tecnologias, recursos humanos, organização e competitividade em sistemas flexíveis de produção e reorganização do trabalho*, Lisboa: CESO I&D, Investigação e Desenvolvimento, PEDIP, Programa Específico de Desenvolvimento da Indústria Portuguesa.

Krishnamurthy, A. & Suri, R., 2009. Planning and implementing POLCA: a card-based control system for high variety or custom engineered products. *Production Planning and Control*, Volume 20, n.º 7, pp. 596-610.

Kusiak, A., 1987. *The generalized p-median problem*, Univ. of Manitoba, Canada: Working Paper 20187, Dep. Mech. Indust. Eng..

Kusiak, A. & Chow, W. S., 1987. An efficient cluster identification algorithm. *IEEE*, 4(Transaction on systems man and cybernetics), pp. 696-699.

Kusiak, A. & Chow, W. S., 1988. Decomposition of manufacturing systems. *IEEE Journl of Robotics and Automation*, Volume 4, pp. 457 - 471.

Kusiak, A., Vannelli, A. & Kumar, K. R., 1986. Clustering analysis: models and algorithms. *College of Commerce and Business Administration, University of Illinois at Urbana-Champaign*, Volume 15, n.º 2, pp. 139-154.

Lage, J. M. & Filho, M. G., 2010. Variations of the kanban system: literature, review and classification. *International Journal of Production Economics*, Volume 125, n.º 1, p. 13–21.

- Lambrecht, M. & Segaert, A., 1990. Buffer stock allocation and assembly type production lines. *Journal of Operations & Production Management*, Volume 10, n.° 2, pp. 47-61.
- Lashkari, R. S., Dutta, S. P. & Nadoli, G., 1987. Part family formation in flexible manufacturing systems - an integer programming approach. *Modern Production Management Systems*, pp. 627-635.
- Lawler, B. & Helen, W., 2002. *Textiles technology*. Italy: Heinemann.
- Lee, H., Park, N. & Park, J., 2009. A high performance finite capacitated MRP process using a computational grid. *International Journal of Production Research*, Volume 47, n.° 8, pp. 2109-2123.
- Lee, J. L., Vogt, W. G. & Mickle, M. H., 1982. Calculation of shortest paths by optimal decomposition. *IEEE*, 12(Trans. Syst., Man. Cybern.), pp. 410-415.
- Lee, K. I., 1997. Virtual manufacturing system - a test bed of engineering activities. *Annals of the CIRP*, Volume 46, n.° 1.
- Li, J., 2010. Simulation study of coordinating layout change and quality improvement for adapting job shop manufacturing to CONWIP control. *International Journal of Production Research*, Volume 48, n.° 3, pp. 879-900.
- Liker, J., 2004. *The toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. USA: McGraw-Hill.
- Lin, S. W., Ying, K. C. & Lee, Z. J., 2010. Part-machine cell formation in group technology using a simulated annealing-based meta-heuristic. *International Journal of Production Research*, Volume 48, n.° 12, pp. 3579-3591.
- Lödging, H., 2001. *Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung*, University of Hannover: PhD Thesis.
- MacCarthy, B. L. & Fernandes, F. C. F., 2000. A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. *Production Planning and Control*, Volume 11, n.° 5, pp. 481-496.
- Mann, D., 2010. *Creating a lean culture: tools to sustain lean conversions*. 2^a ed. New York: Taylor & Francis. Productivity Press.
- Maslow, A. H., 1943. A theory of human motivation. *Psychological review*, Volume 50, n.° 4, pp. 370-396.
- McAtamney, L. & Corlett, E. N., 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied ergonomics*, Volume 24, n.° 2, p. 91-99.
- McAuley, J., 1972. Machine grouping for efficient production. *Production Engineer*, Volume 51, n.° 2, pp. 53-57.
- McCormick, W. T., Schweitzer, P. J. & White, T. W., 1972. Problem decomposition and data reorganization by cluster technique. *Operation Research*, Volume 20, n.° 5, pp. 993-1009.
- Melton, T., 2005. The benefits of lean production – what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Desing*, Volume 83, pp. 662-673.

