

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

Arquiteturas de Sistemas de Produção

Filipe Abreu Bouça

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Jorge Pinho de Sousa (Professor)

Coorientador: António Correia Alves (Engenheiro)

19 de Abril de 2013

Resumo

O presente relatório de Dissertação tem como objetivo demonstrar o estudo realizado sobre a temática de conceção de um *layout* industrial e o trabalho realizado para resolução do problema proposto que consiste na formação de *clusters* constituídos pelos recursos existentes numa instalação industrial.

A base para o desenvolvimento do mesmo foi a consulta de dissertações e artigos que se encontram publicados em bases de dados científicas certificadas. Depois de realizado o estudo prévio foi desenvolvido um modelo relacional dos recursos, tendo-se desenvolvido posteriormente um método para agrupamento desses recursos. A ferramenta desenvolvida tem como propósito ser um sistema de apoio à decisão para a conceção de um *layout* industrial.

Na primeira fase, o trabalho desenvolvido centrou-se na classificação numérica da relação existente entre os recursos que compõem uma instalação industrial, mediante vários atributos e restrições. A aplicação deste modelo serve como *input* ao algoritmo de agrupamento posteriormente desenvolvido.

Na segunda fase, desenvolveu-se um algoritmo de agrupamento dos recursos existentes. Este, considerando os dados fornecidos pelo modelo relacional previamente desenvolvido, distribui os recursos existentes pelo número de *clusters* pretendido pelo utilizador. Este algoritmo revelou-se uma ferramenta útil e eficaz, uma vez que respeitou todas as restrições impostas pelo cliente e conjugou de forma eficiente os resultados obtidos no modelo relacional criado previamente, originando assim os vários *clusters*.

Abstract

This dissertation report has as a goal to demonstrate a study based on thematic of industrial layout design and the work developed in order to solve the problem suggested, i.e., the formation of clusters from existing resources in an industrial installation.

The basis for its development was the research of dissertations and articles published in scientific databases certified. After performing the referred study, a relational model of resources was developed, being subsequently developed a method for grouping resources. The developed tool aims to be a decision support system for the design of an industrial layout.

In the first phase, the work focused on the numerical rating of the relationship between the resources that make up an industrial facility, taking into account several attributes and constraints. The application of this model serves as an input to the clustering algorithm developed later.

In the second phase, was developed a clustering algorithm of the existing resources. Considering the data provided by the relational model previously developed, this algorithm distributes the existing resources by the number of clusters desired by the user. It has proven to be useful and effective since it respected all the restrictions imposed by the client and conjugated efficiently the results obtained in the relational model created previously, thus yielding the various clusters desired.

"A alegria está na luta, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita."

Mahatma Gandhi

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	O pólo Produtech	2
1.3	Metodologia	2
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	<i>Lean Manufacturing</i>	5
2.2	<i>Value Stream Mapping</i>	6
2.3	Processos e tecnologias	8
2.3.1	Fatores de decisão na escolha de processos e tecnologias	8
2.3.2	Ambientes de produção	8
2.4	<i>Layouts</i>	9
2.4.1	Configurações básicas de um <i>layout</i>	11
2.5	<i>Systematic layout planning (SLP)</i>	15
2.5.1	Análise produto-quantidade	16
2.5.2	Fluxo dos materiais	17
2.5.3	Relação entre atividades	18
2.5.4	Diagrama relacional de recursos	18
2.5.5	Determinação dos espaços	18
2.5.6	Avaliação de alternativas	19
2.5.7	Células de produção	19
2.5.8	Otimização da movimentação dos materiais	19
2.5.9	Metodologias para formação de <i>clusters</i>	20
2.5.10	Medidas de similaridade	21
2.5.11	Técnicas de formação de <i>clusters</i>	24
3	Modelação	27
3.1	Modelo relacional de recursos	27
3.1.1	Parâmetros do modelo	28
3.1.2	Importância dos processos	29
3.1.3	Restrições	29
3.1.4	Redimensionamento da escala	31
3.1.5	Análise do fluxo de materiais	32
3.1.6	Atribuição de importância aos operadores	32
3.1.7	Transporte entre recursos	34
3.1.8	Operações realizadas em pares de recursos pelo mesmo operador	35
3.1.9	Relação dos vários fatores	36

3.2	Algoritmo de agrupamento de recursos	38
3.3	Interface gráfica	42
4	Caso de estudo	45
4.1	Levantamento dos processos de produção	45
4.2	Aplicação do modelo relacional de recursos ao caso de estudo	47
4.2.1	Restrições	49
4.2.2	Fluxo de materiais	50
4.2.3	Atribuição de importância aos operadores:	51
4.2.4	Transporte entre recursos	55
4.2.5	Tarefas realizadas em pares de recursos	56
4.2.6	Relação dos vários fatores	57
4.3	Formação dos <i>clustes</i> utilizando o algoritmo desenvolvido	58
4.4	Interface gráfica	60
4.5	Aplicação da medida de similaridade de <i>jaccard</i>	61
5	Conclusões e trabalho futuro	63
5.1	Conclusões	63
5.2	Trabalho futuro	64
A		65
	Referências	83

Lista de Figuras

2.1	<i>Layout</i> orientado ao processo	12
2.2	<i>Layout</i> orientado ao produto	13
2.3	<i>Layout</i> celular	15
2.4	Curva Produto-Quantidade	17
2.5	Fases do processo de <i>clusterização</i>	20
3.1	Atribuição de valor 0 ou 5 à relação existente entre dois recursos	30
3.2	Mudança de escala efetuada no final da classificação da relação entre dois recursos, mediante os atributos considerados	31
3.3	Relação de recursos mediante as tarefas realizadas em cada um deles	36
3.4	Fluxograma do algoritmo de atribuição de valor à junção de recursos	38
3.5	Fluxograma do algoritmo de formação de <i>clusters</i> balanceados	40
3.6	Fluxograma demonstrativo da formação da melhor solução	41
3.7	Interface Gráfica desenvolvida para utilização do modelo desenvolvido	42
4.1	Recursos que têm de pertencer ao mesmo <i>cluster</i>	49
4.2	Recursos que têm de pertencer a <i>clusters</i> diferentes	50
4.3	Matriz relacional do fluxo de materiais conjugando os vários processos	51
4.4	Matriz relacional segundo os transportes realizados em todos os processos	55
4.5	Matriz relacional considerando todos os atributos e restrições	57
4.6	Interface Gráfica	60
4.7	Matriz relacional baseada na medida similaridade de <i>Jaccard</i> aplicada ao caso de Estudo	61
A.1	Processo de produção do " <i>Acionamento</i> " parte 1/3	66
A.2	Processo de produção do " <i>Acionamento</i> " parte 2/3	67
A.3	Processo de produção do " <i>Acionamento</i> " parte 3/3	68
A.4	Processo de produção da " <i>Curva</i> " parte 1/4	69
A.5	Processo de produção da " <i>Curva</i> " parte 2/4	70
A.6	Processo de produção da " <i>Curva</i> " parte 3/4	71
A.7	Processo de produção da " <i>Curva</i> " parte 4/4	72
A.8	Processo de produção do " <i>Troço</i> " parte 1/2	73
A.9	Processo de produção do " <i>Troço</i> " parte 2/2	74
A.10	Matriz relacional do fluxo de materiais no processo de produção do " <i>Acionamento</i> "	75
A.11	Matriz relacional do fluxo de materiais no processo de produção da " <i>Curva</i> "	75
A.12	Matriz relacional do fluxo de materiais no processo de produção do " <i>Troço</i> "	76
A.13	Transportes realizados pelo operário " <i>Ajuda</i> " no processo de produção do " <i>Acionamento</i> "	76

A.14 Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" no processo de produção do "Acionamento"	77
A.15 Transportes realizados pelo operário "PrepObra" no processo de produção do "Acionamento"	78
A.16 Transportes realizados pelo operário "Ajuda" no processo de produção da "Curva"	78
A.17 Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" no processo de produção da "Curva"	79
A.18 Transportes realizados pelo operário "PrepObra" no processo de produção da "Curva"	80
A.19 Transportes realizados pelo operário "PrepObra" com o recurso auxiliar "MPP" no processo de produção da "Curva"	80
A.20 Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" no processo de produção do "Troço"	81
A.21 Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" com o recurso auxiliar "MPP" no processo de produção do "Troço"	81
A.22 Transportes realizados pelo operário "PrepObra" no processo de produção do "Troço"	82
A.23 Transportes realizados pelo operário "PrepObra" com o recurso auxiliar "MPP" no processo de produção do "Troço"	82

Lista de Tabelas

2.1	Medidas de Similaridade baseadas em dados binários	22
2.2	Relações de contingência entre dois objetos que definem as condições de similaridade entre estes	23
4.1	Importância dos Processos Produtivos	46
4.2	Recursos identificados nos processos de produção	46
4.3	Transportes realizados	52
4.4	Importância dos Operadores considerando os transportes realizados	52
4.5	Tarefas realizadas pelos operadores nos processos de produção	53
4.6	Importância dos Operadores considerando as tarefas realizadas	53
4.7	Importância dos Operadores	54
4.8	Matriz relacional das tarefas realizadas por todos os operadores nos vários processos	56
4.9	Solução proposta para formação de três <i>clusters</i>	59
4.10	Solução proposta para a formação de quatro <i>clusters</i>	59
4.11	Solução proposta para formação de cinco <i>clusters</i>	59
4.12	Solução proposta para formação de seis <i>clusters</i>	60
4.13	Recursos que são utilizados nos vários processos	62

Abreviaturas e Símbolos

Abreviaturas

SLP	<i>Systematic Layout Planning</i>
FLP	<i>Facility Layout Planning</i>
GT	Grupo Tecnológico
JIT	<i>Just-In-Time</i>
SAD	Sistema de apoio à decisão
TPS	Toyota Production System

Capítulo 1

Introdução

As técnicas de construção de *layouts* industriais e consequente análise das soluções obtidas são cada vez mais utilizadas na indústria a nível mundial com o intuito de otimizar processos produtivos, minimizar os investimentos e os desperdícios e aproveitar de forma eficaz, eficiente e segura os recursos que a compõem.

Uma abordagem para este tipo de problemas passa pela formação de células de produção que consiste num problema de *clusterização* com um grau de complexidade elevado, onde é necessário agrupar recursos em células, produtos em famílias e unir as células de recursos e famílias de produtos em *clusters*. Pretende-se que os recursos que constituem um *cluster* tenham mais características em comuns entre si do que com outros recursos pertencentes a outro *cluster*.

Os recursos que compõem um *cluster* devem operar na mesma família de peças. Idealmente uma família de produtos deve ser processada exclusivamente num *cluster* de produção. Mas esta situação nem sempre se verifica, uma vez que, é complicado restringir o acesso de uma célula de produção a apenas uma família de produtos. Posto isto, a ideia, é conseguir arranjar um equilíbrio entre estas situações.

Neste contexto, o objetivo do trabalho realizado, que se encontra apresentado no presente relatório de dissertação, é conceber um modelo que relacione os recursos existentes numa instalação industrial tendo em consideração vários atributos e, mediante os resultados obtidos nesse modelo, desenvolver um algoritmo que permita agrupar os recursos existentes em *clusters*. Pretende-se que o trabalho desenvolvido sirva como ferramenta de apoio à conceção de *layouts* industriais, uma vez que, permite ao utilizador do mesmo ter noção de quais os recursos que se devem encontrar mais próximos uns dos outros, de modo a desenvolver uma unidade de produção otimizada em termos de desempenho e fiabilidade.

1.1 Motivação

O processo de formulação de *layouts* industriais é demasiado complexo exigindo por isso abordagens sofisticadas. Normalmente os empresários não têm a noção das melhorias associadas ao planeamento da produção e do próprio espaço físico onde esta se vai desenvolver, contudo

estes são aspetos tanto ou mais importantes que todos os outros para obter sucesso no negócio que se propõem a criar. A otimização do espaço físico onde a produção se vai desenvolver vai ter um impacto muito grande em vários parâmetros relacionados com o funcionamento da empresa. Esta abordagem, quando bem efetuada, permite reduzir o tempo de processo, a movimentação da matéria-prima, produtos inacabados e funcionários, entre outros.

Uma abordagem possível e que serve de apoio à tomada de decisão para este tipo de problemas é a criação de grupos ou *clusters* constituídos por vários dos recursos existentes na unidade de produção. Os processos de *clusterização* podem ser realizados utilizando uma variedade de algoritmos muito extensa, contudo muitos deles apresentam debilidades em determinados aspetos. Desta forma, existe uma lacuna neste tipo de abordagens que deve ser preenchida explorando novas técnicas capazes de amenizar ou até eliminar as dificuldades encontradas na aplicação destes algoritmos. Esta é a principal temática a ser abordada nesta dissertação.

1.2 O pólo Produtech

O trabalho desenvolvido insere-se no âmbito Produtech (Pólo das Tecnologias de Produção), constituindo uma "iniciativa dinamizada pela fileira das tecnologias de produção, que integra empresas que desenvolvem e comercializam produtos e serviços capazes de responder aos desafios e aos requisitos de competitividade e sustentabilidade da indústria transformadora nacional e internacional, com soluções inovadoras, flexíveis, integradas e competitivas.

Surgindo no contexto da implementação de estratégias de eficiência coletiva que visam a inovação, a qualificação e a modernização das empresas produtoras e utilizadoras de tecnologias de produção, o Pólo PRODUTECH dinamiza, de forma estruturada, a cooperação entre as empresas da fileira e entre estas e outros atores relevantes, assumindo-se como um parceiro chave no reforço da competitividade internacional da economia portuguesa."[1]

1.3 Metodologia

Estudo teórico

Numa primeira fase foi efetuado um estudo teórico abrangente das técnicas que se pretendem utilizar no desenvolvimento do trabalho associado a esta dissertação, considerando os conceitos associados à filosofia de gestão "*Lean Manufacturing*" com origem no TPS (*Toyota Production System*) criado por *Taiichi Ohno*, *Shigeo Shingo* e *Eiji Toyoda* no Japão e às técnicas que se pretende utilizar no desenvolvimento desta dissertação. Este estudo teórico teve como base os livros, dissertações e artigos científicos mencionados na secção "Referências bibliográficas", os quais se encontram analisados e debatidos no capítulo "Revisão bibliográfica". O objetivo deste estudo preliminar foi compreender o contexto em que se inserem as organizações industriais, a evolução

dos diferentes sistemas produtivos e a evolução do comportamento do ser humano perante a necessidade de se adaptar a um contexto cada vez mais exigente de concorrência e procura pela melhor qualidade nos produtos/serviços fornecidos ao cliente.

Identificação do problema

O problema proposto consiste no desenvolvimento de uma ferramenta de apoio para à conceção de *layouts* industriais.

Numa primeira fase foram definidos os fatores a ter em conta na análise e resolução do problema proposto. Foram identificados três fatores críticos, nomeadamente, o fluxo de materiais, que consiste no movimento do produto em desenvolvimento pelos vários recursos existentes, os transportes realizados entre os vários recursos conjugados com o responsável pelos mesmos e as tarefas realizadas nos vários estágios de produção. A forma como estes são transportados entre os vários recursos, ou seja, se o transporte é efetuado manualmente ou com auxílio de um recurso adicional, fatores a ter em conta na construção do modelo relacional de recursos.

Foram também definidas algumas restrições associadas à impossibilidade de determinados recursos se encontrarem próximos de outros devido a questões de higiene ou à presença de substâncias prejudiciais ao normal funcionamento dos restantes,... Para além destas restrições que provocam o afastamento entre recursos também foram impostas pelo cliente restrições associadas à necessidade de determinados recursos se encontrarem próximos uns dos outros, seja por conveniência para o operador que efetua tarefas nos vários recursos em causa, ou seja porque sendo duas operações sequenciais realizadas rapidamente, a sua proximidade surge como fator preponderante para o bom funcionamento da linha de produção.

Para testar o potencial da ferramenta desenvolvida foi efetuado o levantamento, mapeamento e análise dos processos produtivos associados a uma empresa que se encontra apresentada no capítulo 4 à empresa em questão, assim como, todos os dados, fatores e existências que se encontram associadas à organização.

Abordagem do problema e análise de resultados

Depois de o problema se encontrar identificado e bem documentado foram avaliadas diferentes formas de o abordar. Para tal foi desenvolvido um algoritmo capaz de relacionar os diferentes fatores a ter em conta nas tomadas de decisão e, desta forma, foi criada uma base para proceder à construção do *layout* da(s) linha(s) de produção. Esta base consiste numa matriz relacional que classifica a importância de cada recurso estar próximo dos restantes, mediante uma escala quantitativa. Para tal foram atribuídos pesos diferentes aos vários processos de produção, baseados no conhecimento dos elementos familiarizados com esses processos. Os operadores que efetuam transportes e/ou operações nos vários recursos, também foram objeto de diferente ponderação na tomada de decisão, tendo em conta: o número de transportes que estes efetuam; a tipologia dos dos transportes utilizados; o número de operações que realizam e o número de recursos em que

estes operam. Desta forma foi facilitada a tomada de decisão referente à estrutura de produção a ser implementada.

Perante os resultados obtidos, foi efetuada a análise dos mesmos avaliando cada um dos fatores a ter em conta em separado e de forma conjugada com os restantes. Esta análise revelou-se extremamente importante, uma vez que, desta forma foram identificadas as necessidades de proximidade sob diferentes pontos de vista, isto é, tendo em consideração apenas um ou alguns dos fatores a ter em conta assim como de um ponto de vista global, desta feita contabilizando todos os fatores mencionados anteriormente.

Para obter uma solução capaz de integrar os fatores mencionados como preponderantes, através das relações encontradas anteriormente foi desenvolvido um algoritmo, que agrupa os vários recursos em *clusters*, capaz de originar uma solução final com elevado grau de qualidade.

1.4 Estrutura da dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais quatro capítulos. No capítulo 2, é descrito o estado da arte e são apresentados trabalhos relacionados com o desenvolvimento desta dissertação. No capítulo 3, é apresentado o modelo desenvolvido. No capítulo 4 encontra-se a aplicação do modelo desenvolvido no capítulo anterior que será utilizado no caso de estudo e será efetuada, também, a análise dos resultados obtidos. No capítulo 5 são apresentadas as conclusões retiradas da realização desta dissertação.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica ou estado da arte consiste numa pesquisa e levantamento de informações sobre o trabalho a desenvolver. Este foi feito baseado em artigos científicos, dissertações e livros de modo a conhecer e compreender o que é feito na área, as técnicas que se encontram desenvolvidas e que são utilizadas.

2.1 *Lean Manufacturing*

A filosofia *Lean Manufacturing* surgiu no Japão, criada por Taiichi Ohno, pouco depois do final da Segunda Guerra Mundial. Esta foi apresentada como uma alternativa à forma tradicional de produção em massa, denominada *Taylorismo* [2], que consiste no modelo de gestão científica desenvolvido por Frederick Winslow Taylor.

A filosofia *Lean Manufacturing* teve origem no TPS, considerado como o sistema que serve de base à produção *Lean*. O TPS apresenta como principal característica a flexibilidade das linhas produtivas, tendo por base a produção de pequenos lotes de produtos controlado por métodos que auxiliam a troca de ferramenta e a eficácia na comunicação entre os funcionários para responder às constantes variações dos mercados atuais, [3].

Esta filosofia foi criada com o objetivo de otimizar os processos e procedimentos de um sistema de produção industrial através da eliminação de desperdícios e de orientar a sua atenção para a flexibilidade do sistema de produção, satisfação do cliente, através da garantia da qualidade do processo e do produto final e da produtividade. Ohno acrescentou ainda o conceito *Kaizen*, que consiste na melhoria contínua de tudo o que está associado ao sistema de produção, incutindo nos trabalhadores uma procura constante pelo melhoramento dos seus postos de trabalho, e consequentemente pela melhoria de toda a linha de produção.

Esta metodologia tem também como objetivo a eliminação ou redução dos desperdícios, que envolve mudanças nas práticas de gestão da qualidade e gestão de operações utilizadas de forma a melhorar os processos produtivos.

Tem uma série de princípios nos quais se baseia, tais como, definir valor, que consiste na opinião que o cliente tem do seu produto. Isto é, quem define o valor do produto é o cliente e não

a empresa que o desenvolve e/ou comercializa. O valor é gerado pela necessidade que o cliente tem para utilizar esse produto. Sendo assim, o papel da empresa é identificar qual a necessidade do cliente e procurar satisfazê-la a um preço específico, de forma a manter a empresa e aumentar o lucro, através da melhoria contínua de processos, reduzindo, assim, os custos e melhorando a qualidade.

Outro princípio relevante é baseado na definição da cadeia de valor: numa primeira fase dividem-se os processos em três tipos, aqueles que geram valor para o cliente, aqueles que não geram valor mas são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade do produto e aqueles que não agregam valor devendo ser imediatamente eliminados.

De seguida procede-se à otimização do fluxo de produção, nomeadamente os fluxos de materiais, pessoas, capital e informação, aumentando assim a capacidade de resposta face aos pedidos do cliente, reduzindo custos e tornando a empresa mais competitiva.

Importa ainda implementar o sistema *pull*, que consiste na produção apenas quando o cliente solicita o produto final. Neste passo é aplicado o conceito *JIT*, que consiste em produzir apenas quando é necessário. Por último o objetivo é atingir a perfeição, a concretizar tendo sempre subjacentes a importância da qualidade e a inexistência de repetições no trabalho. A base para o sucesso de uma empresa é concentrar-se na melhoria contínua desde o desempenho dos seus funcionários até à eliminação dos desperdícios.

De forma resumida pode-se caracterizar a filosofia *lean* como:

- uma filosofia que rejeita qualquer ação que não acrescente valor para o cliente, procurando sempre a perfeição;
- um novo estilo de gestão: “ask why; think and act quickly”, envolver e motivar a força de trabalho/chão de fábrica;
- uma abordagem que incentiva o redesenho de processos e promove a mudança, orientando a gestão operacional para a melhoria contínua;
- uma ferramenta que permite e promove a visibilidade da performance discutida diariamente com os operadores da fábrica, identifica causas e age rapidamente.

2.2 Value Stream Mapping

O *Value Stream Mapping* (VSM) [4] é uma ferramenta direcionada para a visualização dos processos de produção. Consiste num método que permite identificar todas as ações de uma organização, que criam, ou não, valor do ponto de vista do cliente. Por outras palavras, permite visualizar o percurso ou mapa, de um produto ou serviço, ao longo da cadeia de valor, desde a obtenção da matéria-prima até à entrega ao cliente final.

Este método consiste na adaptação de uma técnica originária na empresa “Toyota”, denominada “diagrama de fluxo de materiais e informação”, pelas mãos de Taiichi Ohno e a sua equipa. Na altura, o objetivo era alinhar a visão dos fornecedores com os interesses da Toyota, tentando obter uma ou mais melhorias.

Sendo um dos métodos mais utilizados em organizações *Lean*, este ajuda a gestão e engenharia a reconhecer desperdício e a descobrir causas de problemas, de uma forma simples e eficaz. Este processo divide-se em duas fases, uma primeira que inclui o mapeamento físico do "estado atual" (*AS-IS*), e uma segunda fase em que se focam atenções no estado futuro pretendido (*TO-BE*).

Frequentemente, este método concentra-se nas questões relativas à redução do tempo de entrega do produto ao cliente (lead time), porém, poderá também agrupar questões associadas a custos. Para que seja eficaz, o mapeamento deverá abranger os seguintes aspetos:

- fluxo de materiais e informação;
- fornecedores e clientes;
- transporte de materiais;
- sistemas de informação;
- *stocks* de matéria-prima, materiais em processamento e produto acabado.

Esta ferramenta é uma importante arma no combate ao desperdício. Em [5], Juran e Gryna afirmam que: "Gerir é controlar e agir corretamente. Sem controlo não há gestão. Sem medição não há controlo", e o VSM permite esta identificação e quantificação. Os símbolos VSM fornecem uma linguagem simples e intuitiva, que facilita o estudo e compreensão do estado atual e futuro do sistema. Através de uma visualização clara dos processos, internos e externos, a eliminação de desperdício torna-se mais eficaz, promovendo a melhoria contínua e satisfação do cliente. [6]

Apesar da simbologia VSM não estar normalizada, é comum os símbolos ou variações semelhantes dos mesmos serem adotados e utilizados em várias organizações. Porém é boa prática as organizações adaptarem o mapeamento e os símbolos à sua realidade, para que possam tirar o máximo partido desta ferramenta.

O VSM é um bom ponto de partida para iniciar a abordagem *Lean* uma vez que:

- permite uma visão global da cadeia de valor, e não apenas de um processo;
- além de permitir identificar desperdício, ajuda a identificar as suas causas;
- fornece uma linguagem simples e intuitiva;
- favorece a abordagem e implementação de conceitos *Lean*;
- faculta bases para um plano de ação;
- evidencia a utilização entre fluxos (materiais, capital e informação).

No entanto a utilização da ferramenta VSM apresenta algumas limitações, nomeadamente:

- não permite representar produtos com fluxos produtivos diferentes;
- apresenta dificuldades em transmitir a utilização do VSM a pessoas que não estão familiarizadas com a ferramenta;
- ausência de indicadores gráficos para os problemas de transporte, filas de espera e de distâncias devido ao *layout*;
- não possui indicadores económicos;
- não permite visualizar o *layout*;
- não reflete a lista de materiais de um produto.

2.3 Processos e tecnologias

2.3.1 Fatores de decisão na escolha de processos e tecnologias

Na implementação de um *layout* industrial é necessário analisar os produtos que vão ser produzidos e, conseqüentemente, as tecnologias e equipamentos a utilizar, assim como a própria forma como são utilizados. Seja qual for o processo de produção escolhido estão implícitas tecnologias, equipamentos e operações, que deverão ser o mais ajustado possível às características e quantidades dos produtos a fabricar, tendo sempre presente a obtenção de níveis de qualidade e produtividade adequados.

Em função das características dos produtos e dos volumes de produção, diferentes processos tecnológicos poderão apresentar diferentes rentabilidades.

Do ponto de vista da qualidade do produto, o uso de equipamentos e processos tecnológicos mais ajustados tecnicamente ao tipo de produção permite a redução de deficiências e, como consequência, a obtenção de menores custos com desperdícios e correções.

Consideram-se como fatores determinantes na decisão da escolha de um processo de produção as características técnicas do produto, as dimensões do mercado-alvo, a quantificação da mão-de-obra necessária, a natureza das matérias-primas, as tecnologias existentes e o capital necessário para pôr em prática a produção.

2.3.2 Ambientes de produção

Relação com o cliente

A ligação ao cliente pode afetar a escolha de um processo produtivo. Desta forma, são consideradas as seguintes configurações de ligação ao cliente:

- **Engenharia por encomenda** – o cliente fornece especificações do produto que pretende, e a empresa concebe, aprovisiona, fabrica, monta e entrega o produto final ao cliente;
- **Fabrico por encomenda** - a empresa, no seguimento da encomenda feita pelo cliente de um determinado produto que ela fabrica, aprovisiona, monta e entrega esse produto ao cliente;
- **Montagem por encomenda** – a empresa produz um número básico de modelos e fornece um catálogo com uma variedade grande de opções a partir daí, a montagem só é realizada quando chega a encomenda;
- **Fabrico para *stock*** – os produtos são produzidos para *stock* e fornecidos ao cliente quando solicitado.

Fluxo de produção

Segundo [7], a forma como o material se movimenta durante o processo de produção pode ser classificado em quatro tipos diferentes:

- **Flow shop** - é o tipo de produção que serve linhas de montagem e indústrias de processo (podendo ser produzido um único produto ou um conjunto de produtos). O *layout* associado a este tipo de produção é, normalmente, disposto em linha. Considera-se neste tipo de produção a produção em massa (produzem-se continuamente grandes quantidades do mesmo produto) e a produção é contínua. Este tipo de produção tende a ser altamente automatizado.
- **Job shop** - é caracterizado pela produção de pequenos lotes de um número elevado de produtos diferentes, tendo cada um deles uma sequência de processamento distinta. Neste tipo de ambiente, de uma forma, são utilizados equipamentos universais e é necessário um maior número de mão-de-obra especializada. Como consequência, normalmente, existe uma grande flexibilidade de produção e de capacidade produtiva.
- **Batch shop** - caracterizada por ter uma produção normalizada e uma linha de produção estável, em que, a quantidade produzida consiste em pequenos lotes produzidos periodicamente, obtendo assim, uma sequência constante.
- **Assembly line** - produção de produtos, que se deslocam entre os postos de trabalho, possuindo uma taxa controlada e uma sequência necessária para o seu fabrico. Também pode ser designada como linha de produção, principalmente quando os equipamentos da fábrica estão dispostos em consonância com a série do processamento.

Conceção do fluxo do processo

Na sequência do estudo do produto e após a seleção de tecnologias e equipamentos a utilizar, para a conceção de um fluxo de processo começa-se por definir todas as operações. Para o realizar, são geralmente desenhados os mapas dos processos, elaborados a partir do estudo realizado sobre os produtos que se pretende fabricar e/ou montar, considerando as respetivas instruções de fabrico e folhas operatórias adjacentes.

2.4 Layouts

O *layout* é a distribuição dos recursos pelo espaço físico disponível. Trata-se portanto de uma configuração espacial que foca particular atenção ao fluxo de pessoas, materiais e informação através do sistema de operações.

As decisões associadas ao *layout* são críticas para as empresas pelos porque implicam investimentos monetários, esforço por parte de quem o implementa e tempo para obter uma boa solução. A implementação de um novo *layout* envolve um compromisso a longo prazo, logo convém prevenir que não existam erros na sua implementação, uma vez que não é boa prática reformulá-lo regularmente. A construção de um *layout* adequado tem um impacto significativo no desempenho do sistema de produção.

A conceção de um *layout* e as decisões que lhe estão associadas revestem-se de grande importância para as empresas. Erros cometidos nas fases iniciais de *design* e implementação dos *layouts*

repercutem-se ao longo do tempo de vida das organizações. Deve-se tentar conceber um *layout* em que:

- seja fácil comunicar e controlar visualmente o que se passa na área de produção;
- as áreas de serviço, apoio e armazenamento de produtos se encontrem bem definidas e funcionais;
- a segurança dos funcionários esteja completamente garantida;
- se tenha em consideração os atributos do material e equipamentos utilizados;
- o fluxo/percurso de materiais, pessoas e documentos seja fácil de executar.

Os problemas que sucedem normalmente nas fases de *design* e implementação de um *layout* são consequência:

- de o planeamento ser feito por pessoas que não conhecem o sistema de produção;
- de as pessoas que conhecem o sistema de produção e os responsáveis pela instalação não estarem envolvidas quando este está a ser formulado;
- de existirem limitações financeiras;
- da visão a curto prazo, isto é, os aspetos relacionados com a evolução dos processos ou a instalação de novos equipamentos ou tecnologias não é considerada.

O planeamento do *layout* acontece em duas alturas cruciais para as organizações: na implementação do mesmo e na adaptação das instalações a novas funções ou desafios. As razões mais frequentes para que a reformulação do *layout* seja efetuada são a necessidade de adaptação a novas funções; o facto de as operações serem realizadas de forma ineficiente; a falta de condições de segurança; a necessidade de cumprir com exigências legais e a alteração do volume de fabrico.

Os benefícios provenientes da conceção de um *layout* adequado são:

- a minimização dos custos de transporte e movimentação de materiais;
- a correta utilização dos espaços;
- a utilização eficiente dos recursos humanos;
- a eliminação de *bottlenecks*;
- a melhoria da comunicação entre setores e dentro do mesmo setor;
- a eliminação de movimentos desnecessários;
- a facilidade de movimentação de recursos e materiais;
- o cumprimento com medidas de segurança;
- a promoção da qualidade dos produtos e serviços;
- facilitar as operações de manutenção dos recursos;
- propiciar o controlo visual das operações e garantir a flexibilidade do sistema de produção.

Por outro lado, as desvantagens associadas à conceção de um *layout* inadequado são:

- elevados custos de transporte e movimentação de materiais;
- maiores tempos de ciclo;
- elevados *stocks* intermédios;

- baixa qualidade dos produtos;
- desmoralização dos colaboradores;
- problemas de segurança;
- deficiente utilização de espaços e equipamentos com áreas demasiado congestionadas enquanto, por outro lado, existem outras pouco preenchidas.

2.4.1 Configurações básicas de um *layout*

Layout industrial consiste na distribuição dos recursos pelo espaço disponível, onde é necessário ter em consideração o espaço necessário para a movimentação do material, dos funcionários e o armazenamento em *stocks*.

O tipo de *layout* a adotar ou a combinação de vários tipos num só estão fortemente relacionados com o tipo de ambiente em que se insere a definição do mesmo e o fluxo de processo produtivo, isto é, o percurso específico que as matérias-primas, peças e subconjuntos seguem ao longo de uma fábrica.

A filosofia *lean manufacturing* identifica o *layout* como sendo um dos principais responsáveis pelos desperdícios na produção. Daí a importância para as empresas, no que diz respeito à conceção de um *layout* e as decisões inerentes, pois quaisquer erros cometidos nas fases iniciais de *design* e implementação refletem-se ao longo do tempo de vida das organizações.

Um *layout* tem como objetivos a integração total de todos os fatores que afetam o espaço físico, a utilização mais eficiente das instalações e do equipamento, facilitar o fluxo de materiais e informação, todo o espaço efetivamente utilizado, a satisfação e segurança dos funcionários e a maior flexibilidade dos meios de produção

Nos pontos seguintes apresentam-se os diferentes tipos de *layouts*:

***Layout* orientado ao processo**

Também conhecido por *layout* funcional, neste tipo de distribuição física os equipamentos ou funções semelhantes são agrupados conjuntamente.

Esta configuração é normalmente utilizada em processos intermitentes, com uma forte componente de equipamentos universais, quando são produzidos artigos em pequenos lotes ou à unidade e em que o fluxo de operações pode ser diferente para cada artigo.

Neste tipo de *layout* os equipamentos e processos são organizados por pessoas e equipamentos que desenvolvem funções semelhantes. É o tipo de *layout* mais indicado quando a empresa possui grande variedade de produtos.

Este tipo de implantação apresenta algumas vantagens, tais como:

- pode abranger, simultaneamente, uma grande variedade de processos e fluxos de operações;
- é pouco vulnerável a falhas de equipamentos;
- maior capacidade de flexibilidade e adaptação a novos requisitos funcionais;
- possui uma grande flexibilidade e possibilidade de ajuste a vários volumes de produção;

- os equipamentos universais são, em geral, de custo mais reduzido que os equipamentos específicos.

Por outro lado, também apresenta algumas desvantagens, tais como:

- as taxas de utilização dos equipamentos são, em geral, baixas;
- a movimentação de materiais é, em geral, mais lenta e ineficiente do que, por exemplo, na implantação em linha;
- maiores dificuldades de supervisão.

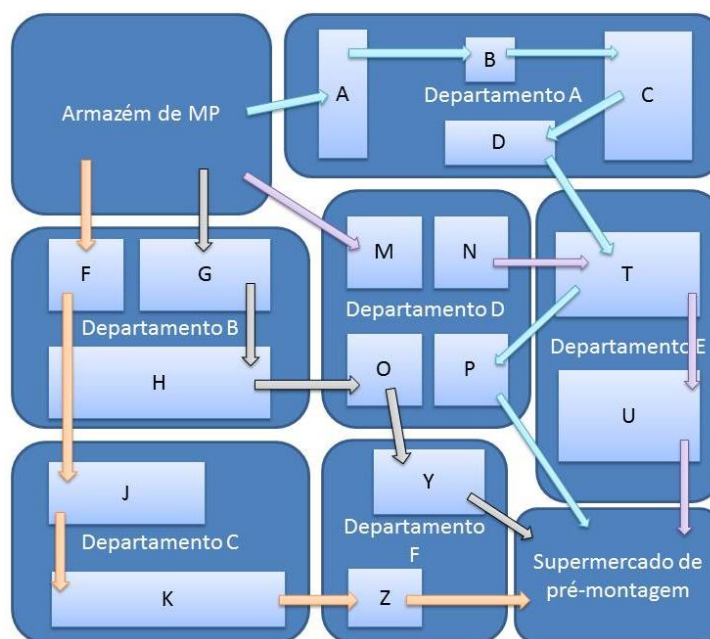


Figura 2.1: *Layout* orientado ao processo

***Layout* orientado ao produto**

Também designado por *layout* em linha. Neste tipo de arranjo físico, os equipamentos ou os processos de trabalho são distribuídos sequencialmente de uma forma específica privilegiando o fluxo inerente à produção de um determinado produto, isto é, de acordo com as fases sucessivas de conceção ou fabrico do produto a fabricar (fluxo em linha). Este tipo de *layout* é muito comum em, por exemplo, linhas de montagem de automóveis, petroquímicas,...

Esta configuração é normalmente utilizada em processos contínuos ou repetitivos em que os equipamentos são dedicados (específicos) às linhas de artigos *standardizados*, sendo, em muitos casos utilizados equipamentos em duplicado para evitar que os materiais voltem atrás.

Devido ao encadeamento das operações, nestas situações haverá que existir um cuidado muito especial no balanceamento da cadeia operacional por forma a garantir os mesmos tempos de execução para todos os postos de trabalho.

Este tipo de *layout* apresenta as seguintes vantagens:

- permite a produção de elevadas quantidades do mesmo produto;
- baixos custos unitários de produção, face aos elevados volumes produzidos;
- reduzida necessidade de forte especialização e reduzidos custos de formação, face à subdivisão de tarefas;
- reduzidos custos unitários de movimentação de materiais, face à repetição de sequências operatórias;
- elevadas taxas de utilização dos equipamentos;
- melhoria no fluxo de produção e informação em comparação com os outros arranjos físicos mencionados;
- diminuição das distâncias percorridas pelo produto no decorrer do processo;
- controlo do fluxo e cargas de trabalho.

Por outro lado, também apresenta algumas desvantagens, tais como:

- do ponto de vista dos trabalhadores, torna-se monótono devido à natureza repetitiva do trabalho;
- existe pouca gratificação pelo trabalho feito devido à pequena contribuição para a execução de cada artigo;
- os funcionários que operam nas partes do processo, normalmente, têm poucas oportunidades de progressão da carreira;
- rigidez (pouca flexibilidade) para resposta a variações de produção (produtos e quantidades);
- sistema vulnerável a falhas de equipamentos.

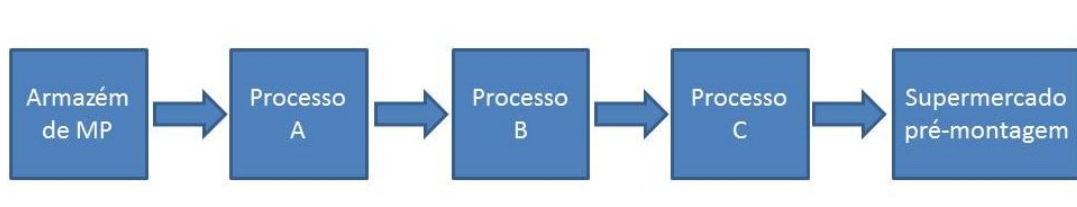


Figura 2.2: *Layout* orientado ao produto

Layout por célula

Este tipo de configuração tem como propósito a formação de grupos de equipamentos dedicados ao fabrico de um produto ou família de produtos. O conceito de *layout* celular e de produção em célula estão fortemente relacionados com a tecnologia de grupo. Esta tecnologia consiste numa filosofia de organização caracterizada por simples fluxo de informação e baseia-se no simples princípio de que coisas similares devem ser feitas de forma similar [8]. A aplicação dos princípios desta tecnologia à indústria teve origem no Japão, sendo estes princípios um dos pilares do TPS.

Os grupos tecnológicos permitem a implementação de sistemas flexíveis e competitivos, tirando partido das vantagens da produção em série e da produção unitária.

Um *layout* celular é semelhante ao arranjo físico associado ao *layout* por processo pelo facto de as células efetuarem um conjunto específico de processos ou operações. É também semelhante ao *layout* em linha devido ao facto das células serem dedicadas a uma gama limitada de partes de produtos.

Uma célula de produção é um grupo de processos concebido para produzir uma família de produtos de uma forma flexível. Os operários, nas células de produção, devem dominar múltiplos conhecimentos e podem transitar entre células de acordo com as necessidades do sistema de produção. É comum uma célula ser constituída por menos de dez recursos, sendo habitual o funcionário ter a seu cargo mais do que uma estação.

A implantação do tipo celular associada à tecnologia de grupo é mais utilizada em ambientes de produção do tipo intermitente ou misto, mas pode ser adaptada a produções contínuas.

Procedimento geral para a formação de um *layout* celular e famílias de produtos que o integram:

- identificar famílias de produtos com fluxos de fabrico e características similares;
- agrupar recursos em células de acordo com as famílias de produtos;
- dispor as células de forma a minimizar o movimento e transporte dos materiais;
- localizar as máquinas partilhadas em pontos centrais de forma a servir as células e a minimizar transportes e *stocks*.

Caraterísticas gerais deste tipo de *layout*:

- unidades (células) autónomas de produção;
- a atribuição de ordens ou encomendas é feita por célula;
- facilidade na gestão e coordenação de células.

Este tipo de configuração de *layout* apresenta as seguintes vantagens:

- melhores relações humanas, uma vez que as células são constituídas por poucos trabalhadores que formam uma equipa e que reúne unidades de trabalho completas;
- a perícia dos operadores é melhorada, atendendo a que atuam apenas sobre um número limitado de peças diferentes num ciclo de produção finito e a repetição significa aprendizagem rápida;
- menos manuseamento de materiais, uma vez que uma célula combina várias fases de produção;
- possibilidade de ajuste a vários volumes de fabrico;
- preparação dos equipamentos (tempo de *setup*) mais rápida, atendendo a que existindo menos tarefas existirão menos ferramentas e mudança de ferramentas mais rápida.
- existência de *stocks* intermédios reduzidos;
- autonomia;
- simplicidade na gestão;
- redução de espaço em comparação com o *layout* funcional;
- menores erros de qualidade;

- maior flexibilidade;
- redução dos tempos não produtivos.

Por outro lado, apresenta as seguintes desvantagens:

- dificuldade na formação de famílias e na criação das respetivas células;
- investimentos associados à multiplicação de equipamentos e outros meios para apetrechar as células;
- dificuldade em acomodar novos produtos que não se enquadrem em nenhuma das atuais famílias ou células criadas.

A tecnologia de grupo permite às empresas eliminar as desvantagens dos *layouts* funcionais (complexos e pouco produtivos) e ao mesmo tempo tirar partido das vantagens dos *layouts* em linha, abdicando, em relação a estes, dos volumes de produção.

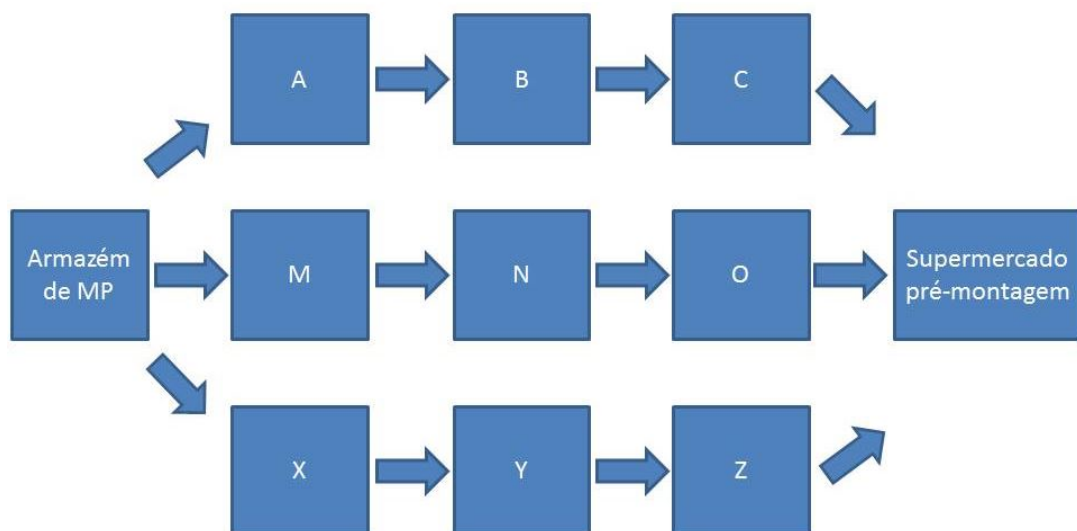


Figura 2.3: *Layout* celular

***Layout* de posição fixa**

Quando os equipamentos de fabrico, os materiais e os trabalhadores são deslocados para junto do produto em construção, o tipo de produto originado é de dimensão elevada, comparável à indústria de construção de aviões.

Esta configuração é normalmente utilizada em processos intermitentes e quando o artigo a construir não pode ser deslocado, por questões de volume ou de peso.

2.5 Systematic layout planning (SLP)

O trabalho desenvolvido tem por base os conceitos associados a esta metodologia.

O SLP [9] consiste numa forma de abordar a reorganização ou conceção de raiz do espaço físico de trabalho, sendo neste caso, o espaço considerado uma instalação industrial de produção, destinado ao fabrico de vários produtos. Neste contexto de produção, considera-se como objetivo criar um *layout* mais eficiente. A reorganização é elaborada tendo por base um conjunto de procedimentos, apresentando uma cadeia operacional faseada, procedimentos e convenções, através das quais se poderão identificar, avaliar e visualizar todos os elementos implicados na preparação do *layout*.

A metodologia SLP tem como elementos base para a preparação de um *layout*:

- o produto (ou materiais) – os produtos a fabricar, as matérias-primas, os componentes adquiridos, os produtos semiacabados e finais;
- a quantidade (ou volume) – a quantidade de produtos a fabricar ou de materiais a utilizar. As quantidades podem ser avaliadas em número de peças, peso, dimensão, valor produzido ou de venda;
- o processo operativo – o mapeamento do processo de produção propriamente dito que, para além da sequência das operações realizadas, indica os equipamentos e ferramentas a utilizar, assim como os funcionários que as realizam;
- os serviços anexos – serviços, atividades e funções que são necessárias para além das operações de transformação propriamente ditas, designadamente, manutenção, inspeção, armazenagem, aprovisionamento,...
- os tempos – o tempo que permite definir de forma precisa quando os produtos devem ser fabricados, os tempos das variadas operações,...