- Miguel, A. S., 2010. *Manual de higiene e segurança do trabalho*. 11^a ed. Lisboa: Porto editora.
- Miltenburg, J., 1997. Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP. *International Journal of Production Research*, Volume 35, n.º 4, pp. 1147-1169.
- Min, H. & Shin, D., 1993. Simultaneous formation of machine and human cells in group technology: a multiple objective approach. *International Journal of Production Research*, Volume 31, n.º 10, pp. 2307-2318.
- Mitra, D. & Mitrani, I., 1990. Analysis of a Kanban discipline for cell coordination in production lines. *Management Science*, Volume 36, n.º 12, pp. 1548-1566.
- Molleman, E., 2000. Modalities of self-managing teams – the “must”, “may”, “can” and “will” of local decision making. *International Journal of Operations & production Management*, Volume 20, n.º 8, pp. 889-910.
- Molleman, E. & Slomp, J., 1999. Functional flexibility and team performance. *International Journal of Production Research*, Volume 37, n.º 8, pp. 1837-1858.
- Monden, Y., 1981. Adaptable kanban system helps toyota maintain just-in-time production. *Industrial Engineering*, pp. 29-46.
- Monden, Y., 1998. *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. 3^a ed. s.l.:Taylor & Francis. Productivity Press.
- Moura, D. & Botter, R., 2002. Caracterização do sistema de coleta programada de peças. *RAE-eletrônica*, Volume 1, n.º 1, pp. 1-14.
- Mulvey, J. M. & Crowder, H. P., 1979. Clustering analysis: an application of lagrangian relaxation. *Management Science*, Volume 25, n.º 4, pp. 329-340.
- Mumford, E. & Weir, M., 1979. *Computer systems work design: the ETHICS method*. London: Associated Business Press.
- Niepcz, W. & Molleman, E., 1996. A case study: characteristics of work organization in lean production and sociotechnical systems. *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 16, n.º 2, pp. 77-90.
- Norman, B. A. et al., 2002. Worker assignment in cellular manufacturing considering technical and human skills. *International Journal of Production Research*, Volume 40, n.º 6, pp. 1479-1492.
- Nyman, L. R., 1992. *Making manufacturing cells work*. s.l.:Ingersoll Engineers, Society of Manufacturing Engineers e Computer and Automated Systems Association of SME.
- Ohno, T., 1988. *Toyota production system: beyond large-scale production*. New York: Taylor & Francis. Productivity Press.
- Olorunniwo, F. & Udo, G., 2002. The impact of management and employees on cellular manufacturing implementation. *International Journal of Production Economics*, Volume 76, pp. 27-38.

- Opitz, H. & Wiendahl, H. P., 1971. Group technology and manufacturing system for small and medium quantity production. *International Journal of Production Research*, Volume 9, n.º 1, pp. 181-203.
- Paternina-Arboleda, C. D. & Das, T. K., 2001. Intelligent dynamic control policies for serial production lines. *IIE Transactions*, Volume 33, n.º 1, pp. 65-77.
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K. & Jambekar, A. B., 2010. Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, Volume 41, n.º 13, pp. 3075-3090.
- Pinto, J. P., 2006. *Gestão de operações na indústria e nos serviços*. 1ª ed. Lisboa - Porto: Lidel.
- Rapoport, R., 1970. Three dilemmas of action research. *Human Relations*, Volume 23, n.º 6, pp. 499-513.
- Riezebos, J., 2001. *Period batch control planning system for cellular manufacturing*, The University of Groningen, Netherlands. ISBN 90-367-1341-2: Tese de doutoramento.
- Riezebos, J., 2010. Design of POLCA material control systems. *International Journal of Production Research*, Volume 48, n.º 5, pp. 1455-1477.
- Rother, M. & Shook, J., 1999. *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. USA: Lean Enterprise Institute.
- Schaffer, G., 1981. Implementing CIM. *Amer. Machinist*, Volume 125, n.º 8, pp. 151-174.
- Sekine, K., 1990. *One – piece flow: cell design for transforming the production process*. New York: Taylor & Francis. Productivity Press.
- Shafer, S. M., Tepper, B. J., Meredith, J. R. & Marsh, R., 1995. Comparing the effects of cellular and functional manufacturing on employees perceptions and attitudes. *Journal of Operations Management*, Volume 12, pp. 63-74.
- Shahin, A. & Janatyan, N., 2010. Group technology (GT) and lean production: a conceptual model for enhancing productivity. *International Business Research*, Volume 3, n.º 4, pp. 105-118.
- Shingo, S., 1986. *Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system*. USA: Taylor & Francis. Productivity Press.
- Shingo, S., 1989. *A study of the toyota production system*. New York: Taylor & Francis. Productivity Press.
- Shook, J. & Rother, M., 1999. *Learning to see value-stream mpping to create value and eliminate muda*. Cambridge, USA: Lean Enterprise Institute.
- Sipper, D. & Bulfin, J. R. L., 1997. *Production: planning, control and integration*. New York: Mc Graw Hill.
- Skyles, G., Simpson, M. & Shipley, E., 1997. Training and empowerment improve performance: a case study. *Integrated Manufacturing Systems*, Volume 2, n.º 2, pp. 90-102.
- So, K. C. & Pinault, S. C., 1988. Allocating buffer storages in a pull system. *International Journal Of Production Research*, Volume 15, n.º 2, pp. 1959-1980.