O SLP pode também ser utilizado para aumentar e facilitar o fluxo de materiais e melhorar a comunicação entre os colaboradores numa empresa, nomeadamente, na implementação de células de trabalho e na implementação da filosofia de *lean manufacturing*. Atualmente, esta abordagem é utilizada por inúmeras empresas do ramo industrial..

2.5.1 Análise produto-quantidade

O processo inicia-se pela análise dos produtos a fabricar e respetivas quantidades que são previstas produzir. Tal análise serve como base fundamental para a seleção do tipo de produção e da disposição dos recursos e secções produtivas na instalação industrial onde se vai proceder ao fabrico, bem como à sua combinação ou repartição.

Tendo como referência a produção prevista ou o plano de produção dos vários produtos, podem ordenar-se, por quantidades ou volumes, definidos para diferentes tipos de produtos a fabricar, podendo utilizar-se, para o efeito, um gráfico *Produtos-Quantidade* 2.4.

Numa extremidade da curva P-Q são inseridos os produtos que se pretende fabricar em maior quantidade e na outra ponta da curva são inscritos os produtos fabricados em pequena quantidade.

Os produtos poderão ser divididos com base:

- nas dimensões, pesos, formatos ou natureza;

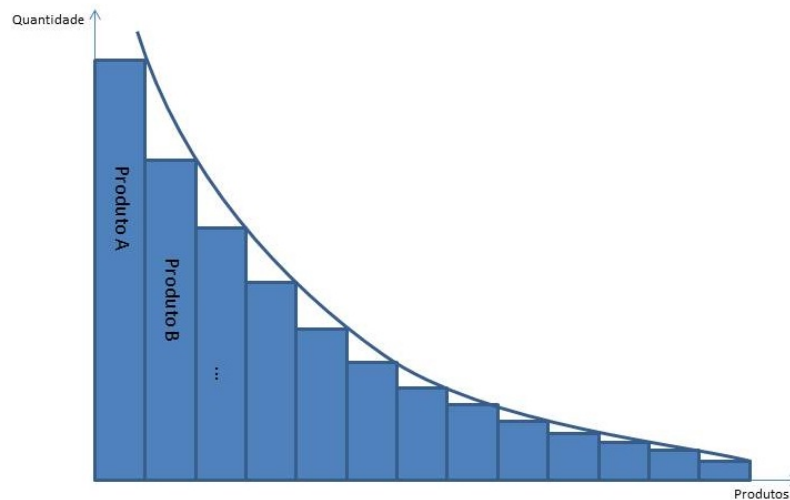


Figura 2.4: Curva Produto-Quantidade

- nos tipos de materiais e componentes para a sua fabricação;
- nos processos, fluxo ou sequência de operações;
- no equipamento utilizado ou no tipo de construção necessária para abrigar o equipamento;
- na qualidade do trabalho exigido;
- na natureza da energia, dos serviços auxiliares ou dos anexos requeridos.

Este gráfico só deve ser utilizado para produtos cujo processo de fabrico seja semelhante. Caso contrário devem-se conceber unidades de produção separadas para cada conjunto de produtos. A análise P-Q permite seleccionar os produtos mais significativos que irão determinar o essencial do processo de produção.

2.5.2 Fluxo dos materiais

A disposição dos equipamentos está fortemente relacionada com os fluxos de materiais, cuja percepção é obtida com o auxílio de mapas dos processos de produção, desde a receção da matéria-prima até à criação do produto acabado.

O mapeamento dos processos indica-nos como os produtos são fabricados, ou seja, quais as etapas consideradas para obter o produto acabado. Através de mapas dos processos dos vários produtos e das quantidades previstas fabricar, é possível proceder a uma análise da circulação dos produtos, ou seja, da intensidade de movimentação dos materiais entre os vários recursos e postos de trabalho ao longo do processo de produção.

A intensidade de movimentação dos materiais pode ser obtida através de uma tabela matricial, na qual é registado o número de movimentos entre os vários equipamentos e postos de trabalho correspondentes à totalidade dos produtos a fabricar.

2.5.3 Relação entre atividades

A análise da circulação dos materiais descrita em 2.5.2, não considera a totalidade das tarefas realizadas que, todavia, são importantes num processo produtivo e devem estar integradas no fluxo de materiais de uma forma organizada. Por outro lado, mesmo no que se refere às atividades ou funções produtivas poderão ocorrer situações de relações preferenciais de proximidade ou afastamento.

Através de uma tabela relacional poderá ser visualizada a intensidade da relação entre cada recurso ou setor, com utilização de uma codificação dos graus de importância da proximidade e, eventualmente, o motivo dessa relação.

Quanto aos motivos de proximidade ou afastamento entre os recursos, poderão ser provenientes da:

- importância de contactos diretos;
- importância de contactos administrativos ou de informação;
- utilização comum de equipamentos ou meios auxiliares;
- utilização comum de operadores;
- utilização de serviços comuns;
- questões ambientais;
- questões de segurança;
- circulação de produtos.

2.5.4 Diagrama relacional de recursos

Determinados os percursos dos produtos e a relação entre as atividades, é possível obter-se uma "imagem" dos dados recolhidos através da elaboração de diagramas relacionais. A partir da tabela matricial de movimentação, pode construir-se um diagrama de movimentação, representando os equipamentos, postos de trabalho ou secções envolvidas, inserindo os respetivos valores associados à necessidade dos recursos funcionarem com maior ou menor proximidade.

2.5.5 Determinação dos espaços

Identificadas as atividades, setores e serviços é necessário determinar os espaços respetivos, de forma a assegurar um adequado funcionamento dos processos e de movimentação dos materiais.

A determinação dos espaços da instalação industrial deve ser iniciada pela realização do inventário e caracterização de equipamentos, dispositivos e postos de trabalho correspondentes a cada setor e serviços associados como resultado da opção da configuração básica do espaço.

Com base nas características dimensionais dos equipamentos pode elaborar-se uma listagem das áreas necessárias, onde se inclui a área para movimentação e serviços de apoio. Posteriormente, poderão ser exploradas soluções alternativas de implementação, as quais, deverão ter em conta as limitações práticas do espaço físico.

2.5.6 Avaliação de alternativas

Para avaliar as alternativas de concepção do *layout* deve-se ter em conta aspetos de carácter quantitativo (custos, áreas,...) e fatores qualitativos (facilidade de uma futura expansão, eficácia do circuito de produtos e da relação entre atividades, segurança,...).

Uma forma de avaliar as alternativas consiste na aplicação do modelo multiatributo, indexando diferentes pesos aos diferentes critérios. Para complementar a avaliação das alternativas é conveniente, também, efetuar uma análise comparativa dos respetivos custos.

2.5.7 Células de produção

Uma célula de produção tem as seguintes características:

- dimensão reduzida no âmbito da totalidade do processo, mas, no entanto, tratada como uma instalação completa;
- ser constituída por duas ou mais estações de trabalho independentes dos restantes processos produtivos, mas integrada ou complementar numa sequência de operações;
- proceder de forma integrada à transformação de apenas um ou de uma família de produtos.

Podem ser implementados diferentes tipos de células de produção, uma vez que o desenho de uma célula pode também ser otimizado através de uma sequência de processo com menores quantidades de componentes, menor movimentação de materiais e, consequentemente, com menores *stocks* intermédios.

Quando as células são concebidas para produzir componentes similares mas não produtos completos, são vulgarmente designadas por grupos tecnológicos (GT). Estes grupos são constituídos com o objetivo de produzirem componentes ou famílias de diferentes produtos, tendo por base os processos ou equipamentos, se bem que eventualmente diferentes, mas comuns para a fabricação das partes que lhe são atribuídas, podendo ter-se em conta aspetos dimensionais dos componentes, uma vez que tal é uma condicionante dos equipamentos a utilizar.

2.5.8 Otimização da movimentação dos materiais

A movimentação de materiais constitui um subsistema que deve estar integrado no conjunto do sistema produtivo e que deverá ser objeto de uma procura sistemática de otimização, ou seja, de minimização de custos e, também, de minimização de riscos de acidentes e de esforço requerido ao trabalhador.

Tal otimização poderá passar por:

- eliminar todos os movimentos que não sejam estritamente necessários;
- tornar a movimentação dos materiais o mais curta possível;
- reduzir os custos de movimentação através de uma boa localização dos equipamentos produtivos e das secções de produção e com a utilização de equipamentos ou dispositivos de movimentação entre operações.

2.5.9 Metodologias para formação de *clusters*

Clusterização consiste na divisão de dados. Considerando o âmbito desta dissertação os dados a agrupar são recursos que integram os processos de produção realizados na instalação industrial. Com base na similaridade entre eles, o objetivo é formar *clusters*. Isto pressupõe que os recursos contidos num *cluster* são mais similares entre eles do que com os recursos que pertencem a *clusters* diferentes. Neste caso, como não existe uma organização de recursos inicial, este processo de *clusterização* tem como objetivo encontrar uma organização válida e conveniente para os vários recursos.

Cada recurso que integra o sistema onde se pretende criar os ditos GT é caracterizado por n atributos que são mais ou menos importantes na tomada de decisão

A formação de grupos tecnológicos (*clusters*) é cada vez mais utilizada como ferramenta para a construção de *layouts* industriais devido à forma eficiente com que estas técnicas auxiliam o utilizador a agrupar os diferentes recursos de forma organizada. Por outro lado, a sua utilização exige o domínio de uma ou várias técnicas de *clusterização* que nem sempre são fáceis de concretizar.

Neste contexto, nesta secção, serão apresentadas várias técnicas e algoritmos que já se encontram desenvolvidos e publicados em dissertações, artigos científicos e livros relacionados com a otimização, não só, de linhas de produção industrial, mas também na conjunção de outros tipos de dados.

A base da formação de *clusters* consiste em agrupar os vários recursos existentes de forma coerente com os propósitos previamente definidos pelo responsável pela sua utilização, tendo em conta restrições que sejam impostas por qualquer fator existente.

É importante referir que nem sempre a melhor solução obtida considerando todos os parâmetros ou critérios para a sua formação representa a melhor solução considerando apenas um ou mais desses critérios. O propósito desta abordagem é criar um sistema de produção em que os materiais a serem produzidos, de forma ideal, sejam operados apenas num *cluster*. Na realidade nem sempre é possível agrupar os recursos de modo a atingir esse objetivo, uma vez que diferentes produtos podem utilizar máquinas que pertençam a mais do que um *cluster*. De qualquer forma a intenção é sempre criar *clusters* que assegurem a maior independência possível.

O processo de *clusterização* pode ser partido em várias fases, conforme as enunciadas na figura 2.5

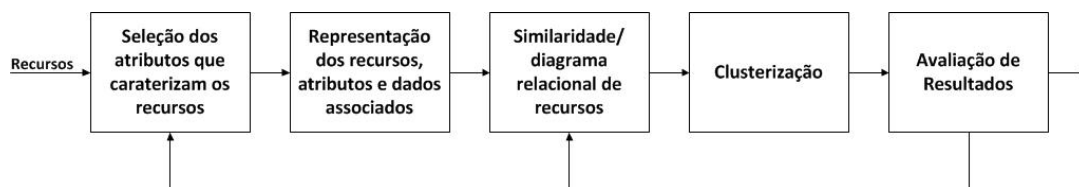


Figura 2.5: Fases do processo de *clusterização*

Assim sendo é conveniente caracterizar as diferentes fases do processo de *clusterização*:

- Seleção dos atributos que caracterizam os recursos

Nesta etapa são identificados os fatores a ter em consideração na tomada de decisão, isto é, o utilizador tem de decidir quais os atributos que são importantes para a tomada de decisão associada à formação dos *clusters*. Esta etapa é, talvez, a mais importante de todo o processo, uma vez que, é nela que se definem os fundamentos em que se vai basear a tomada de decisão de formação dos GT.

- Representação dos recursos, atributos e dados associados

Neste ponto o responsável pelo processo de *clusterização* deve decidir a forma como vai alocar os dados que caracterizam os vários recursos, mediante os atributos definidos na etapa anterior. Esta forma de coletar os dados vai ser essencial na fase em que estes dados serão utilizados.

- Similaridade/diagrama relacional de recursos

Para que a proximidade ou afastamento de dois recursos, um em relação ao outro, seja quantificada é necessário aplicar algum tipo de coeficiente de similaridade ou um modelo que permita utilizar os dados recolhidos e, através deles, obter uma relação lógica entre os vários recursos.

- *Clusterização*

A *clusterização* propriamente dita tem como base um modo de agrupamento dos dados, que pode ser realizado utilizando diversas técnicas. Os algoritmos de *clusterização* são classificados de acordo com as diferentes técnicas que empregam no agrupamento dos recursos. À saída desta fase do processo pretende-se obter a divisão do conjunto de recursos inicialmente analisado em *clusters*, com base nos critérios definidos inicialmente.

- Validação e análise de resultados

Nesta etapa procede-se à avaliação da ou das soluções obtidas. Esta avaliação e posterior validação dos resultados obtidos pode ser feita utilizando índices estatísticos ou através da comparação com outros algoritmos que sejam utilizados na resolução de problemas do mesmo tipo. Caso os resultados obtidos não sejam satisfatórios, esta etapa pode levar à redefinição dos atributos escolhidos para caracterizar os vários recursos ou à utilização de outro ou outros coeficientes de similaridade ou modelos de criação de diagramas relacionais.

2.5.10 Medidas de similaridade

As medidas de similaridade são frequentemente utilizadas em problemas de formação de células de produção industrial, com o objetivo de alocar máquinas em *clusters*. O sistema ideal consiste em formar *clusters* tais, que todas as peças que sejam maquinadas num determinado *cluster* sejam apenas maquinadas dentro desse *cluster* e todas os recursos que o constituem sejam utilizados na manufatura dessas peças.

As células devem conter os recursos mais similares entre si, isto é, os recursos que compõem um determinado *cluster* devem ser utilizados na produção das peças que são maquinadas nesse *cluster*.

Nesta secção são apresentadas as medidas de similaridade, que foram consideradas mais pertinentes para obter uma solução final aceitável.

Numa primeira fase são apresentadas medidas de similaridade baseadas em dados binários.

Medidas de similaridade baseadas em dados binários

Estes algoritmos utilizam técnicas hierarquizadas baseadas em coeficientes de similaridade. Uma vez que existe um número infinito de medidas de similaridade, existe também um elevado número de algoritmos que as utilizam. As características que os distinguem dos restantes são:

- a sua simples aplicação, quando comparados a outros algoritmos de agrupamento, uma vez que não exigem muitas manipulações das matrizes de incidência;
- permitem a identificação de diferentes soluções, para a mesma configuração original da matriz de incidência;
- as medidas de similaridade usadas por estes algoritmos apresentam um método de cálculo simples, facilitando a sua utilização;
- a possibilidade de variar os limites de similaridade e consequentemente obter soluções em que o número de máquinas e peças presentes em cada célula seja também variável, aumentando a flexibilidade de escolha por uma solução de *layout* mais pertinente.

Existem, diversos coeficientes de similaridade baseados em atributos binários, sendo que foram selecionadas sete dessas medidas, que se encontram caracterizadas na tabela apresentada de seguida, devido à sua frequente utilização neste tipo de problemas.

Tabela 2.1: Medidas de Similaridade baseadas em dados binários

Coeficiente de Similaridade	Representação Matemática
Jaccard	$\frac{a}{(a+b+c)}$
Simple Matching	$\frac{(a+d)}{a+b+c+d}$
Sorensen Dice	$\frac{2a}{2a+b+c}$
Sokal Sneeth	$\frac{(a)}{a+2(b+c)}$
Bray Curtis Distance	$\frac{(b+c)}{(2a+b+c)}$
Rogers-Tanimoto	$\frac{(a+d)}{(a+2(b+c)+d)}$
Gower-Legendre	$\frac{(a+d)}{(a+0,5(b+c)+d)}$

Estas medidas de similaridade são utilizadas para calcular a similaridade entre duas entidades. Supondo que existem duas entidades x e y . Neste caso a é o número de dados que se encontram associados em ambas as entidades x e y , b e c representa o número de dados que se encontram associadas à entidade x e y respetivamente e d o número de dados que não se encontram associados

nem à entidade x nem à entidade y . Para finalizar n é o número total de dados que se encontram associados a todas as entidades existentes.

Na tabela seguinte é representadas as relações de contingência entre dois objetos que definem as condições de similaridade entre estes. No caso da formulação matricial, podem assumir valores binários (0 ou 1).

Tabela 2.2: Relações de contingência entre dois objetos que definem as condições de similaridade entre estes

		j		Soma
		1	0	
i	1	a	b	a+b
	0	c	d	c+d

Em [10], o autor conclui que existem vários coeficientes de similaridade que podem ser aplicados na formação de grupos. Eles são utilizados em associação com várias técnicas de *clustering* para identificar as famílias de produtos e as células de recursos. Os autores concluíram que, embora tenham realizado muitos estudos sobre o desempenho dos diferentes coeficientes de similaridade não conseguiram demonstrar que existe um coeficiente de similaridade que seja especialmente eficaz em todas as situações.

Por outro lado, em [11], Yong Yin e Kazuhiko Yasuda, analisaram 214 problemas, 94 dos quais presentes na literatura abordada por eles e 120 inventados deliberadamente para proceder à sua análise através de nove medidas de performance. Os autores tiveram em consideração vinte medidas de similaridade diferentes e concluíram, através dos resultados obtidos, que três delas (*Jaccard*, *Sorenson*, *Sokal and Sneath 2*) são soluções eficientes para o agrupamento de recursos. Por outro lado, concluíram também que quatro delas (*Hamann*, *Simple Matching*, *Rogers and Tanimoto*, *Sokal and Sneath*) não são eficientes para este tipo de problemas. Outra conclusão tirada pelos autores revela que o coeficiente de similaridade de *Jaccard* é o mais estável.

Otimização segundo múltiplos critérios

Na Engenharia Industrial a comparação de soluções para a formação de *layouts* e células de manufatura, normalmente, tem em consideração mais do que um atributo. Esta natureza multiatributo resulta do facto de estes problemas terem muitas variáveis que podem afetar o funcionamento da linha de produção, desde variáveis que incidem diretamente no desempenho profissional dos funcionários, a fatores intrínsecos de natureza ética dependentes da sociedade em que são implementadas, fatores relacionados com a higiene e segurança no trabalho dos próprios operários e fatores económicos. Sendo o objetivo a maximização de lucros e minimização de despesas e fatores técnicos, como dependente das soluções que vão sendo encontradas no mercado e que podem ou não ser viáveis no projeto da linha de produção a analisar [12].

Posto isto, é normal encontrar fatores que sejam contraditórios, como por exemplo, é necessário é necessário criar melhores condições de segurança para os funcionários mas por outro lado, a implementação destas medidas pode criar um aumento do investimento financeiro.

Este tipo de situações colocam os responsáveis pela implementação da linha de produção perante fatores adversativos, isto é, a solução *a* pode ser melhor que a solução *b*, mediante o atributo *x* e pior mediante o atributo *y*.

Desta forma torna-se necessário atribuir pesos diferentes aos diferentes atributos, criando assim relações de importância relativa entre estes [13].

Em determinadas situações, pode existir uma relação de subordinação entre fatores. Sendo assim, o problema pode ser abordado tendo em consideração apenas o fator com o peso mais elevado, e no caso de se obterem soluções com o mesmo resultado final importa analisar o problema mediante o segundo fator mais importante para obter uma situação de desempate e assim sucessivamente, até conseguir duas soluções diferentes. No entanto, esta abordagem à questão de formação da linha de produção, geralmente não produz a "melhor solução", porque só tem em consideração um ou alguns dos fatores que se considerou inicialmente. Desta forma conclui-se, que é conveniente atribuir pesos diferentes aos diferentes atributos, criando assim relações de importância relativa entre estes [13].

Imaginemos que dois atributos são medidos em unidades diferentes. Para normalizar estes valores podemos efetuar vários procedimentos, tais como, pesquisar a relação entre unidades diferentes ou padronizar cada escala.

Neste tipo de padronização existe o inconveniente de serem sensíveis ao conjunto das alternativas em comparação, ou seja, se se incluir uma alternativa adicional corre-se o risco de haver uma alteração global dos resultados padronizados. Este inconveniente pode ser ultrapassado utilizando máximo e mínimo absolutos em vez de relativos que se obtêm ao longo de cada atributo para cada conjunto de alternativas.

2.5.11 Técnicas de formação de *clusters*

A conceção de *layouts* industriais baseada em *clusters* é cada vez mais utilizada no mundo industrial. Nesta secção será apresentado um resumo de vários algoritmos de *clusterização* mais utilizados na formação de conjuntos, denominados *clusters*. Estes algoritmos são utilizados em várias áreas onde se pretende agrupar, mediante determinados critérios, dados de uma forma lógica.

O objetivo deste tipo de técnicas é atingir a melhor solução viável, isto é, a solução que cumpra com todas as restrições do problema e que mais se aproxima da solução ideal. No caso da formação de GT a melhor solução é atingida quando os materiais que percorrem um determinado percurso até à obtenção do produto final não precisam de ser deslocadas entre GT e todos os recursos que compõem os *clusters* onde determinado produto é concebido são utilizados na produção do dito produto. Resumidamente, o objetivo é criar *clusters* que sejam independentes uns dos outros. Contudo, este objetivo nem sempre é possível de atingir. Neste caso o ideal é criar grupos caracterizados por serem independentes, dentro das possibilidades, uns dos outros.

Os algoritmos de *clusterização* mais utilizados na literatura estudada podem ser classificados da seguinte forma:

- agrupamento baseado em grafos;
- agrupamento baseado em redes neuronais artificiais;
- agrupamento hierárquico.

Agrupamento por particionamento em grafos

Neste tipo de agrupamento o problema a ser abordado é representado por um grafo onde os vértices V são os dados a agrupar e as arestas E o fator que os liga aos restantes vértices. Posto isto um grafo é um conjunto dado por $G = (V, E)$.

Quanto maior o número de arestas que se encontram conetadas a um vértice, maior o grau ou a conectividade desse vértice. As arestas de um grafo podem ser unidirecionais ou bi-direcionais, isto é, no primeiro caso a ligação só se efetua num determinado sentido, ou seja do vértice V_a para o vértice V_b e no segundo caso a relação é recíproca.

Em [14] os autores apresentam algoritmos para o problema de particionamento em grafos e propõem uma nova heurística GRASP para a resolução do problema proposto. Eles comparam a solução obtida com outras soluções utilizando outros algoritmos e, concluem que, com a heurística criada conseguiram uma melhoria significativa na qualidade da solução obtida.

Agrupamento baseado em redes neuronais artificiais

As redes neuronais são caracterizadas por possuírem uma tecnologia de suporte e apoio à decisão bastante evoluída. São baseadas em simulações matemáticas semelhantes à lógica de raciocínio humano. As redes neuronais são obtidas pela interligação de vários atributos relevantes para efetuar uma determinada análise. Segundo [15], as redes neuronais simulam artificialmente um sistema de comunicação semelhante ao dos neurónios do ser humano. Desta forma, as informações interligam-se por uma rede na qual cada unidade recebe e combina uma série de dados de entrada numa única saída, que por sua vez dá entrada numa nova unidade até se obter uma solução (saída) final.

Desta forma, o funcionamento das redes neuronais é dinâmico, sendo possível que se ajustem para determinadas funções. Por esta razão, devido às suas características, as redes neuronais artificiais são utilizadas em situações de análise ou casos em que, devido a diversos fatores, não é possível implementar um modelo exato ou em ambientes em que os dados de entrada se encontram em constante mutação.

Em [16], o autor apresenta um modelo com múltiplos dados de entrada que se interligam e compara os resultados obtidos por esse modelo com outros resultantes de quatro modelos baseados em redes neuronais.

Agrupamento hierárquico

Os algoritmos hierárquicos constroem uma hierarquia de relações entre os elementos que compõem os dados a agrupar. Os métodos de formação de *clusters* hierárquicos não permitem criar

células de recursos e famílias de produtos ao mesmo tempo, sendo necessário definir cada um separadamente.

Os algoritmos desta classe utilizam como dados de entrada um coeficiente de similaridade 2.5.10 que deve ser calculado previamente através dos dados inerentes ao sistema a ser desenvolvido. Através destes coeficientes o algoritmo determina uma hierarquia de grupos, onde se regista por cada nível hierárquico a possibilidade de existir um número diferente de *clusters* com números de elementos que o constituem diferente.

Os algoritmos desta classe podem ser divididos em dois subgrupos, nomeadamente, algoritmos divisivos e aglomerativos. Os algoritmos divisivos são iniciados colocando todos os recursos num mesmo grupo e, iterativamente, o grupo inicial vai sendo partido em vários subgrupos. Os algoritmos aglomerativos, pelo contrário, partem de grupos apenas com um elemento que se vão agrupando até chegar a uma solução em que o utilizador do mesmo considere adequada. O critério de paragem é definido pelo utilizador, isto é, quando este encontrar uma solução conveniente interrompe o particionamento e obtém a solução pretendida.

Este método apresenta como vantagens o facto de poder utilizar vários dados de entrada, oferecendo assim a possibilidade de, para obter uma solução final, ter em conta vários fatores/atributos.

Segundo [17], o funcionamento do algoritmo divisivo é mais complexo do que o do algoritmo aglomerativo, pois depende de um algoritmo, como por exemplo o *K-Means*, para funcionar.

Esta técnica de agrupamento será utilizada na construção do algoritmo de clusterização desenvolvido no âmbito desta dissertação. Dentro das duas soluções existentes, algoritmo divisivo e aglomerativo, optou-se pela utilização do algoritmo aglomerativo, devido a existirem restrições que obrigam determinados recursos a pertencerem a *clusters* diferentes, logo não é possível iniciar a procura de uma solução com todos os recursos num só conjunto.

Capítulo 3

Modelação

3.1 Modelo relacional de recursos

No âmbito desta dissertação foi desenvolvido um modelo matemático que relaciona os vários recursos existentes numa instalação industrial, com o objetivo de proporcionar ao utilizador uma visão sobre a importância dos vários recursos que são utilizados num ou diversos processos produtivos por forma a estarem mais ou menos próximos uns dos outros, mediante a valorização de um conjunto de atributos que caracterizam o processo produtivo existente.

Este modelo pode ser aplicado em qualquer empresa do ramo industrial, uma vez que, tem em consideração vários atributos que se encontram presentes em qualquer instalação industrial e que são de extrema importância na criação de relações entre os recursos que constituem o sistema produtivo. Este modelo pode servir como base para efetuar o planeamento de um *layout* industrial, independentemente do seu tipo.

Apesar de existirem muitos métodos que permitem calcular a similaridade entre os recursos que constituem uma unidade de produção, nenhum dos métodos analisados na secção 2.5.10 tem em conta os parâmetros que foram utilizados na conceção do modelo apresentado na presente secção.

Os atributos a ter em conta na conceção deste modelo foram:

- fluxo de materiais entre os vários recursos;
- transportes realizados por operadores, sendo que estes podem ser classificados em transportes realizados de forma manual ou com um recurso auxiliar;
- tarefas realizadas nos vários recursos pelos operadores;
- restrições relacionadas com o fato de se considerar que determinados recursos têm de pertencer ao mesmo *cluster*;
- restrições relacionadas com o facto de determinados recursos terem de se encontrar em *clusters* diferentes, devido à natureza de cada recurso, aos requisitos funcionais de cada, questões de segurança, higiene,...

Convém referir que a aplicação do modelo aqui apresentado a um caso real implica que o utilizador seja conhecedor dos processos de produção associados à instalação industrial onde será

utilizado e, de preferência efetue previamente o mapeamento dos processos produtivos, identificando os responsáveis pelos transportes e pelas tarefas.

Na secção 3.1.1 são apresentados os parâmetros a considerar na utilização do modelo implementado.

3.1.1 Parâmetros do modelo

Os parâmetros a ter em conta na classificação da importância da relação entre os vários recursos são apresentados de seguida:

$Imp_{FluxoMateriais}$ - Importância do fluxo de materiais na decisão final;

$Imp_{Transportes}$ - Importância dos transportes realizados na decisão final;

$Imp_{Tarefas}$ - Importância das tarefas realizadas na decisão final;

$Imp_{Processo_j}$ - Importância do Processo j na tomada de decisão;

$Imp_{Operador_i}$ - Importância do Operador i na tomada de decisão;

α - Peso atribuído ao número de recursos em que o operador i realiza transportes/tarefas;

β - Peso atribuído ao número de transportes/tarefas que o operador i realiza;

τ - Peso atribuído aos transportes realizados manualmente;

σ - Peso atribuído aos transportes realizados com auxílio de um recurso auxiliar;

$$Proximidade_k = \begin{cases} 1, & \text{se os recursos } a \text{ e } b \text{ forem obrigados a pertencer ao mesmo } cluster \\ 0, & \text{se os recursos } a \text{ e } b \text{ não forem obrigados a pertencer ao mesmo } cluster \end{cases}$$

$$Afastamento_k = \begin{cases} 1, & \text{se os recursos } a \text{ e } b \text{ pertencerem obrigatoriamente a } clusters \text{ diferentes} \\ 0, & \text{se os recursos } a \text{ e } b \text{ não pertencerem obrigatoriamente a } clusters \text{ diferentes} \end{cases}$$

A_{ij} - Número de pares de recursos em que o operador i realiza operações de transporte manualmente no processo j ;

B_{ij} - Número de transportes realizados manualmente pelo operador i no processo j ;

C_{ij} - Número de pares de recursos em que o operador i , no processo j com auxílio de um recurso auxiliar realiza operações de transporte;

D_{ij} - Número de transportes realizados pelo operador i no processo j com auxílio de um recurso auxiliar;

G_{ij} - Número de recursos em que o operador i realiza tarefas no processo j ;

H_{ij} - Número de tarefas que o operador i realiza no processo j ;

$FluxoMateriais_{jk}$ - Quantidade de de materiais entre o par de recursos k , no processo j ;

$Transportes_{ijk}$ - Número de transportes realizados pelo operador i no processo j entre o par de recursos k manualmente;

$TranspRecAux_{ijk}$ - Número de transportes realizados pelo operador i no processo j entre o par de recursos k , com um recurso auxiliar;

$Tarefas_{ijl}$ - Somatório do número de tarefas realizadas pelo operador i , no processo j , no recurso l ;

O nome peso é atribuído aos fatores cujo valor já se encontra previamente definido e importância aos valores que podem ser atribuídos pelo utilizador do modelo, através da interface gráfica.

3.1.2 Importância dos processos

Na aplicação do modelo desenvolvido o utilizador pode definir diferente importância para cada um dos processos produtivos associados à instalação industrial. Caso exista apenas um processo, obviamente, ser-lhe-á atribuída a total importância. Contudo, por vezes, existem processos críticos e outros também importantes, mas de menor valor ou até processos igualmente importantes. Essa distinção pode ser efetuada atribuindo valores diferentes ao fator *ImpProcesso*.

A importância de cada processo produtivo pode ser quantificada, por exemplo, tendo em conta o número de tarefas e/ou transportes que são realizados em cada um dos processos, considerando o tipo de material envolvido, ou devido a requisitos específicos que determinado produto contenha.

3.1.3 Restrições

Recursos que têm de pertencer ao mesmo *cluster*

A restrição de dois recursos pertencerem ao mesmo *cluster* é imposta pelo cliente. Normalmente esta necessidade deve-se ao facto de um determinado operador realizar sistematicamente tarefas consecutivas entre o par de recursos em questão, ou ao facto do transporte efetuado entre esses dois recursos for de alguma forma complicado de realizar.

Na matriz *Proximidade*, quando $Proximidade_k = 1$, a junção dos recursos é considerada obrigatória.

Recursos que têm de pertencer a *clusters* diferentes

De forma similar às questões relacionadas com a imposição de proximidade entre recursos, a necessidade de dois ou mais recursos se encontrarem afastados um do outro também pode ser provocada por várias razões, como questões relacionadas com segurança ou questões relativas à qualidade do processo produtivo e do próprio produto final.

Por exemplo, numa determinada linha de produção podem existir zonas onde o processo produtivo origine poeiras e resíduos prejudiciais ao bom funcionamento de outro local de trabalho. Quando sucede este tipo de situação deve ser salvaguardado o facto dos dois recursos em questão serem obrigados a situarem-se distantes e devidamente incontactáveis.

Na matriz *Afastamento*, se $Afastamento_k = 1 \Rightarrow$ os recursos em questão têm de pertencer a *clusters* diferentes.

Aplicação de restrição

Como referido nesta sub-secção, no processo de atribuição de grau relacional aos pares de recursos mediante os atributos considerados, são descartados os pares de recursos que obrigatoriamente tenham de ser colocados no mesmo *cluster* ou em *clusters* diferentes. Esta situação encontra-se retratada no fluxograma apresentado na figura 3.1, em que atributo corresponde ao fluxo de materiais, transportes realizados ou às tarefas efetuadas em qualquer par de recursos. Esta abordagem foi adotada para que a relação dos recursos que se encontrem nesta situação não tenham influência na tomada de decisão dos restantes serem ou não colocados no mesmo *cluster*. Caso não fosse adotada a relação desses recursos iria ter influência na relação dos restantes, uma vez que a sua relação mediante os atributos definidos iria ter peso na tomada de decisão.

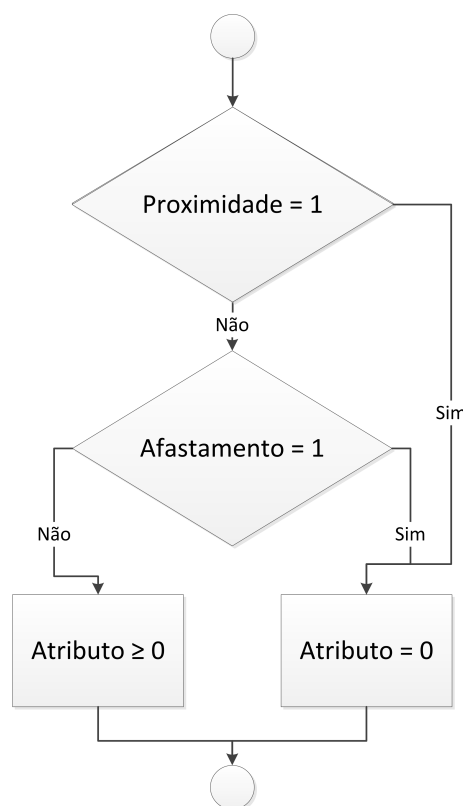


Figura 3.1: Atribuição de valor 0 ou 5 à relação existente entre dois recursos

3.1.4 Redimensionamento da escala

Depois de contabilizadas as relações entre os recursos, mediante os três atributos considerados, é efetuada uma mudança de escala de forma recorrente para cada atributo, conforme representado no fluxograma presente na figura 3.2.

A classificação dos vários atributos é realizada efetuando uma mudança de escala, sendo a escala adotada compreendida entre os valores numéricos 2 e 4, em que 4 corresponde ao maior fluxo de materiais, transportes ou tarefas realizadas no par de recursos considerado, três caracteriza os pares de recursos em que o(s) atributo em questão têm um valor intermédio e 2 quando esse(s) atributo(s) têm uma importância reduzida. Quando não existe interação entre dois recursos, esse atributo é igual a 0.

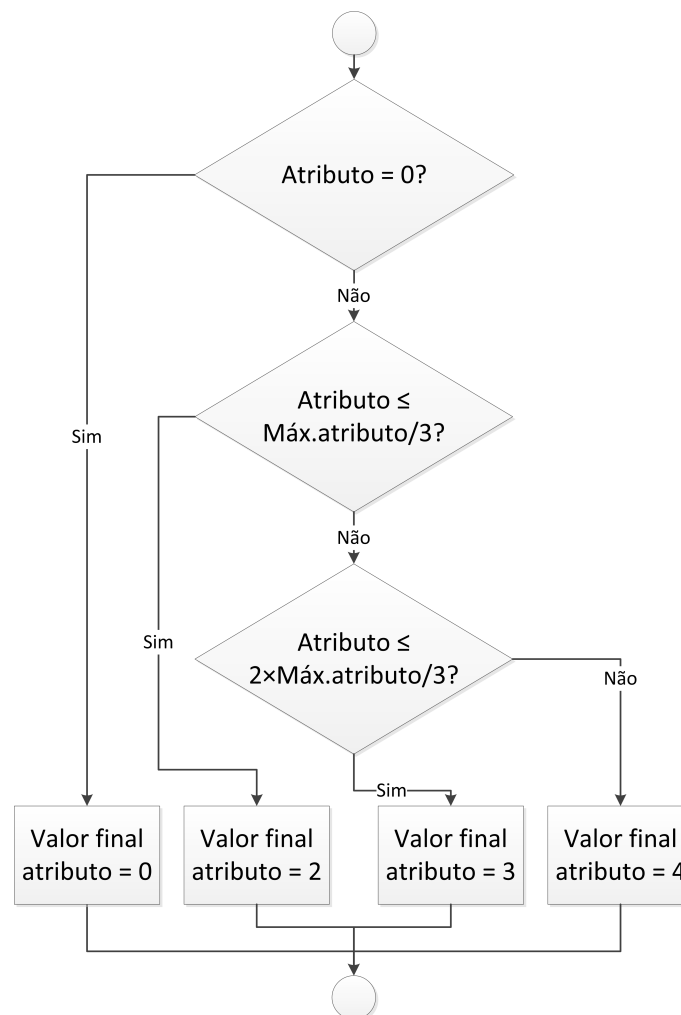


Figura 3.2: Mudança de escala efetuada no final da classificação da relação entre dois recursos, mediante os atributos considerados

3.1.5 Análise do fluxo de materiais

A intensidade do fluxo de materiais consiste na quantidade de materiais transportados por determinado período de tempo entre os pares de recursos que compõem a instalação industrial.

A matriz relacional fluxo de materiais contém os dados referentes às passagens de material pelos vários recursos. Estes dados são colocados pelo utilizador nesta matriz, e resultam da análise dos caminhos que os produtos percorrem durante esses processos. De modo a permitir ao utilizador atribuir pesos diferentes a cada um dos processos, os dados devem ser colocados em n matrizes, em que n corresponde ao número de processos existentes ou à quantidade de processos que se pretende analisar.

Os dados contidos na matriz referente a cada processo são processados, de acordo com o fluxograma apresentado na figura 3.1, de modo a não serem considerados os fluxos de materiais entre recursos que sejam obrigatoriamente colocados no mesmo *cluster* ou em *clusters* diferentes.

Depois de efetuado esse procedimento, os dados referentes a cada processo são compilados numa só matriz, mediante a importância atribuída a cada processo. Esse processamento de dados é realizado através da aplicação da equação 3.1.

$$FluxoMateriais_k = \sum_{j=1}^n (ImpProcesso_j \times FluxoMateriais_{jk}) \quad (3.1)$$

Depois de compilados os dados referentes ao fluxo de materiais em todos os processos é efetuada a mudança de escala através do algoritmo representado na figura 3.2.

3.1.6 Atribuição de importância aos operadores

De modo a atribuir importâncias diferentes a cada operador na construção do diagrama relacional dos recursos e, posteriormente, na definição dos *clusters* da instalação industrial onde o modelo for aplicado, foi tido em consideração, os transportes realizados por cada operador e as tarefas que cada um realiza.

Atribuição de importância aos operadores nos transportes realizados

Foi considerado que a importância atribuída a um operador que realiza vários transportes em vários pares de recursos é maior do que a de um operador que realiza o mesmo número de transportes, mas num número de pares de recursos menor.

Esta abordagem deveu-se ao facto de se considerar que, quando um operador realiza transportes em mais pares de recursos, tem de realizar maior número de movimentos, uma vez que, tem de efetuar o transporte entre um par de recursos e, também, deslocar-se para outro ponto da instalação de produção para efetuar outro ou outros transportes noutro par de recursos.

Para tal, foi atribuído um fator $\alpha = 0,67$ ao número de recursos em que o operador i efetua transportes e um fator $\beta = 0,33$ ao número de transportes que o operador i realiza, sendo que $\alpha + \beta = 1$.

Foram, também, atribuídas importâncias diferentes aos transportes que são realizados por um determinado operador manualmente ou com a participação de um recurso auxiliar, como por exemplo uma empilhadora que permita ao operador efetuar transportes de materiais com peso ou dimensões elevadas.

Com o propósito de atribuir maior importância atribuída aos transportes realizados com auxílio de algum tipo de recurso encontra-se representada pela letra grega $\sigma = 0,67$. A importância atribuída aos transportes realizados pelo operador manualmente é definida pela letra grega $\tau = 0,33$, em que $\sigma + \tau = 1$.

A atribuição de importância a cada operador relativamente aos transportes realizados encontra-se representada pela equação 3.2.

$$ImpTransportesOp_i = \sum_{j=1}^n (ImpProcesso_j \times (\tau \times (\alpha \times A_{ij} + \beta \times B_{ij}) + \sigma \times (\alpha \times C_{ij} + \beta \times D_{ij}))) \quad (3.2)$$

Com o objetivo de atribuir importância diferente a cada operador relativamente aos restantes, na equação 3.3 calcula-se o somatório dos valores obtidos na resolução da equação 3.2.

$$ImpTransportesOperadores = \sum_{i=1}^m (ImpTransporteOperador_i) \quad (3.3)$$

Fazendo a relação entre o valor total e o valor de importância de cada operador nos transportes, obtemos o peso relativo de cada um destes na tomada de decisão das relações entre os vários recursos, conforme se verifica na equação 3.4.

$$ImpTranspOpRel_i = \frac{ImpTransportesOperador_i}{ImpTransportesOperadores} \quad (3.4)$$

Atribuição de importância aos operadores nas tarefas realizadas

Aplicando a mesma lógica utilizada na atribuição de importância aos operadores que realizam transportes entre determinados recursos foi considerado que a importância atribuída a um operador que realiza várias tarefas em vários recursos é maior do que a de um operador que realiza o mesmo número de tarefas, mas num número de recursos menor. Uma vez mais, esta abordagem deveu-se ao facto a realização de tarefas num maior número de recursos, implica maior movimentação.

De forma semelhante no processo de atribuição de importância aos operadores, no que se refere aos transportes realizados entre recursos, também foram atribuídos os mesmos fatores α , ao número de recursos em que o operador efetua operações e β ao número de recursos em que o operador realiza tarefas.

A atribuição de importância a cada operador relativamente às tarefas realizadas encontra-se representada pela equação 3.5.

$$ImpTarefasOp_i = \sum_{j=1}^n (ImpProcesso_j \times (\alpha \times G_{ij} + \beta \times H_{ij})) \quad (3.5)$$

Posteriormente, para atribuir importância diferente a cada operador relativamente aos restantes, foi calculado o somatório dos valores obtidos na relação representada pela equação 3.5.

$$ImpTarefasOp = \sum_{i=1}^m (ImpTarefasOp_i) \quad (3.6)$$

Fazendo a relação entre o valor total e o valor de importância de cada operador no que diz respeito às operações realizadas nos vários recursos, obtemos o peso relativo de cada um destes na tomada de decisão das relações entre os vários recursos.

$$ImpTarOpRel_i = \frac{ImpTarefasOp_i}{ImpTarefasOp} \quad (3.7)$$

Através da resolução das equações enunciadas em cima, o modelo implementado permite ao seu utilizador quantificar a importância de cada operador na realização de tarefas na unidade de produção.

Atribuição de importância aos operadores, considerando as tarefas e os transportes realizados

Depois de quantificada a importância de cada operador relativamente à realização de transportes e tarefas no sistema de produção separadamente, atribui-se agora importância conjunta destes dois fatores que caracteriza a importância relativa do operador de forma combinada entre os dois critérios definidos previamente.

Importância dos Operadores relativamente aos restantes:

$$ImpOperador_i = \frac{ImpTransportes \times ImpTranspOpRel_i + ImpTarefas \times ImpTarOpRel_i}{ImpTransportes + ImpTarefas} \quad (3.8)$$

Para atribuição de pesos diferentes a cada um dos dois atributos em questão ou até só ter em consideração um deles, existem os parâmetros representados pelas variáveis definidas em 3.1.1 $ImpTransportes$ e $ImpTarefas$. Desta forma é possível ter em conta apenas um dos fatores na tomada de decisão ou os dois de forma combinada atribuindo igual ou diferente importância a cada um dos fatores consoante o utilizador considerar mais importante.

3.1.7 Transporte entre recursos

Depois de definida a importância dos vários operadores que constituem os recursos humanos presentes no sistema de produção a implementar é necessário classificar os transportes realizados pelos vários operários entre os recursos existentes. À semelhança do fluxo de materiais, o transporte entre recursos também é contabilizado de forma independente para cada processo.

Os transportes realizados manualmente e os transportes realizados com um recurso auxiliar são contabilizados separadamente.

De forma idêntica ao procedimento no tratamento dos dados referentes ao fluxo de materiais, como se pode observar no fluxograma apresentado na figura 3.1, se existir a restrição dos recursos serem colocados no mesmo *cluster* ou em *clusters* diferentes o número de transportes efetuados entre o par de recursos em questão não é contabilizado.

Pelo contrário os transportes realizados com e sem a utilização de um equipamento auxiliar serão contabilizados e inseridos na matriz relacional *Transportes* através da resolução da seguinte equação:

$$Transportes_{ik} = \sum_{j=1}^n (ImpProcesso_j \times (\tau \times Transportes_{ijk} + \sigma \times TransportesRecAux_{ijk})) \quad (3.9)$$

Depois de agrupados os transportes realizados nos vários processos por cada operador com ou sem auxílio de um recurso, os transportes realizados por todos os operadores serão compilados numa só matriz, tendo em conta o peso atribuído a cada um deles na tomada de decisão final através da aplicação da equação 3.10.

$$Transportes_k = \sum_{i=1}^m ImpOperador_i \times Transportes_{ik} \quad (3.10)$$

De forma semelhante ao que sucede na atribuição de importância ao fluxo de materiais, como representado no fluxograma 3.2 é efetuada uma mudança de escala, para que os dados utilizados no cálculo da importância da relação entre os vários recursos seja realizada com valores com a mesma escala.