- Soto, R. et al., 2012. Cell formation in group technology using constraint programming and Boolean satisfiability. *Expert Systems with Applications*, Volume 39, p. 11423–11427.
- Spearmann, M. L., Woodruff, D. L. & Hopp, W. J., 1990. CONWIP: a pull alternative to kanban. *International Journal of Production Research*, Volume 28, n.º 5, pp. 879-894.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. & Uchikawa, S., 1977. Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, Volume 15, n.º 6, pp. 553-564.
- Suri, R., 1998. *Quick response manufacturing*. Portland: Taylor & Francis. Productivity Press.
- Susman, G., 1983. Action research: a sociotechnical systems perspective. *Sage Publications*, pp. 95-113.
- Suzaki, K., 1987. *The new manufacturing challenge*. USA: Free Press.
- Taylor, F. W., 1911. *Principles of scientific management*. New York, USA: Harper & Row.
- Taylor, S. G., Sewart, S. & Bolander, S. F., 1981. Why the process industries are different. *Production and Inventory Management Journal*, Volume 22, n.º 4, pp. 9-24.
- Vaghefinezhad, A. & Wong, K. Y., 2012. *A genetic algorithm approach for solving group technology problem with process plan flexibility*. Cambridge, UK, 14th International Conference on Modelling and Simulation.
- Vannelli, A. & Kumar, K. R., 1986. A method for finding minimal bottleneck cells for grouping part-machine families. *International Journal of Production Research*, Volume 24, n.º 2, pp. 387-400.
- Walton, W. & Deming, W. E., 1988. *The deming management method*. USA: The Berkley Publishing Group.
- Warnecke, H. J. & Huser, M., 1995. Lean production. *International Journal of Production Economics*, Volume 41, pp. 37-43.
- Welker, G. A., Vries, J. & Wijngaard, J., 2004. *The influence of the customer order de-coupling point on the ordering process*. Fontainebleau, 11th International Annual EurOMA Conference: Operations Management as a Change Agent, INSEAD.
- Wild, R., 1972. *Mass-production management: the design and operation of production flow-line systems*. s.l.:John Wiley & Sons.
- Wild, R., 1989. *Production and operations management principles and techniques*. 4ª edição ed. London: Cassell.
- Wolstenholme, D. J., Dale, B. G. & Pelham, R. J., 1980. Product-based group technology pay off. *Machinery and Production Engineering*, Volume 3, pp. 37-39.
- Womack, J. & Jones, D. T., 1996. *Lean thinking*. New York, USA: Siman & Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D., 1990. *The machine that changed the world: the story of lean production*. New York, USA: Harper Perennial.

Xing, B., 2010. *Cellular manufacturing system scheduling under fuzzy constraints: a group technology perspective*. s.l., (FUZZ), 2010 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 1-8.

Yang, M. S. & Yang, J. H., 2008. Machine-part cell formation in group technology using a modified ART1 method. *Journal of Operational Research*, Volume 188, pp. 140-152.