3.1.8 Operações realizadas em pares de recursos pelo mesmo operador

De forma semelhante ao sucedido com os atributos *fluxo de materiais* e *transportes*, conforme demonstrado no fluxograma apresentado na figura 3.1, só serão contabilizadas as tarefas realizadas entre pares de recursos que não sejam obrigados a pertencer ao mesmo *cluster* ou a *clusters* diferentes.

Caso não existam restrições de proximidade ou afastamento entre o par de recursos considerado, aplicando o algoritmo apresentado no fluxograma apresentado na figura 3.3 sejam realizadas tarefas num par de recursos pelo mesmo operador é necessário contabilizar o somatório das tarefas realizadas em ambos os recursos.

De acordo com a equação 3.11, os dados são compilados tendo em consideração o peso relativo de cada processo.

$$Tarefas_{ik} = \sum_{j=1}^n (ImpProcesso_j \times Tarefas_{ijk}) \quad (3.11)$$

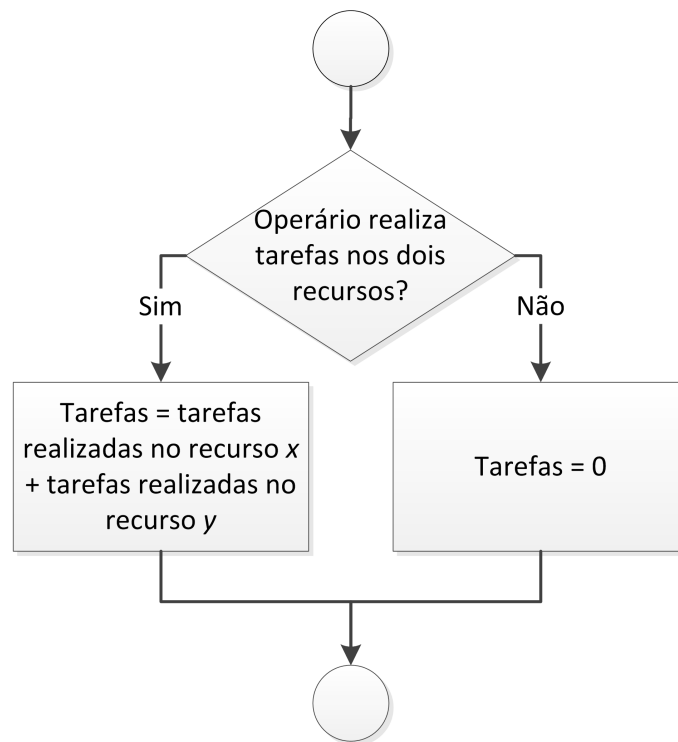


Figura 3.3: Relação de recursos mediante as tarefas realizadas em cada um deles

Por fim é efetuado o somatório, mediante a importância de cada operador relativamente às tarefas que cada um realiza.

$$Tarefas_k = \sum_{i=1}^m (ImpOperador_i \times Tarefas_{ik}) \quad (3.12)$$

De forma semelhante aos restantes atributos, conforme apresentado no fluxograma da figura 3.2 é efetuada a conversão de escala, de modo a que as relações referentes a cada um dos atributos se encontrem na mesma ordem de grandeza.

3.1.9 Relação dos vários fatores

Depois de caracterizados todos os atributos e de explicada a forma como estes são abordados é necessário aglomerar os vários itens numa só matriz que indica o grau de ligação existente entre os recursos, mediante os critérios utilizados. A formulação da solução final de relações pode ter em conta apenas um ou vários dos atributos pré-definidos, bastando para isso eliminar ou atribuir importância aos diversos atributos que afetam a tomada de decisão.

Se não houver restrições de dois recursos serem alocados no mesmo *cluster* ou em *clusters* diferentes, aplica-se a equação 3.13 e, a partir daí obtém-se a junção dos dados atribuídos pelos

vários atributos a cada par de recursos.

$$Rel_k = Imp_{FluxoMateriais} \times FluxoMateriais_k + Imp_{Transportes} \times Transportes_k + Imp_{Tarefas} \times Tarefas_k \quad (3.13)$$

Conforme se pode verificar no fluxograma apresentado na figura 3.4, os dados obtidos no modelo são compilados numa única matriz, mediante os dados fornecidos ao sistema. Os valores apresentados encontram-se compreendidos entre 0 e 5, em que:

- 0 representa a necessidade de os recursos que compõem esse par se encontrarem em *clusters* diferentes;
- 1 representa as relações entre recursos que a sua presença no mesmo *cluster* ou em grupos diferentes é indiferente, uma vez que não existe qualquer tipo de interação entre os recursos que compõem a relação;
- 2, 3 e 4 representam as relações em que os recursos interagem uns com os outros de alguma forma, não sendo obrigatório que sejam alocados no mesmo ou em *clusters* diferentes, em que conforme o algarismo que representa a associação terá um valor numérico maior consoante a necessidade de estes pertencerem ao mesmo grupo fôr maior;
- para finalizar o 5 representa as relações entre recursos em que a sua junção é obrigatória, têm necessariamente de pertencer ao mesmo *cluster*.

O tratamento de dados encontra-se representada no fluxograma apresentado na figura 3.4.

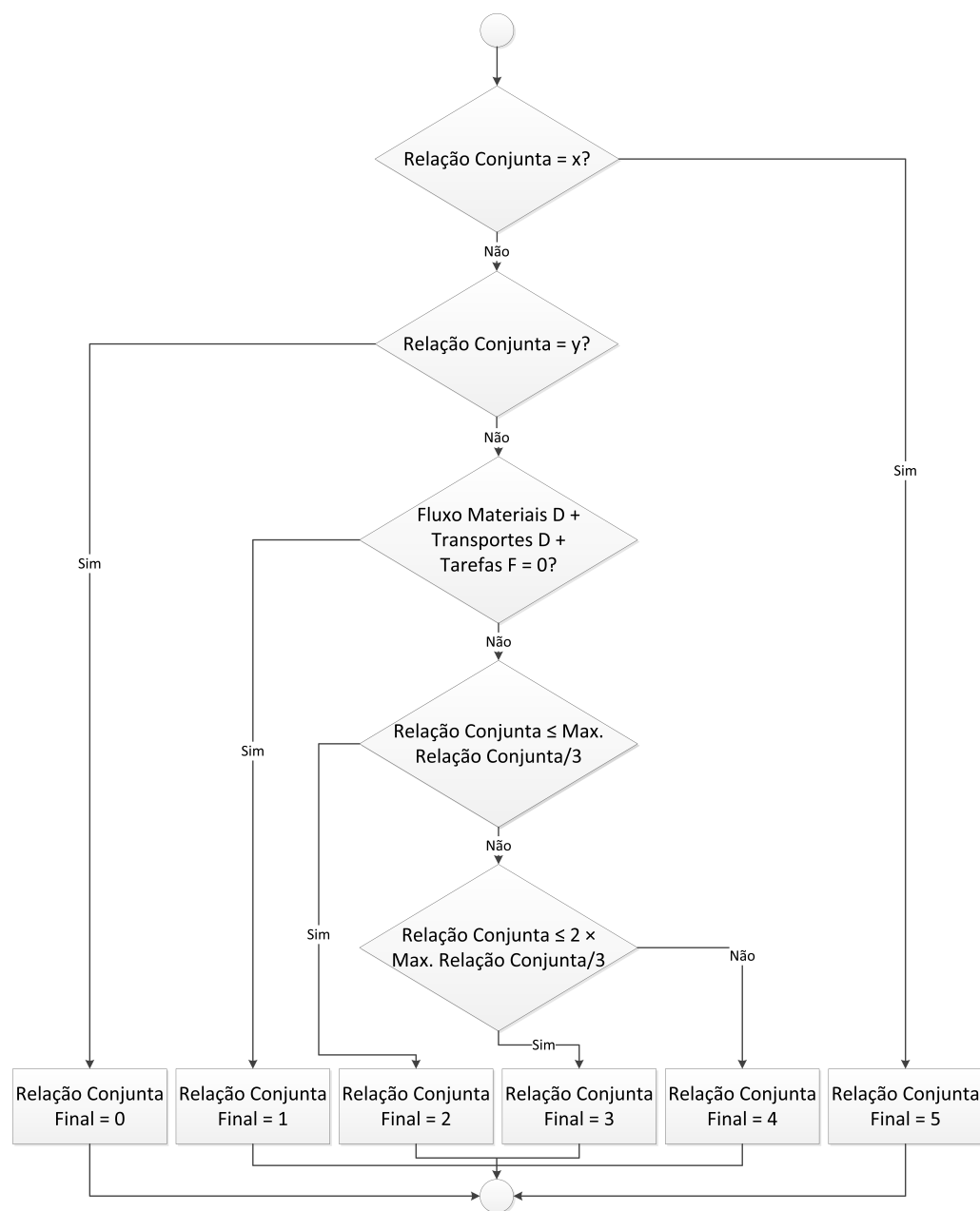


Figura 3.4: Fluxograma do algoritmo de atribuição de valor à junção de recursos

3.2 Algoritmo de agrupamento de recursos

O objetivo deste algoritmo consiste em, através dos dados obtidos no modelo relacional apresentado em 3.1, encontrar uma forma de alocar os vários recursos em células, partindo do princípio que, quanto maior o valor da relação existente entre os vários recursos maior a sua importância de serem alocados ao mesmo *cluster*.

Existem imposições que obrigam a colocar no mesmo *cluster* os recursos que tenham uma relação de valor 5 e a colocar em *clusters* diferentes os recursos que têm uma relação de valor 0, sendo estas respeitadas pelo algoritmo.

O algoritmo proposto é construtivo. Eles realiza várias iterações, sendo que o número de iterações é definido pelo utilizador e guarda a melhor solução obtida, descartando as restantes.

Na construção dos *clusters* o algoritmo começa por agrupar os recursos que estão relacionados pelo valor 5. Para agrupar os restantes recursos aos grupos existentes, conforme se pode observar na equação 3.14, calcula o valor da relação do recurso a ser colocado com os que já se encontram dentro do mesmo e coloca no *cluster* em que o valor dessa relação for maior.

Na equação representada n corresponde ao número de elementos que compõem o *cluster* no momento em que é necessário alocar um novo recurso e i identifica o recurso que se pretende colocar num determinado *cluster*.

$$Relao_{RecursoCluster} = \frac{\sum_{i=1}^n RelRecurso_{in}}{n} \quad (3.14)$$

A forma de calcular a melhor solução encontra-se apresentada nas equações 3.15 e 3.16.

$$Relao_{interCluster} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (\sum_{j=2}^n X_{ij})}{\sum_{i=1}^{n-1} i} \quad (3.15)$$

$$Relao_{intraClusters} = \frac{\sum_{i=1}^n Rel_{interCluster}}{n} \quad (3.16)$$

Sendo a função objetivo:

$$F = Max.Rel_{intraClusters} \quad (3.17)$$

No fluxograma apresentado na figura 3.5 é apresentado o modo de funcionamento do algoritmo de formação de *clusters*.

Conforme demonstrado no fluxograma apresentado figura 3.6 o algoritmo é percorrido n vezes e assume como melhor solução a que maximizar a função objetivo.

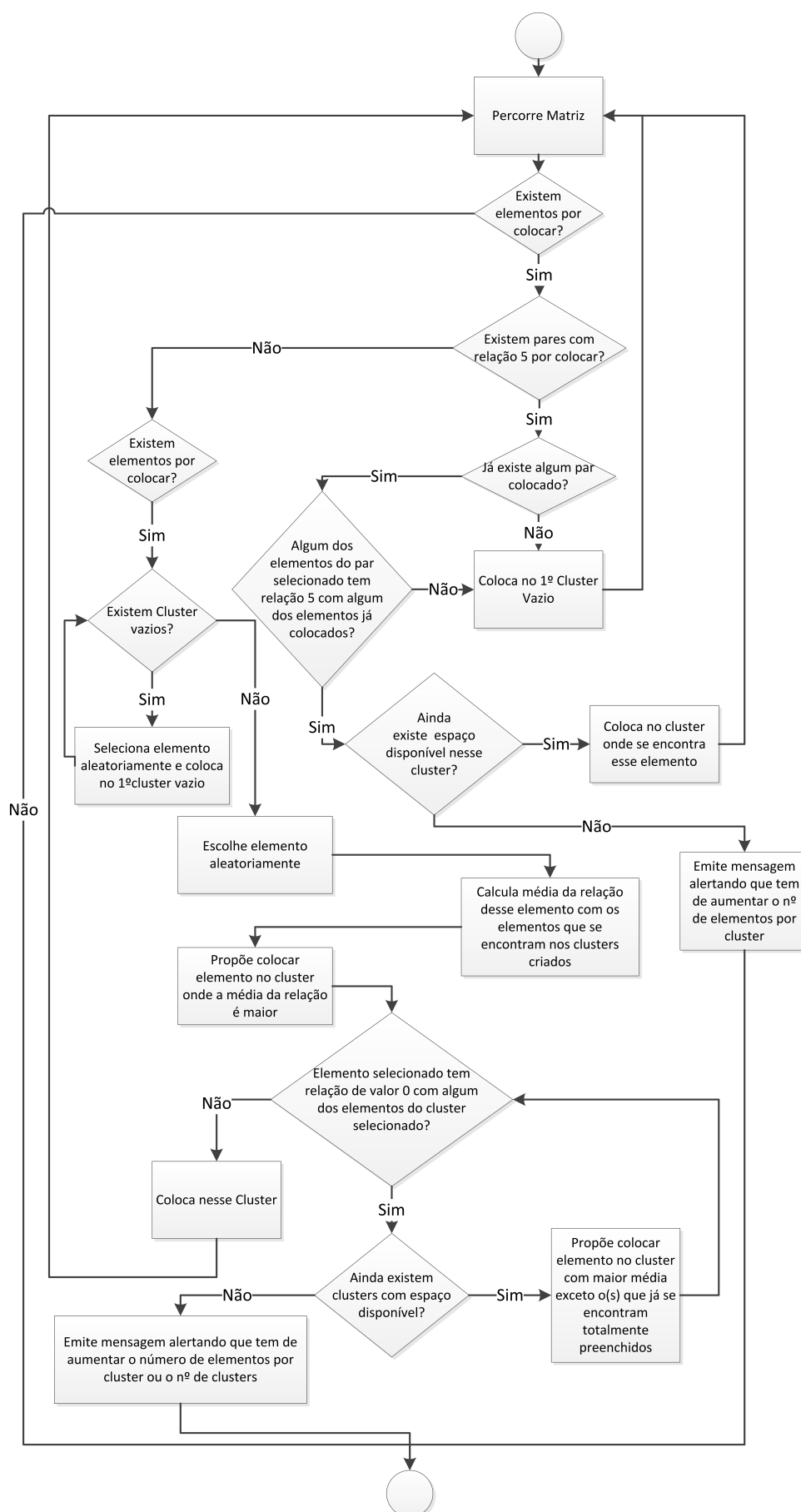


Figura 3.5: Fluxograma do algoritmo de formação de *clusters* balanceados

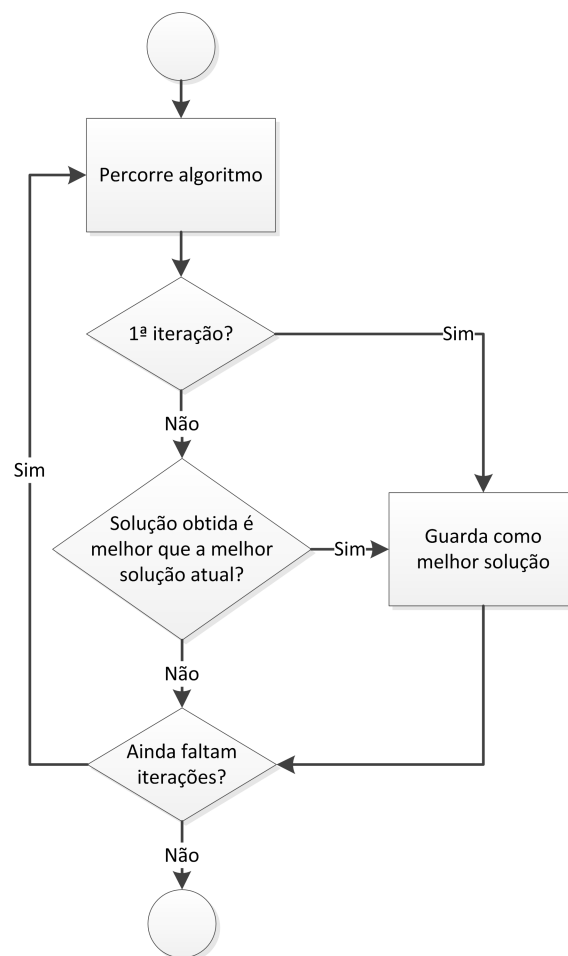


Figura 3.6: Fluxograma demonstrativo da formação da melhor solução

3.3 Interface gráfica

O modelo que relaciona os vários recursos e o algoritmo de formação de *clusters* desenvolvida podem ser utilizados para a formação dos conjuntos de recursos através da interface gráfica criada que será apresentada nesta secção.

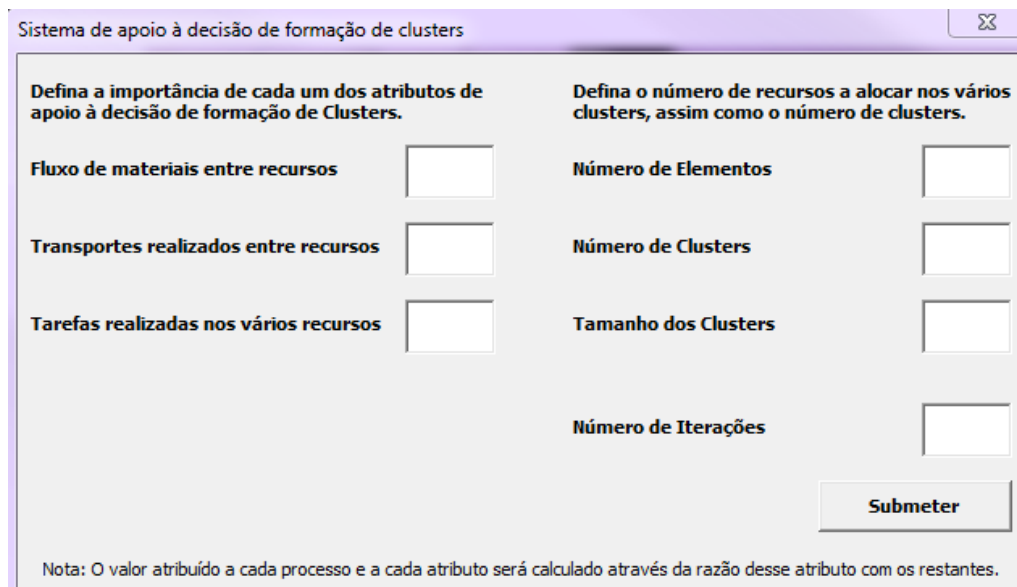


Figura 3.7: Interface Gráfica desenvolvida para utilização do modelo desenvolvido

O utilizador pode formar os ditos *clusters* atribuindo diferentes pesos aos vários atributos de avaliação, nomeadamente o fluxo de materiais, os transportes entre recursos e as tarefas realizadas pelos vários operadores. Por defeito, as importâncias atribuídas aos vários atributos será igual a 1, sendo o valor da importância de cada um, atribuída pela razão apresentada na equação 3.18

$$ImportanciaRelativa_{atributo} = \frac{Importancia_{atributo}}{\sum_{i=1}^3 Importancia_{atributo}} \quad (3.18)$$

O utilizador também poderá definir na interface gráfica 3.7 o número de iterações que pretende efetuar para obter a solução, sendo que quanto maior o número de iterações a efetuar, maior a probabilidade de obter uma solução melhor.

Por último este terá de definir o número de *clusters* que pretende criar e o número máximo de elementos existentes em cada um. O número de elementos por *cluster*. Por defeito, o número máximo de elementos que integram os grupos é igual a:

$$Número\ de\ elementos\ por\ cluster = \frac{N_{recursos}}{N_{Clusters}}$$

Em que $N_{recursos}$ representa o número de recursos a agrupar e $N_{Clusters}$ representa o número de *clusters* que o utilizador pretende criar.

Caso de uso:

Os casos de uso têm como propósito representar as funcionalidade externas dos sistemas, isto é, as funcionalidades do sistema do ponto de vista de quem os utiliza. Sendo assim, nesta subsecção serão apresentados os vários cenários de utilização do sistema desenvolvido.

Cenário principal:

- o caso de utilização inicia-se quando o sistema apresenta a interface gráfica desenvolvida pedindo ao utilizador a introdução dos parâmetros para a apresentação da solução mediante os mesmos.
- o utilizador pode alterar os valores colocados inúmeras vezes;
- o utilizador ativa o botão "Submeter" para confirmar os dados inseridos;
- o sistema lê os valores introduzidos e verifica se os dados introduzidos são válidos. Se forem, o sistema aceita a entrada e o caso de uso termina, apresentado os resultados obtidos.

Cenário alternativo:

- o utilizador introduz dados incoerentes e o sistema apresenta uma mensagem de erro, com a descrição dos erros ocorridos, e permite ao utilizador reformular os dados introduzidos.

Capítulo 4

Caso de estudo

Neste capítulo será apresentada a aplicação do modelo criado, demonstrado no capítulo 3, ao caso de estudo proposto.

Apresentação da empresa

A empresa sobre a qual foi desenvolvida a proposta apresentada neste trabalho de reformulação do *layout* de produção através da formação de células de produção é um dos líderes mundiais na fabricação de máquinas para chapa.

O portfólio da empresa inclui guilhotinas, quinadoras/dobreadeiras hidráulicas, máquinas de corte laser, células robotizadas de quinagem/dobragem e sistemas automáticos de corte e quinagem/dobragem de chapa. Fornecem também soluções completas para a indústria de processamento de chapa de aço, inox, alumínio, latão, etc.

Esta é uma empresa certificada que se dedica ao desenvolvimento, concepção, fabrico, produção e comercialização de máquinas-ferramentas há mais de 55 anos.

4.1 Levantamento dos processos de produção

Nesta etapa foi feito o levantamento quantitativo e qualitativo do fluxo de materiais entre os vários recursos. No caso de estudo foram identificados três processos produtivos distintos. Os mesmos encontram-se representados no anexo A.

Na análise destes processos foi tido em conta não só o fluxo de materiais entre recursos, mas também, o modo como os produtos são transportados, isto é, se o transporte é feito manualmente ou com a participação de um recurso auxiliar e as operações que são realizadas nos vários recursos durante o processo de fabrico.

Importância dos processos de produção

Foram identificados três processos de produção denominados *Acionamento*, *Curva* e *Troço*. A importância atribuída a cada um deles foi definida pelo cliente, sendo que o processo *Troço*,

devido às características do material transportado e da complexidade das operações realizadas tem importância maior que os restantes. Na tabela 4.1 pode ser visualizada a importância atribuída a cada processo. Contudo o utilizador do sistema implementado, através da interface gráfica desenvolvida, pode atribuir diferentes importâncias aos vários processos.

Tabela 4.1: Importância dos Processos Produtivos

Processo	Importância Relativa
Acionamento	25%
Curva	25%
Troço	50%

Identificação dos recursos existentes

Do levantamento dos processos verificou-se que existem vinte e três recursos identificados pelas siglas apresentadas na tabela em que são realizadas tarefas. Estas tarefas podem consistir em inspeção do material existente nesses recursos ou maquinação do mesmo. Também foram considerados produtos em *stock*, como por exemplo no caso do armazém de matérias primas ou no *buffer* do fornecedor.

Tabela 4.2: Recursos identificados nos processos de produção

Sigla	Descrição
MAS	Serrote Automático
M203	Escateladora
M204	Torno Mecânico Precisão
M207	Prensa
M210	Polidor
M428	Máquina Decapar Microesferas
M548	Máquina de soldar
MQ	Quinadora CNC Adira
MC	Cabine
MPE	Perfil e Entalhe
MCR1	Cravar Rebites 1
MET	Escariar + Topos
M199	Serrote Automático
MPB	Polidor de Bicha
MCL	Calandra Pequena
AMP	Armazém Matérias Primas
SM	Supermercado Montagem
M213	Máquina de cortar calha plástica
M430	Maquina lixadora de tubo
REC	Receção
FORN	Fornecedor
BFORN	Buffer Fornecedor
M193	Quinadora Hidraulica

Foram identificadas seis classes de operadores que realizam tarefas e/ou transportes no decorrer dos processos produtivos, sendo estas identificadas pelas abreviaturas:

- "Ajuda";
- "FielArmPO";
- "PrepObra";
- "SerraMecO";
- "SerraMecP";
- "TornMecPO".

Existe, também, um recurso auxiliar identificado pela sigla "MPP" que é utilizado por vários operários para efetuar transportes.

4.2 Aplicação do modelo relacional de recursos ao caso de estudo

Para avaliar a importância do fluxo de materiais entre recursos foi efetuado o levantamento dos transportes efetuados entre os vários recursos e contabilizado o número de vezes que esse transporte é feito entre os mesmos. Foi também realizado o levantamento do responsável (operador) pelo transporte entre recursos e foi tido em consideração se o operador utiliza, ou não, o recurso auxiliar existente na instalação industrial para realizar esse transporte.

Depois de contabilizado o número de vezes que existe transporte entre dois recursos foi efetuada uma mudança de escala, em que 4 corresponde aos pares de recursos que possuem maior fluxo de materiais entre os eles e 1 quando não existe fluxo de materiais entre o par analisado.

Conforme referido em cima, a presença de operadores no transporte também foi quantificada e qualificada, uma vez que, esse transporte é feito por operadores diferentes, dependendo do par de recursos a analisar e da fase em que o processo se encontra.

Para a tomada de decisão sobre a disposição dos vários recursos na concepção do *layout* da instalação de produção foi atribuída uma importância maior aos transportes que são realizados com a participação do recurso auxiliar, relativamente aos transportes efetuados manualmente. O número de transportes efetuados e a quantidade de pares de recursos em que esses transportes são efetuados também foram fatores levados em conta para atribuir maior ou menor importância aos operadores relativamente aos restantes. Foram também quantificadas o número de operações que um determinado funcionário executa e em quantos recursos é que esse operador é responsável por realizar as tarefas propostas. Neste caso foram identificados cinco classes de operários que realizam tarefas nos vários recursos, sendo estes "Ajuda", "FielArmPO", "TornoMecPO", "SerraMecO" e "SerraMecP".

Este dados foram inseridos em matrizes que relacionam os recursos identificados nos processos produtivos existentes, mediante os atributos previamente definidos e, posteriormente, compilados numa matriz relacional dos vários recursos, neste caso com multiatributos a caracterizar as várias relações.

O fluxo de materiais é apenas um dos fatores a ter em conta para a classificação da importância de proximidade dos vários recursos. O responsável pelo transporte de materiais entre recursos e a presença ou não do recurso auxiliar "MPP" no dito transporte também foram considerados no apoio à decisão de proximidade entre os vários recursos.

Foram, também, impostas algumas restrições de proximidade e distanciamento entre os vários recursos. No caso do distanciamento entre recursos este foi imposto devido ao facto de algumas operações originarem poeiras e sujidade que não são compatíveis com outras áreas de trabalho ou operações realizadas noutros recursos. Por exemplo numa linha de produção em que existe uma zona onde são efetuados cortes num determinado material que origine resíduos não deve estar próxima de uma zona onde é efetuada a pintura dum determinado material, uma vez que, a presença de poeiras numa peça que será pintada muito provavelmente irá afetar a qualidade da pintura.

A escala definida para atribuir importância aos fatores a ter em conta para calcular a relação de proximidade entre recursos foi definida como um intervalo de 0 a 5, em que o 0 corresponde à restrição criada pela imposição de determinados recursos terem de se encontrar afastados um do outro, 1 aparece quando não existe qualquer tipo de relação direta entre dois recursos, 2 quando dois recursos têm algum tipo de relação, mas essa relação não é muito importante, 3 quando a relação entre dois recursos é considerada importante para a definição da sua posição relativa, 4 corresponde a uma relação de muita importância relativamente à proximidade de um par de recursos e, finalmente, 5 corresponde a uma relação de extrema importância de proximidade (restrição) imposta pelo cliente.

Numa primeira fase foram estudados os processos produtivos da instalação industrial em que foi aplicado o modelo criado. A partir da análise do sistema e dos requisitos do cliente, foram considerados como atributos a ter em conta na definição da importância de os vários recursos se encontrarem mais ou menos próximos uns dos outros o fluxo de materiais que se verifica nos processos produtivos realizados na instalação.

A intensidade do fluxo de materiais determina a quantidade dos vários materiais transportados pelo período de tempo definido, que neste caso, foi de uma semana, entre os pares de recursos que compõem a instalação industrial. O fluxo de materiais é considerado como um fator essencial para a ter em conta na tomada de decisão. Este fator dá ao utilizador um termo de comparação quantitativo sobre o fluxo de materiais existente entre os vários recursos. A análise e qualificação deste atributo teve como ponto de partida o mapeamento dos processos de produção realizado anteriormente.

A classificação deste fator foi realizada efetuando uma mudança de escala, sendo a escala adotada compreendida entre os valores numéricos um e quatro, em que quatro corresponde ao maior fluxo existente entre os vários pares de recursos, três caracteriza os pares de recursos em que o fluxo é intermédio, dois quando se verifica um fluxo de materiais reduzido entre os vários pares e um quando não existe qualquer tipo de passagem de materiais entre dois recursos. No diagrama relacional apresentado em baixo, sob a forma de tabela encontram-se as relações existentes entre os vários recursos no que diz respeito ao fluxo de materiais.

		Recursos																						
Recursos	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193
	MAS																							
	M203	0																						
	M204	0	0																					
	M207	0	0	0																				
	M210	0	0	0	0																			
	M428	0	0	0	0	0																		
	M548	0	0	0	0	0	0																	
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	SM	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0						
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.2: Recursos que têm de pertencer a *clusters* diferentes

4.2.2 Fluxo de materiais

O fluxo de materiais entre os vários recursos foi analisado separadamente para cada processo. Esta abordagem foi utilizada para que o utilizador do sistema implementado tenha a possibilidade de analisar e obter os resultados finais atribuindo pesos diferentes a cada processo ou tendo em conta apenas um ou dois processos. No anexo A encontram-se as matrizes que apresentam o fluxo de materiais em cada um dos processos. Na tabela 4.3 são apresentados os dados referentes à relação entre os vários recursos no que diz respeito ao fluxo de materiais realizado em todos os processos.

		Recursos																						
Recursos	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193
	MAS																							
	M203	0																						
	M204	0	0																					
	M207	0	0	0																				
	M210	0	0	0	0																			
	M428	0	0	0	0	0	2																	
	M548	0	0	0	0	0	0	2																
	MQ	0	0	0	0	0	0	0	2															
	MC	0	0	0	0	0	0	0	2	0														
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2												
	MET	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	M199	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	MPB	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0									
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0								
	AMP	3	0	0	2	0	0	0	3	4	0	4	0	0	0	0	0	0						
	SM	0	2	0	2	0	4	0	2	0	4	0	0	0	0	0	2	3						
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0				
	REC	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0			
	FORN	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	BFORN	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.3: Matriz relacional do fluxo de materiais conjugando os vários processos

4.2.3 Atribuição de importância aos operadores:

De modo a atribuir importâncias diferentes a cada classe de operadores na aplicação do modelo apresentado em 3.1, mais precisamente na secção 3.1.6 foram contabilizados os transportes e as tarefas realizadas por cada operador.

Atribuição de importância aos operadores nos transportes

Relativamente à classificação atribuída a cada classe de operadores, tendo em consideração os transportes realizados, conforme se pode visualizar na tabela 4.3 foi quantificado, de forma independente, o número de transportes que estes realizam em cada um dos processos produtivos. Foram, também, contabilizados de forma independente os transportes realizados manualmente e os transportes realizados com a utilização do recurso auxiliar *MPP*.

Tabela 4.3: Transportes realizados

Operador	Ajuda			FielArmPo			PrepObra		
Processo	Acionamento	Curva	Troço	Acionamento	Curva	Troço	Acionamento	Curva	Troço
Número de pares de Recursos em que realiza transportes manualmente	2	3	0	1	2	3	10	20	2
Número de transportes realizados manualmente	2	3	0	3	5	4	10	23	2
Número de pares de Recursos em que realiza transportes com recurso auxiliar	0	0	0	0	0	2	0	1	2
Número de transportes realizados com recurso auxiliar	0	0	0	0	0	2	0	1	2

Conforme se pode observar analisando a tabela 4.3, as classes de operadores "*SerraMecO*", "*SerraMecP*" e "*TornMecPO*" não realizam transportes.

Através da resolução das equações enunciadas em 3.1.6, obtiveram-se os valores apresentados na tabela 4.4 que consistem na importância atribuída a cada classe de operadores considerando apenas os transportes realizados por cada um.

Tabela 4.4: Importância dos Operadores considerando os transportes realizados

Operador	Importância Relativa
Ajuda	7%
FielArmPO	17%
PrepObra	76%

Atribuição de de importância aos operadores nas tarefas realizadas

A tabela 4.5 contabiliza as tarefas realizadas por cada classe de operadores em cada recurso nos vários processos e, também, o número de recursos em que esta realiza tarefas e quantas tarefas realiza por processo e na totalidade, isto é, tendo em consideração todos os processos.

Tabela 4.5: Tarefas realizadas pelos operadores nos processos de produção

	Processo	ACIONAMENTO						CURVA						TROÇO								
		Operator																				
Id do Recurso	MAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	M203	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M204	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M207	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	M210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	M428	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	M548	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	MQ	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
	MC	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MPE	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	M199	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
	AMP	0	1	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	1
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M213	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	REC	0	4	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	3
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M193	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Nº de vezes que o funcionário opera nos vários recursos		3	6	0	0	2	2	13	7	7	0	6	6	0	26	3	5	0	0	0	0	8
Nº de recursos em que o funcionário opera		3	3	0	0	2	2	10	6	2	0	2	3	0	13	3	3	0	0	0	0	6

Observando a tabela 4.5 conclui-se que a classe de operadores "*PrepObra*" não realiza tarefas nos processos considerados.

Através da aplicação do método apresentado na secção 3.1.8, obtiveram-se os valores apresentados na tabela 4.6

Tabela 4.6: Importância dos Operadores considerando as tarefas realizadas

Operador	Importância Relativa
Ajuda	35%
FielArmPO	32%
SerraMecO	10%
SerraMecP	17%
TornMecPO	6%

Atribuição de importância aos operadores tendo em conta os transportes e tarefas realizadas

Considerando o modelo desenvolvido no capítulo anterior 3.1.6 e atribuindo igual importância aos transportes realizados entre recursos e às tarefas realizadas em cada par de recursos, atribuiu-se a cada classe de operadores a importância apresentada na tabela 4.7 para obter relações entre os recursos existentes para a formação dos *clusters* de produção.

Tabela 4.7: Importância dos Operadores

Operador	Importância Relativa
Ajuda	21%
FielArmPO	25%
PrepObra	38%
SerraMecO	5%
SerraMecP	9%
TornMecPO	3%

4.2.4 Transporte entre recursos

Observando a tabela 4.4, que relaciona os recursos existentes na instalação industrial considerada, tendo em conta os transportes realizados entre recursos em todos os processos, o utilizador obtém uma visão de quais os recursos que devem pertencer ao mesmo *cluster*.

Conforme referido em 3.1.3, a relação dos recursos que sejam obrigados a ser colocados no mesmo cluster 4.1 e em *clusters* diferentes 4.2 têm valor 0.

		Recursos																							
Recursos	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	2																			
	M548	0	0	0	0	0	2																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	2																	
	MC	0	0	0	0	0	0	2	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2													
	MET	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	M199	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MPB	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0										
	MCL	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0									
	AMP	3	0	0	2	0	0	3	4	0	4	0	0	0	0	0	0								
	SM	0	2	0	2	0	3	0	2	0	3	0	0	0	0	0	2	4							
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2						
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0					
	REC	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0				
	FORN	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BFORN	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2		
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	

Figura 4.4: Matriz relacional segundo os transportes realizados em todos os processos

4.2.5 Tarefas realizadas em pares de recursos

Na tabela 4.8 pode ser visualizado o grau da relação dos recursos considerados na construção do *layout*, mediante as tarefas realizadas em todos os processos, considerando todos os operadores.

		Recursos																							
Recursos	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0	2																
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MPE	0	0	0	0	0	4	0	0	2															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2														
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	AMP	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	REC	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0				
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabela 4.8: Matriz relacional das tarefas realizadas por todos os operadores nos vários processos

4.2.6 Relação dos vários fatores

Depois de caracterizados todos os atributos é necessário aglomerar os vários itens numa só matriz que indica os graus de ligação existentes entre todos os recursos, mediante os critérios utilizados. A formulação da solução final de relações pode ter em conta apenas um ou vários dos atributos pré-definidos, bastando para isso eliminar ou atribuir importância aos diversos atributos que afetam a tomada de decisão.

		Recurso																							
ID \ ID		MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
MAS																									
M203		1																							
M204		1	5																						
M207		1	1	1																					
M210		1	1	1	1																				
M428		1	1	1	1	3																			
M548		1	1	1	1	5	3																		
MQ		1	1	1	1	1	1	3																	
MC		1	1	1	1	1	5	3	1																
MPE		1	1	1	1	1	3	1	1	2															
MCR1		1	1	1	1	1	1	1	3	1	3														
MET		4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1													
M199		1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
MPB		1	1	1	1	2	3	5	1	1	1	1	1	1											
MCL		1	1	1	1	1	1	4	5	1	1	1	1	1	1										
AMP		4	1	1	3	1	1	3	4	1	4	1	1	5	1	1									
SM		0	3	0	3	1	4	1	3	0	4	1	1	1	1	3	4								
M213		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2							
M430		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	4	1						
REC		3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	3	1	2	1	1	5	4	1	1					
FORN		1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
BFORN		1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3			
M193		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1		

Critério de Avaliação de Proximidade	
Valor	Significado
0	Não podem estar juntos
1	Indiferente
2	Pouco Importante
3	Importante
4	Muito Importante
5	Têm de estar juntos

Critério de Avaliação de Proximidade	
Valor	Significado
0	Não podem estar juntos
1	Indiferente
2	Pouco Importante
3	Importante
4	Muito Importante
5	Têm de estar juntos

Figura 4.5: Matriz relacional considerando todos os atributos e restrições

4.3 Formação dos *clustes* utilizando o algoritmo desenvolvido

A aplicação do algoritmo de *clusterização* ao caso de estudo revelou-se eficaz. O mesmo foi percorrido várias vezes, de forma a obter resultados diferentes. Para cada solução encontrada, foram realizadas 1000 iterações, sendo apresentada a melhor solução obtida por cada uma delas.

Em baixo encontram-se as propostas obtidas através da aplicação do algoritmo de agrupamento desenvolvido, para a formação de três, quatro, cinco e seis *clusters* de recursos.

A primeira solução proposta consiste na formação de três *clusters*, em que um deles é constituído por sete recursos e os restantes por oito.

Tabela 4.9: Solução proposta para formação de três *clusters*

Cluster	Recursos								Média
1	REC	AMP	M199	MPB	M548	M210	M207	SM	2,286
2	M430	MET	MC	M428	MAS	FORN	BFORN	M193	1,536
3	MCL	MQ	M204	M203	M213	MCR1	MPE		1,619
									1,813

A segunda solução apresentada consiste na formação de quatro *clusters*, em que um deles é constituído por cinco recursos e os restantes por seis.

Tabela 4.10: Solução proposta para a formação de quatro *clusters*

Cluster	Recursos							Média
1	REC	AMP	M199	MC	M428	M207		2,200
2	M430	MET	M204	M203	MAS			2,100
3	MCL	MQ	MPE	MCR1	SM	M213		2,133
4	MPB	M548	M210	M193	BFORN	FORN		2,000
								2,108

A terceira solução consiste na formação de cinco *clusters* de recursos, em que um deles é constituído por três recursos e os restantes por cinco.

Tabela 4.11: Solução proposta para formação de cinco *clusters*

Cluster	Recursos						Média
1	REC	AMP	M199	M204	M203		2,600
2	M430	MET	MAS				3,333
3	MCL	MQ	SM	M213	M207		2,100
4	MPB	M548	M210	FORN	BFORN		2,500
5	MC	M428	M193	MPE	MCR1		2,000
							2,507

A quarta solução apresentada consiste na formação de seis *clusters* de recursos, em que um deles é constituído por três recursos e os restantes por quatro.

Dependendo do número de *clusters* que se pretenda formar, estas são as melhores soluções apresentadas. Foram descartadas as soluções que apresentaram *clusters* formados por dois recursos, porque estes apenas agrupam dois recursos que tenham uma relação de grau cinco.

Dos dados apresentados, conforme previsto, podemos concluir que quanto maior o número de *clusters*, maior a média da relação desses *clusters*. Esta situação verifica-se porque quanto menor o grupo formado, maior o grau das relações que constituem cada grupo.

Tabela 4.12: Solução proposta para formação de seis *clusters*

Cluster	Recursos				Média
1	REC	AMP	M199	SM	3,667
2	M430	MET	MAS		3,333
3	MCL	MQ	MCR1	MPE	2,500
4	MPB	M548	M210	BFORN	3,167
5	MC	M428	M193	FORN	2,000
6	M204	M203	M207	M213	1,667
					3,167

4.4 Interface gráfica

O modelo concebido pode ser utilizado para a formação das células de produção através da utilização de uma interface gráfica criada que será apresentada nesta secção. No modelo genérico foi apresentada uma interface genérica.

Como no caso de estudo é conhecido o número de processos que compõem o sistema foi desenvolvida uma interface gráfica, que se encontra na figura 4.6 adicional que permite, também, atribuir importâncias diferentes aos processos de produção.

Sistema de Apoio à Decisão de formação de Clusters

Defina a importância de cada um dos atributos de apoio à decisão de formação dos Clusters.

Fluxo: **Se pretender defina também a importância que pretende atribuir a cada processo produtivo.** **Defina o número de recursos a aloca nos vários Cluster, assim como o número de Clusters.**

Transportes: Processo de Produção do Acionamento: Número de Elementos:

Tarefas: Processo de Produção da Curva: Número de Clusters:

Processo de Produção do Troço: Tamanho dos Clusters:

Número de Iterações:

Nota: O valor atribuído a cada processo e a cada atributo será calculado através da razão desse atributo com os restantes.

Figura 4.6: Interface Gráfica

A utilização desta interface gráfica permite ao utilizador definir a importância que cada processo e, consequentemente, todos os dados que estejam associados a este terão nos resultados obtidos no modelo relacional a ser utilizado pelo algoritmo construtivo desenvolvido.

Deste modo o utilizador poderá obter os vários grupos segundo apenas um, vários ou todos os processos existentes. Por defeito, conforme especificado na sub-secção 4.1, mais concretamente na tabela 4.1 as importâncias dos processos já se encontram previamente atribuídas.

		Recurso																							
ID \ ID		MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
MAS																									
M203		1																							
M204		1	5																						
M207		1	1	1																					
M210		1	1	1	5																				
M428		1	3	3	3	3																			
M548		1	3	3	3	3	5																		
MQ		1	3	3	3	3	5	5																	
MC		1	5	5	1	1	3	3	3																
MPE		2	2	2	2	2	4	4	4	2															
MCR1		1	1	1	5	5	3	3	3	1	2														
MET		5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1													
M199		1	5	5	1	1	3	3	3	5	2	1	1												
MPB		1	1	1	5	5	3	3	3	1	2	5	1	1											
MCL		1	1	1	5	5	3	3	3	1	2	5	1	1	5										
AMP		2	2	2	2	2	4	4	4	2	5	2	2	2	2	2									
SM		2	2	2	2	2	4	4	4	2	5	2	2	2	2	2	5								
M213		1	1	1	5	5	3	3	3	1	2	5	1	1	5	5	2	2							
M430		5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	5	1	1	1	2	2	1						
REC		2	2	2	2	2	4	4	4	2	5	2	2	2	2	2	5	5	2	2					
FORN		1	1	1	5	5	3	3	3	1	2	5	1	1	5	5	2	2	5	1	2				
BFORN		1	1	1	5	5	3	3	3	1	2	5	1	1	5	5	2	2	5	1	2	5			
M193		1	1	1	5	5	3	3	3	1	2	5	1	1	5	5	2	2	5	1	2	5	5		

Critério de Avaliação de Proximidade	
Valor	Significado
1	Não são utilizados nos mesmos processos
2	Têm 1/3 dos processos em comum
3	Têm metade dos processos em comum
4	Têm 2/3 dos processos em comum
5	São utilizados nos mesmos processos

Critério de Avaliação de Proximidade	
Valor	Significado
1	Não são utilizados nos mesmos processos
2	Têm 1/3 dos processos em comum
3	Têm metade dos processos em comum
4	Têm 2/3 dos processos em comum
5	São utilizados nos mesmos processos

Figura 4.7: Matriz relacional baseada na medida similaridade de Jaccard aplicada ao caso de Estudo

4.5 Aplicação da medida de similaridade de jaccard

Com o propósito de avaliar a potencialidade das medidas de similaridade baseada em dados binários 2.5.10, foi aplicada a medida de similaridade de Jaccard ao problema retratado no caso de estudo. Esta apenas tem em consideração os recursos que são utilizados nos processos de produção dos vários produtos e estes são aglomerados em conjuntos consoante são utilizados em um, dois ou nos três processos de produção.

Da análise dos resultados obtidos, que se encontram na tabela 4.13 conclui-se que, segundo a medida de similaridade aplicada, é pertinente formar cinco *clusters* em que:

- um desses conjuntos é composto por quatro recursos, que são utilizados em todos os processos;
- outro é constituído por três recursos que são necessários durante dois processos, nomeadamente, no processo de produção do "Acionamento" e da "Curva";
- o terceiro *cluster* é constituído, também, por três recursos que só são utilizados no processo de produção do "Troço";
- o quarto conjunto é composto por quatro recursos, que apenas são utilizados na produção do "Acionamento";
- por último foi formado um *cluster* com nove recursos que são usados apenas no processo de produção da "Curva".