Anexos

Anexo 1. Simbologia VSM

	Fluxo de informações manuais
	Fluxo de informações eletrônicas
	Fluxo de material
	Inventário
	Cliente/Fornecedor
	Expedição de material
	Camião de expedição
	Foco kaizen

Figura 49: Simbologia usada no VSM

Anexo 2. Distâncias percorridas pelo material

Tabela 29: Distância atual entre centros de máquinas (metros)

Para De	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Qa	Qb	R	S	T	U	Bf6
Entrada	2,23		5,85		5,89	6,53					10,20		11,52	9,29	7,58		8,11			10,27	11,02
C			5,11	3,23											7,45						
D																6,15					
E																					9,27
F		1,80																			9,56
G								4,56													
G																					
H							0,85														
I										7,26							4,76				9,39
J									1,16												
K											1,08						4,26				
L																					3,58
M												1,27									
N													0,78								
O			9,37																		
P																				1,10	
Qa	7,24						2,44														
Qb																					7,25
R										4,50	5,10							2,86			
S																			1,10		
T																					1,27
U																					3,52

Tabela 30: Distância da proposta entre centros de máquinas (metros)

Para De	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Qa	Qb	R	S	T	U	Bf6
Entrada	1,34		3,96		9,68	2,26					5,43		7,86	0,50	0,50		3,86			1,50	3,00
C			2,00	1,25											2,49						
D																1,34					
E																					5,63
F		1,60																			6,39
G								1,00													
G																					
H							1,28														
I										3,21							1,79				6,71
J									0,90												
K											2,67						1,10				
L																					4,39
M												1,43									
N													0,99								
O			0,79																		
P																				0,93	
Qa	2,49						3,42														
Qb																					3,34
R										1,40	1,55							3,26			
S																			1,05		
T																					2,64
U																					2,06

Tabela 31: Avaliação das distâncias percorridas num turno, previsão semana 10

Família	Componente	Quantidade	Distância (metros)	
			Atual	Proposta
F1	WP1	101	2042	1123
	WP2	202	8417	4663
	WP3	202	6717	2124
	WP4	202	3035	1813
	WP5	404	8930	6460
	WP6	202	2226	606
	WP7	202	6092	2885
	WP8	202	3055	1939
	WP9	202	6717	2124
	WP10	202	6240	2884
	WP11	202	6240	2884
	WP12	202	6240	2884
	WP13	101	1405	352
F2	WP14	290	9644	3049
	WP15	290	4357	2602
	WP16	580	12821	9274
	WP17	290	3196	870
	WP18	290	4385	2783
	WP19	290	5802	3672
F4	WP33	370	6204	3791
	WP34	370	12354	8547
	WP35	740	11118	6640
	WP36	740	11976	7139
	WP37	740	16358	11833
	WP38	740	16358	11833
	WP39	370	11159	5284
	WP40	370	11430	5283
	WP41	370	11430	5283
	WP42	740	22860	10566
	WP43	370	5101	1316
Total			243910	132506
Redução			45,67%	

Anexo 3. Balanceamento pelo método de Wild

Tabela 32: Balanceamento da preparação pelo método de Wild, previsão semana 10

Operações	A	B	C	R	Qa	G	J	K	I	M	S	N	H	T	F	O	D	E	P	U	L	Qb
Peso Posicional	316902	217586	151993	149333	146877	117094	113332	106921	95182	76136	55007	46511	44640	36087	20836	19676	9558	9278	5187	4417	4162	456
Duração operação no turno (seg)	40147	22347	22700	14028	8159	3762	6412	16756	21985	29625	18919	26835	4465	36087	11277	10398	9102	9278	770	4417	4162	456
Tempo do posto de trabalho (seg)	20073	20073	22347	22700	22187	10174	16756	21985	14813	14813	18919	13417	22508	21675	23567	4618	22081	22081	24582	24971	24406	22187
+10%	22081	22081	24582	24971	24406	11191	18432	24184	16294	16294	20811	14759	24759	23843	25924	5080	22081	22081	24582	24971	24406	22187
Perda (seg)	4319	4319	1818	1429	1994	15209	7968	2216	10106	10106	5589	11641	11641	1641	2557	476	21320	114350	24,06%			
Operador	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M	N	O + P	Q	R	S					
Tipos de posto de trabalho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16						