Tabela 4.13: Recursos que são utilizados nos vários processos

Recurso	Processo		
	Acionamento	Curva	Troço
ARM	1	1	1
SM	1	1	1
REC	1	1	1
MPE	1	1	1
M428	1	1	0
M548	1	1	0
MQ	1	1	0
MAS	0	0	1
MET	0	0	1
M430	0	0	1
M199	1	0	0
M203	1	0	0
M204	1	0	0
MC	1	0	0
FORN	0	1	0
BFORN	0	1	0
M193	0	1	0
M207	0	1	0
M210	0	1	0
M213	0	1	0
MCL	0	1	0
MCR1	0	1	0
MPB	0	1	0

Capítulo 5

Conclusões e trabalho futuro

5.1 Conclusões

Os objetivos deste trabalho foram desenvolver um modelo que relaciona os vários recursos existentes numa unidade de produção e um algoritmo que agrupe esses recursos. Os agrupamentos realizados fornecem ao utilizador um sistema de apoio à decisão para apresentar uma proposta de um *layout* industrial.

Para propor uma solução válida e que tenha em consideração os requisitos do cliente foi necessário criar um modelo relacional de dados, em que os dados representam os recursos existentes na futura instalação industrial, e conceber um algoritmo de agrupamento dos vários dados, mediante as relações obtidas a partir do modelo criado.

Na elaboração do modelo relacional foram definidos atributos através dos quais foram calculados os valores das relações entre os recursos existentes na instalação industrial e restrições que obrigam os vários recursos a pertencerem ou não ao mesmo agrupamento. Todos os atributos previamente definidos, assim como todas as restrições apresentadas pelo cliente foram considerados na conceção do modelo relacional. Desta forma podemos concluir que o modelo desenvolvido cumpriu com todos os requisitos considerados, apresentando uma solução válida para resolução do problema proposto.

Em relação ao algoritmo de agrupamento, o mesmo foi desenvolvido com o propósito de, mediante os resultados obtidos no modelo relacional previamente desenvolvido, apresentar soluções que sejam possíveis de implementar. O algoritmo concebido consegue considerar como *input* todos os atributos considerados na conceção do modelo relacional, que correspondem aos atributos definidos pelo cliente, assim como, respeitar todas as restrições consideradas na abordagem realizada ao problema de formação de *clusters* de produção.

Como trabalho adicional foi desenvolvida uma interface gráfica que permite ao utilizador do algoritmo de agrupamento apresentado realizar a formação dos vários *clusters*, de forma simples e eficaz, considerando apenas um, alguns ou todos dos atributos previamente definidos de forma combinada, atribuindo importâncias diferentes a cada um desses atributos.

O modelo desenvolvido e o algoritmo de agrupamento demonstraram-se eficiente e eficazes, uma vez que fornecem resultados válidos e têm em consideração os atributos e restrições previamente definidos.

5.2 Trabalho futuro

Como trabalho futuro que pode ser realizado na sequência desta dissertação, julgo ser interessante a construção de um algoritmo de melhoramento que, a partir do algoritmo criado, obtenha novas soluções de agrupamento e, eventualmente, obtenha melhores soluções que as obtidas com a utilização do algoritmo proposto.

Anexo A

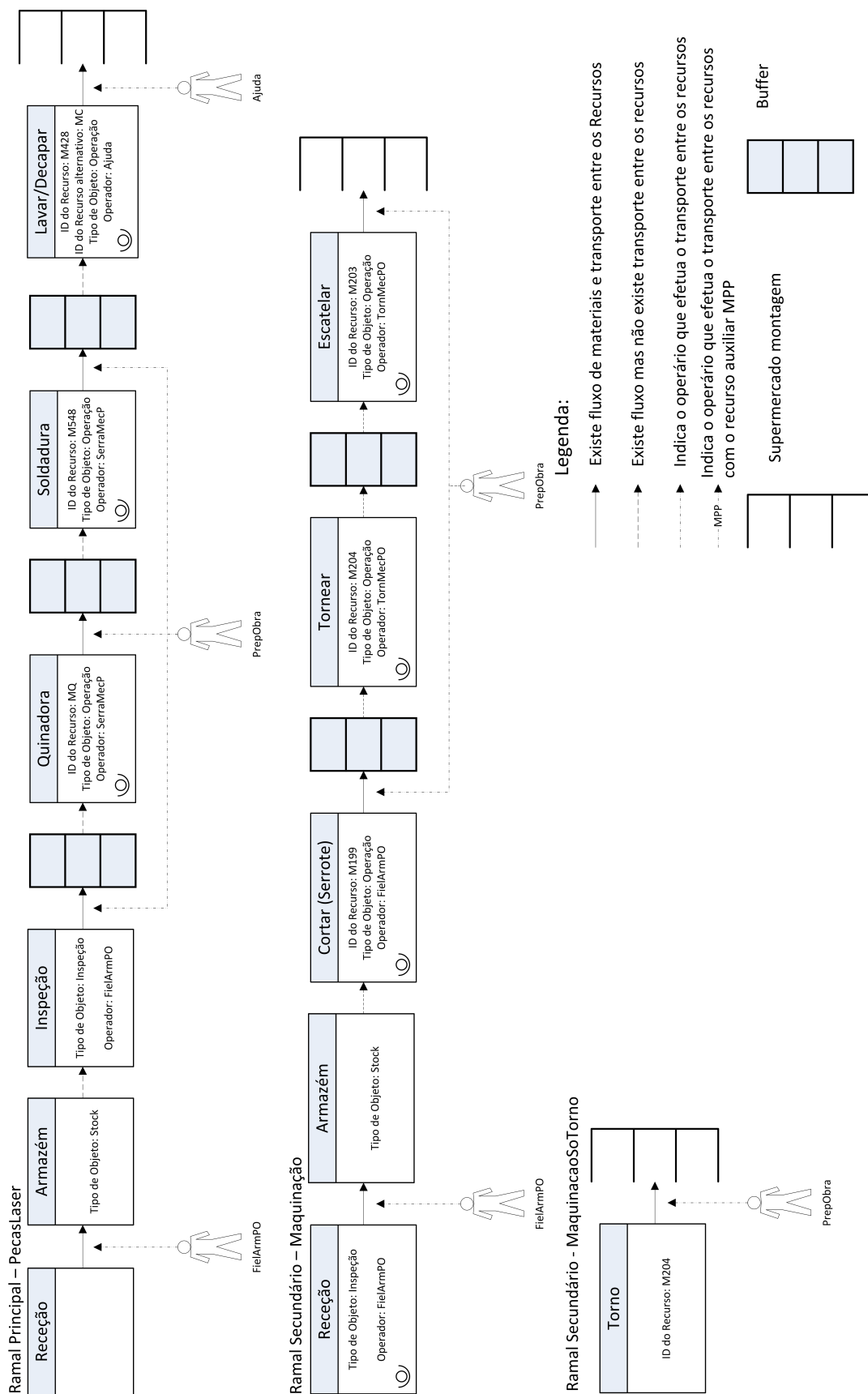


Figura A.1: Processo de produção do "Acionamento" parte 1/3

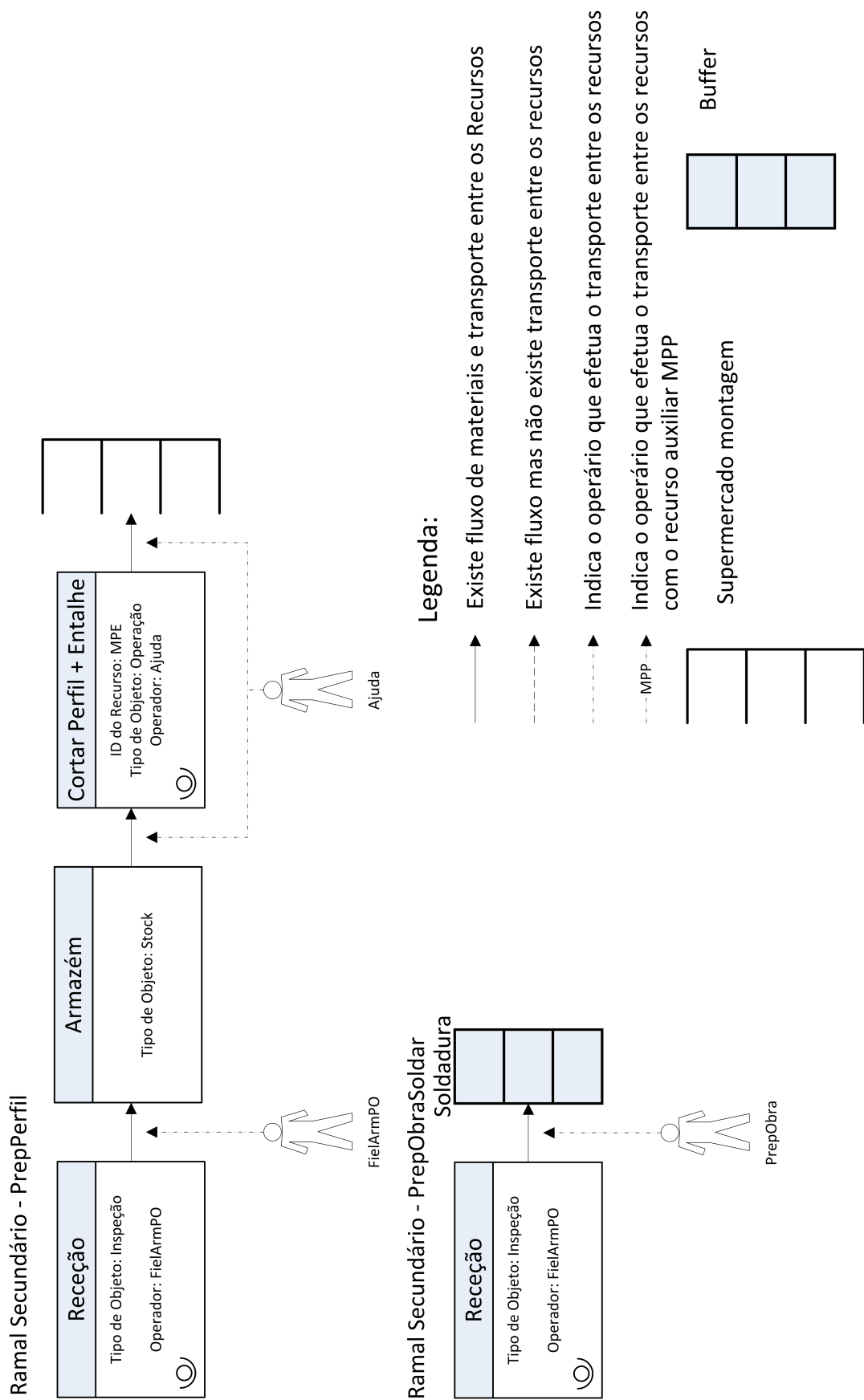


Figura A.2: Processo de produção do "Acionamento" parte 2/3

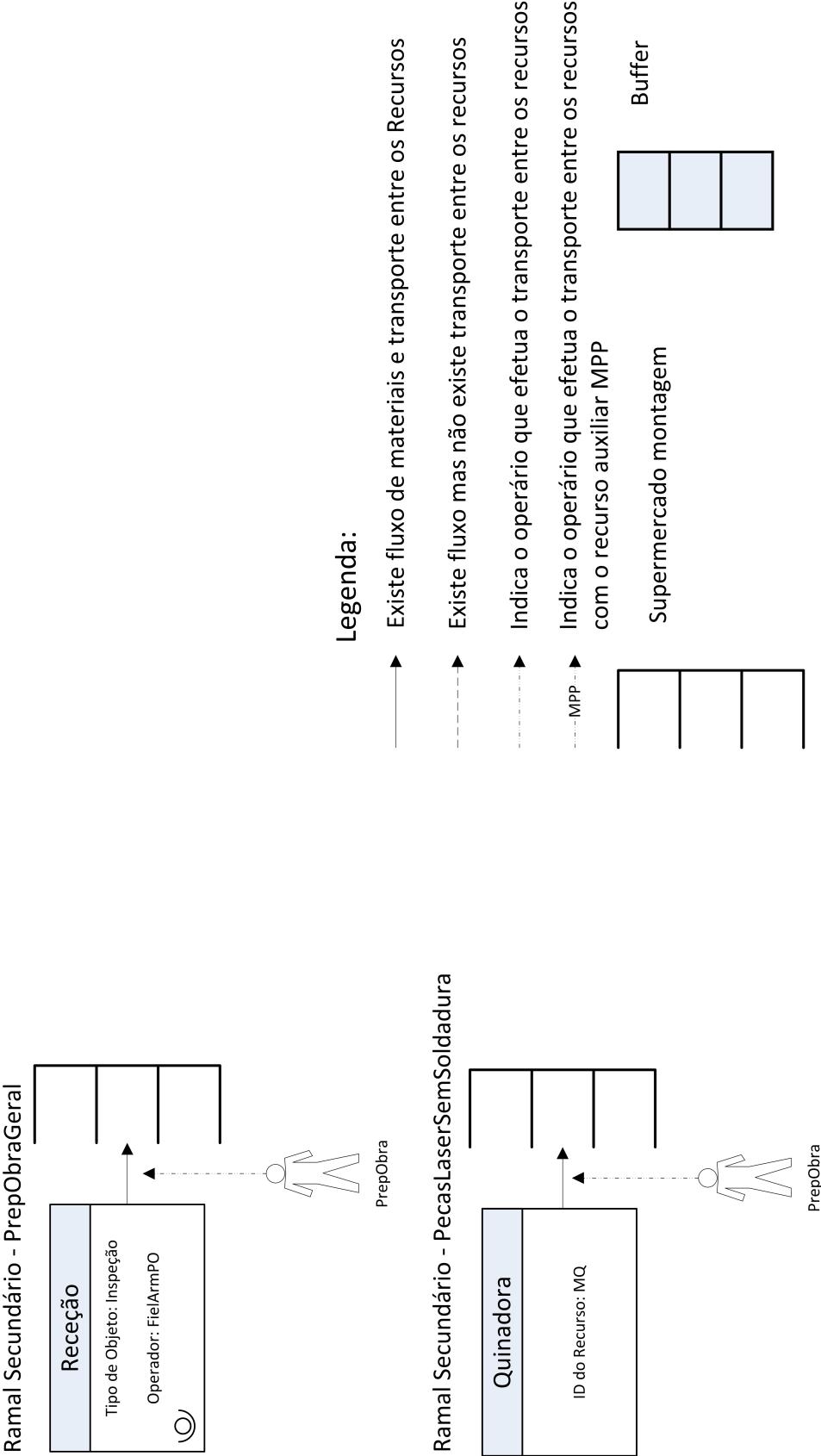


Figura A.3: Processo de produção do "Acionamento" parte 3/3

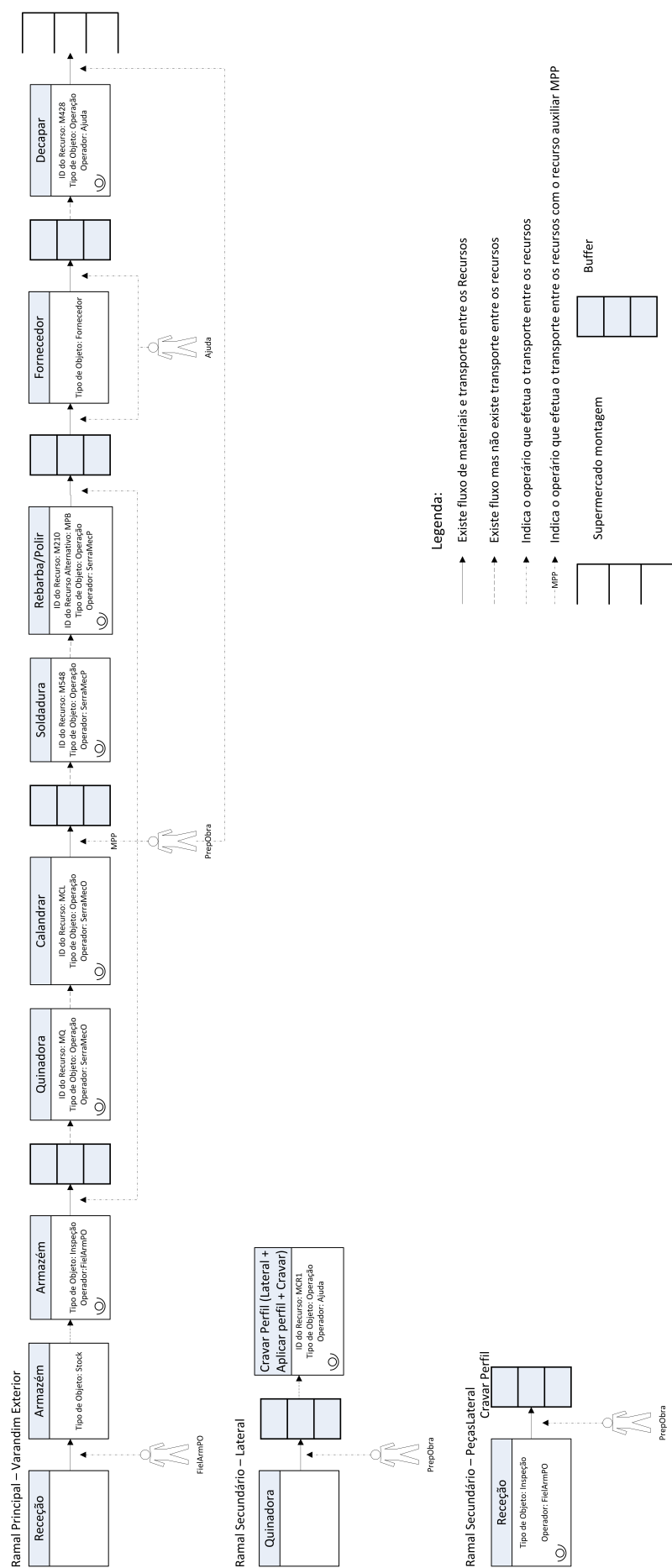


Figura A.4: Processo de produção da "Curva" parte 1/4

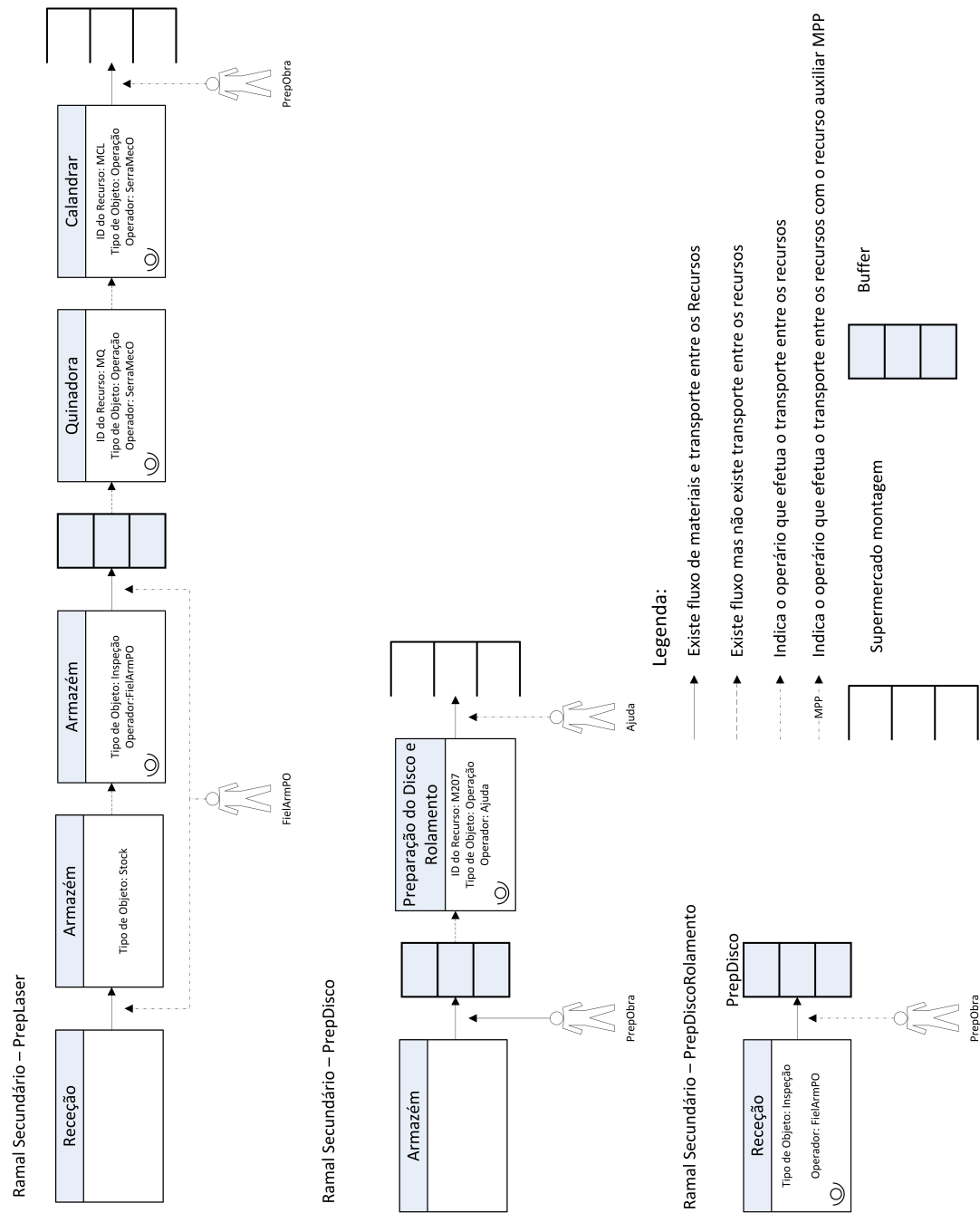


Figura A.5: Processo de produção da "Curva" parte 2/4

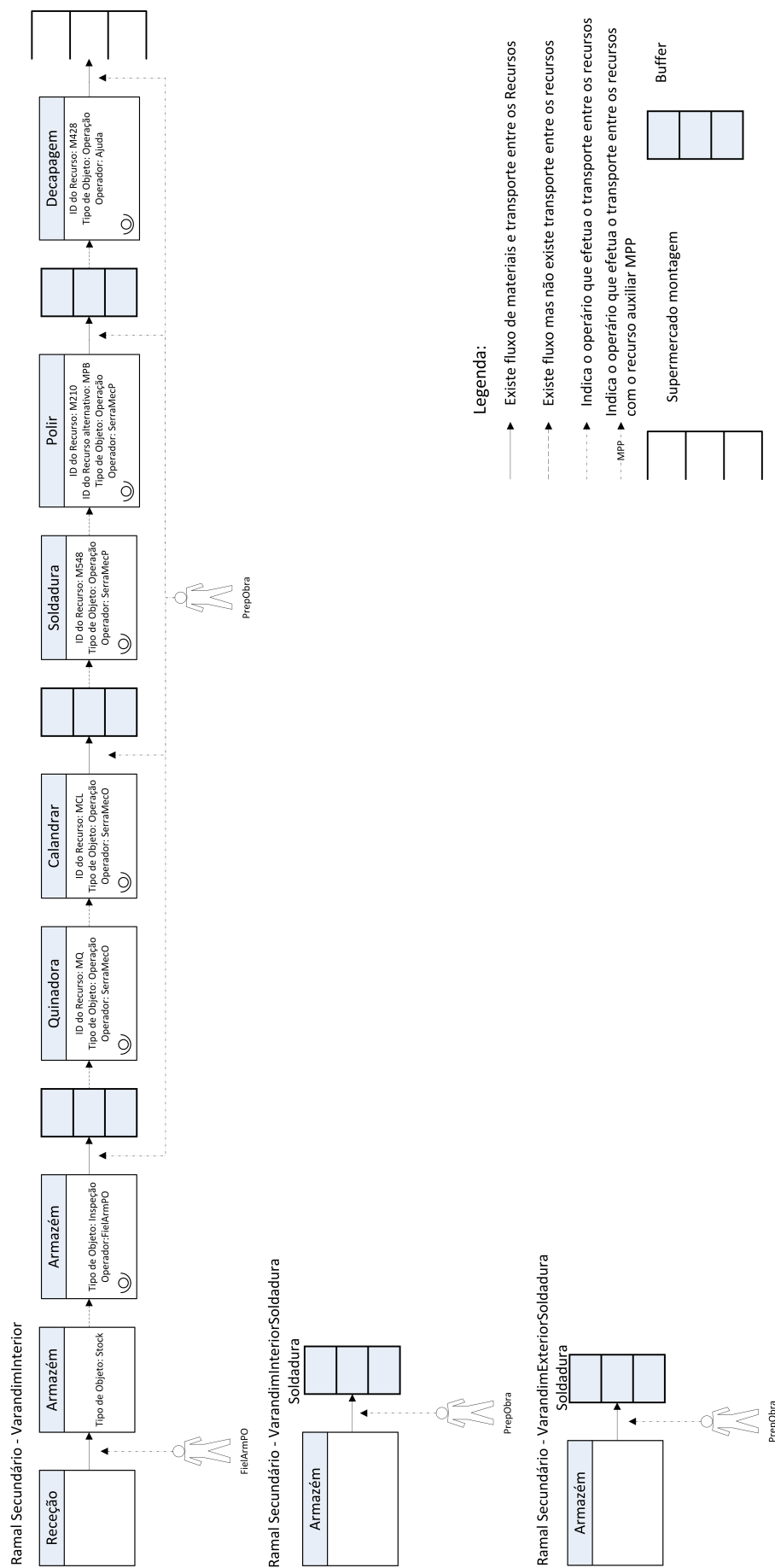


Figura A.6: Processo de produção da "Curva" parte 3/4

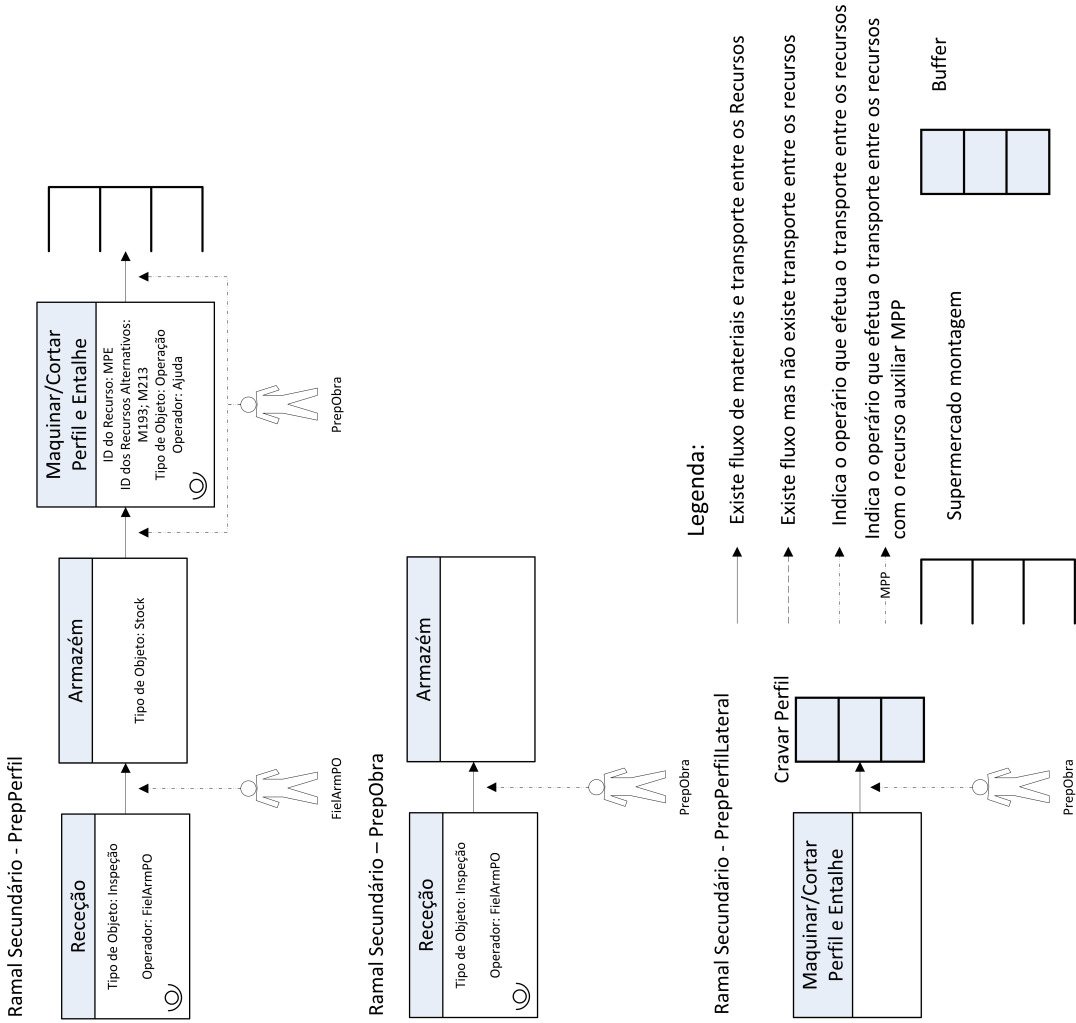


Figura A.7: Processo de produção da "Curva" parte 4/4

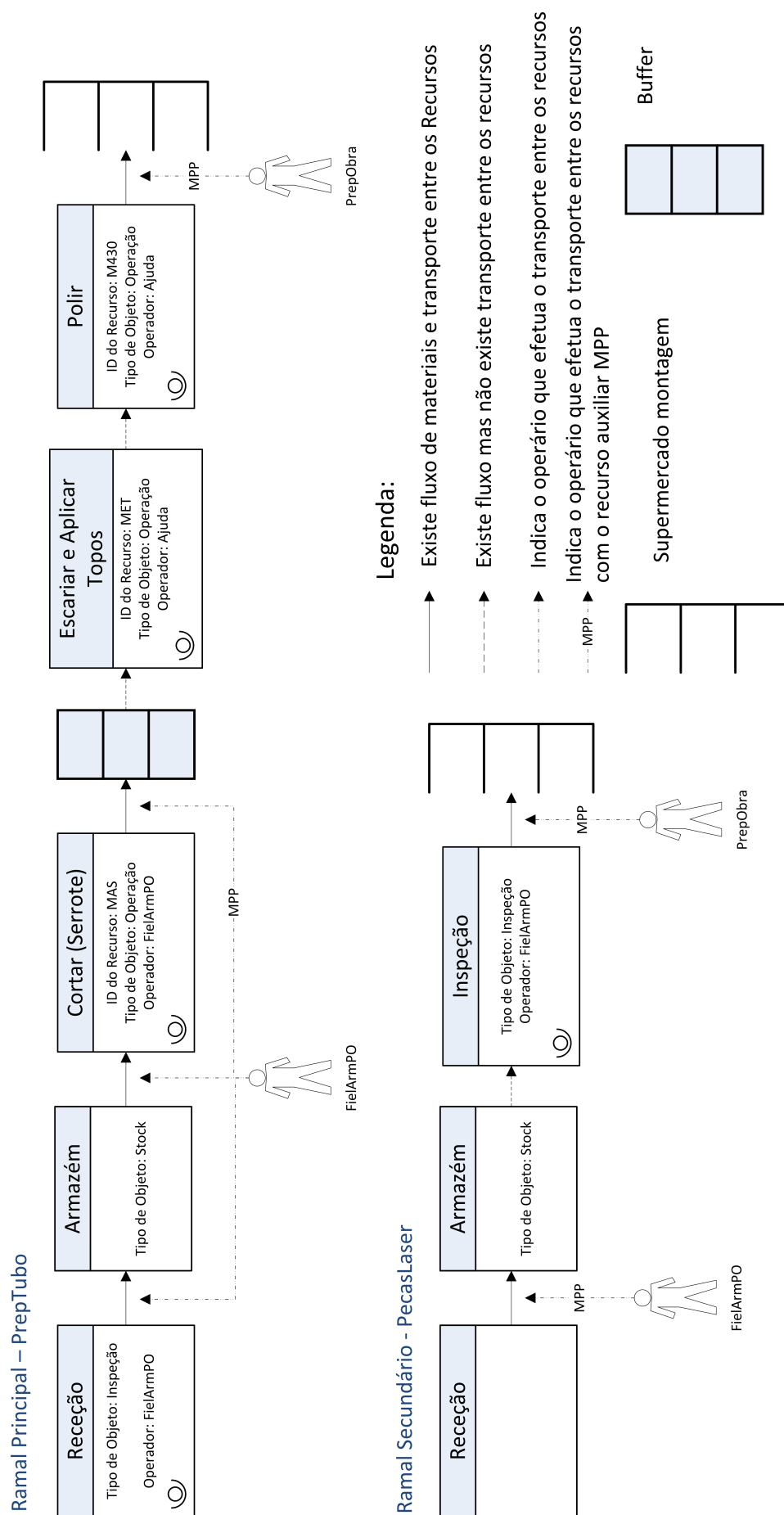


Figura A.8: Processo de produção do "Troço" parte 1/2

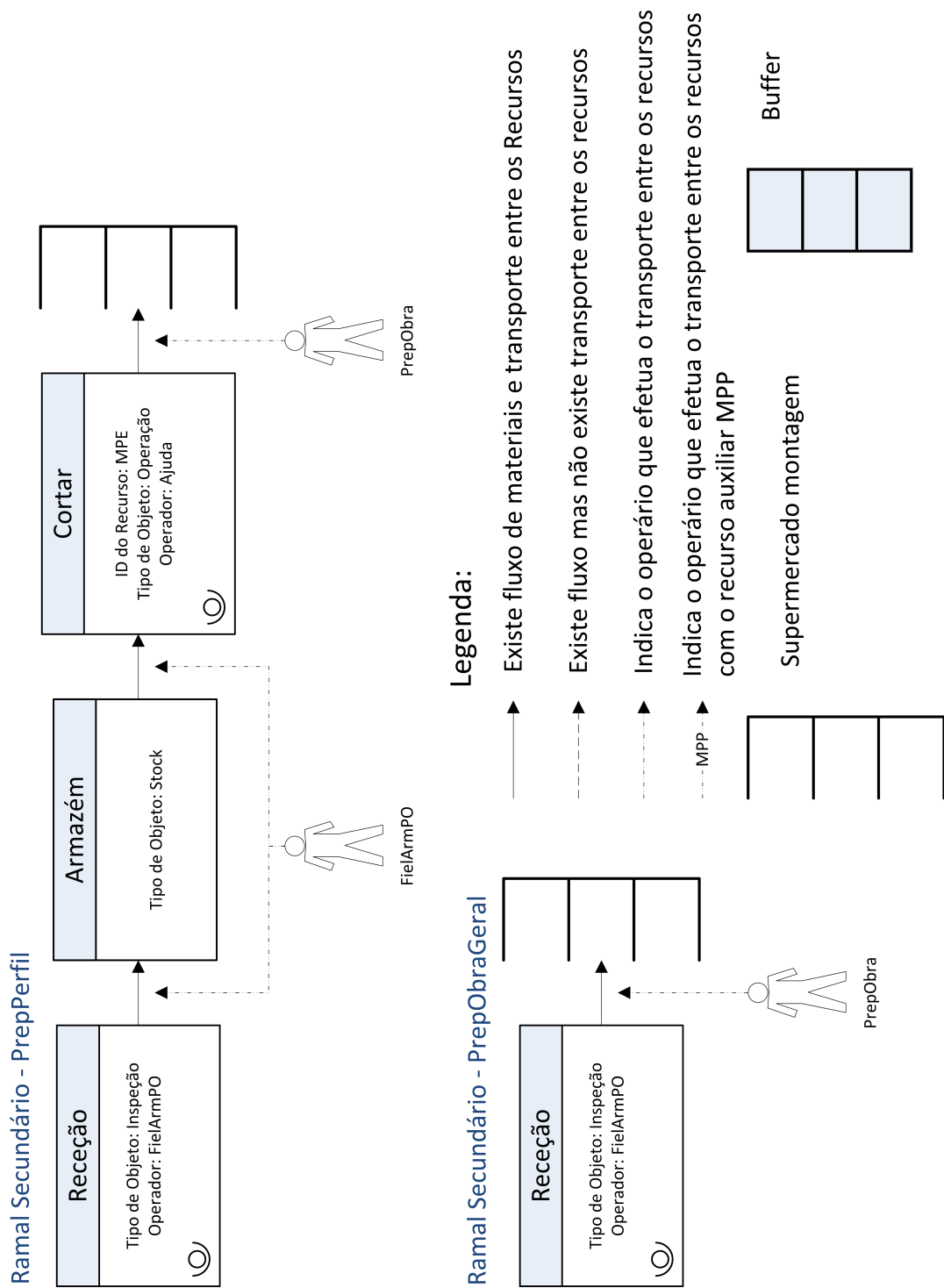


Figura A.9: Processo de produção do "Troço" parte 2/2

		Recurso																						
ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
Recurso	MAS																							
	M203	0																						
	M204	0	0																					
	M207	0	0	0																				
	M210	0	0	0	0																			
	M428	0	0	0	0	0																		
	M548	0	0	0	0	0	1																	
	MQ	0	0	0	0	0	0	1																
	MC	0	0	0	0	0	0	1	0															
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	M199	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0							
	SM	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0						
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	REC	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0				
FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Figura A.10: Matriz relacional do fluxo de materiais no processo de produção do "Acionamento"

		Recurso																						
ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
MAS																								
M203	0																							
M204	0	0																						
M207	0	0	0																					
M210	0	0	0	0																				
M428	0	0	0	0	0	1																		
M548	0	0	0	0	0	2	0																	
MQ	0	0	0	0	0	0	0	0																
MC	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
MCR1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0													
MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
MPB	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0										
MCL	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0									
AMP	0	0	0	1	0	0	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0								
SM	0	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0							
M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
REC	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0				
FORN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
BFORN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1			
M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura A.11: Matriz relacional do fluxo de materiais no processo de produção da "Curva"

		Recurso																						
ID \ ID		MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193
MAS																								
M203		0																						
M204		0	0																					
M207		0	0	0																				
M210		0	0	0	0																			
M428		0	0	0	0	0																		
M548		0	0	0	0	0	0																	
MQ		0	0	0	0	0	0	0																
MC		0	0	0	0	0	0	0	0															
MPE		0	0	0	0	0	0	0	0	0														
MCR1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
MET		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
M199		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
MPB		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
MCL		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
AMP		1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0								
SM		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0							
M213		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
M430		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0					
REC		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0				
FORN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
BFORN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
M193		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura A.12: Matriz relacional do fluxo de materiais no processo de produção do "Troço"

		Recurso																							
ID \ ID		MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
Recurso	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																	
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0								
	SM	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0							
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Nº de recursos em que opera											4	Nº de operações que realiza											4

Figura A.13: Transportes realizados pelo operário "Ajuda" no processo de produção do "Acionamento"

		Recurso																							
Recurso	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																	
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0				
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Nº de recursos em que opera												1	Nº de operações que realiza										3	

Figura A.14: Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" no processo de produção do "Acionamento"

		Recurso																							
Recurso	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0	1																	
	MQ	0	0	0	0	0	0	0	1																
	MC	0	0	0	0	0	0	0	1	0															
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	M199	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0							
	SM	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	REC	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0			
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Nº de recursos em que opera		10										Nº de Operações que realiza												

Figura A.15: Transportes realizados pelo operário "PrepObra" no processo de produção do "Acionamento"

		Recursos																							
Recurso	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																	
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	SM	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	FORN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nº de recursos em que opera		3										Nº de Operações que realiza													3

Figura A.16: Transportes realizados pelo operário "Ajuda" no processo de produção da "Curva"

		Recursos																							
Recurso	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																	
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0								
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0				
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Nº de recursos em que opera										2		Nº de operações que realiza										5	

Figura A.17: Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" no processo de produção da "Curva"

ID \ ID		Recursos																						
		MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193
Recurso	MAS																							
	M203	0																						
	M204	0	0																					
	M207	0	0	0																				
	M210	0	0	0	0																			
	M428	0	0	0	0	1																		
	M548	0	0	0	0	0	0																	
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1													
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MPB	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0										
	MCL	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0									
	AMP	0	0	0	1	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0							
	SM	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0						
M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1						
M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
REC	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0				
FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
BFORN	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0		
		Nº de Recursos em que opera										20	Nº de Operações que realiza										23	

Figura A.18: Transportes realizados pelo operário "*PrepObra*" no processo de produção da "*Curva*"

ID \ ID		Recursos																							
		MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
Recurso	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																	
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0										
AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Nº de recursos em que opera		1										Nº de operações que realiza												1	

Figura A.19: Transportes realizados pelo operário "PrepObra" com o recurso auxiliar "MPP" no processo de produção da "Curva"

		Recursos																						
Recurso	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193
	MAS																							
	M203	0																						
	M204	0	0																					
	M207	0	0	0																				
	M210	0	0	0	0																			
	M428	0	0	0	0	0																		
	M548	0	0	0	0	0	0																	
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	AMP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0							
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0			
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nº de recursos em que opera		3										Nº de operações que realiza											

Figura A.20: Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" no processo de produção do "Troço"

		Recursos																							
Recurso		MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																	
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MET	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0				
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nº de recursos em que opera		2										Nº de operações que realiza												2	

Figura A.21: Transportes realizados pelo operário "FielArmPO" com o recurso auxiliar "MPP" no processo de produção do "Troço"

		Recursos																							
Recurso	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193	
	MAS																								
	M203	0																							
	M204	0	0																						
	M207	0	0	0																					
	M210	0	0	0	0																				
	M428	0	0	0	0	0																			
	M548	0	0	0	0	0	0																		
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																	
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0							
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0				
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nº de recursos em que opera		2											Nº de operações que realiza												2

Figura A.22: Transportes realizados pelo operário "PrepObra" no processo de produção do "Troço"

		Recursos																								
Recurso	ID \ ID	MAS	M203	M204	M207	M210	M428	M548	MQ	MC	MPE	MCR1	MET	M199	MPB	MCL	AMP	SM	M213	M430	REC	FORN	BFORN	M193		
	MAS																									
	M203	0																								
	M204	0	0																							
	M207	0	0	0																						
	M210	0	0	0	0																					
	M428	0	0	0	0	0																				
	M548	0	0	0	0	0	0																			
	MQ	0	0	0	0	0	0	0																		
	MC	0	0	0	0	0	0	0	0																	
	MPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0																
	MCR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
	MET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
	M199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
	MPB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	MCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	AMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1								
	M213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	M430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0						
	REC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	FORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	BFORN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	M193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Nº de recursos em que opera		2												Nº de operações que realiza												2

Figura A.23: Transportes realizados pelo operário "PrepObra" com o recurso auxiliar "MPP" no processo de produção do "Troço"

Referências

- [1] <http://www.produtech.org/o-que-e>. acessado em 01-03-2013.
- [2] F. W. Taylor. *Principles of Scientific Management*. 1911.
- [3] Taiichi Ohno. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Open University Press, Quarta edição, 1988.
- [4] S. Nash, A. e Polling. *Mapping the Total Value Stream: A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes*. 2008.
- [5] F. Juran, J. e Gryna. *Juran's quality control handbook*. 1988.
- [6] J. Rother, M. e Shook. *Learning to See: Value Stream Mapping to create value and eliminate muda*. 1999.
- [7] Jacobs F. R. e Aquilano N. J. Chase, R. B. *Operations Management for Competitive Advantage*. 2006.
- [8] J. L. Burbidge. *Production flow analysis for planning group technology*. 1989.
- [9] R. B. Jacobs, F. R. e Chase. *Operations and Supply Chain Management*. 2010.
- [10] Bhaba R. Sarker. The resemblance coefficients in group technology: A survey and comparative study of relational metrics. *Computers and Industrial Engineering*, 30(1):103 – 116, 1996.
- [11] Kazuhiko Yin, Yong e Yasuda. Similarity coefficient methods applied to the cell formation problem: a comparative investigation. *Comput. Ind. Eng.*, 48(3):471–489, Maio 2005.
- [12] Oliveira R. Themido I. e Correia F. Tavares, L. *Investigação Operacional*. 1996.
- [13] R. L. Keeney. *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*. 1996.
- [14] T. Faleiros e E. Xavier. Algoritmos para o problema de particionamento em grafos. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 2011.
- [15] Widrow Bernard Lehr Michael Rumelhart, David. The basic ideas in neural networks. *Communications of the ACM*, 1994.
- [16] Vrat P. e Shankar R. Soleymannpour, M. A transiently chaotic neural network approach to the design of cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, 2010.
- [17] R. Lindem. Técnicas de agrupamento. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, 2009.

- [18] Yong Yin. Application similarity coefficient method to cellular manufacturing. *Manufacturing the Future: Concepts, Technologies and Visions*, 30(1):103 – 116, 2006.
- [19] Jones D. Roos D. e Carpenter D. Womack, J. *A máquina que mudou o mundo*. 1992.
- [20] J. Roldão, V. e Ribeiro. *Organização da Produção e das Operações – Da concepção do produto à organização do trabalho*. 2004.
- [21] Hilger J. Nagi R. e Proth J. Harhalakis, G. Formation of manufacturing cells: An algorithm for minimizing the inter-cell traffic. *International Journal of Production research*, 1989.
- [22] J. Rajagopalan, R. e Batra. Design of cellular production systems. a graph-theoretic approach. *International Journal of production research*, 1994.
- [23] A. Kumar, K. e Vannelli. Strategic subcontracting for efficient disaggregated manufacturing. *International Journal of production research*, 1987.
- [24] Cresswell Goldberg J. e Vakharia A. Askin, R. A hamiltonian path approach to reordering the part-machine matrix for cellular manufacturing. *International Journal of production research*, 1991.
- [25] A. Black. *Emphatic design: User focuser strategies for innovation*. Proceedings of the conference on New Product Development, 1998.