



Pedro Amadinho da Paz
Licenciatura em Engenharia de Materiais

Proposta de Simulação de Sistema Híbrido TOC-Lean

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Alexandra Tenera,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado
Arguente: Prof. Doutor Paulo Miguel Nogueira Peças
Vogais: Prof.^a Doutora Alexandra Maria Baptista dos Ramos Tenera
Doutora Sandra Nunes Oliveira

Proposta de Simulação de Sistema Híbrido TOC-*Lean*

Copyright © Pedro Amadinho da Paz, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

Agradecimentos

Quero agradecer à minha orientadora desta dissertação, Prof.^a Alexandra Tenera, pela ajuda incansável em todos os momentos necessários, a todo o apoio dado e disponibilidade nesta etapa.

À INCM S.A., agradeço em especial à Dr.^a Sandra Oliveira pela oportunidade dada, pela disponibilidade e pela supervisão realizada. Agradeço ainda ao Eng.^o Luís Machado e a todos os colaboradores da INCM S.A., pela ajuda e pelo suporte dado neste trabalho.

À minha família pelo apoio em todos os momentos, pela motivação e pelo carinho.

À minha irmã e amiga, Margarida, por toda a dedicação e suporte dado.

À Maria João por todo o amor e carinho que sempre me disponibilizou, a boa disposição que me prestou, sem os quais teria sido impossível atingir a meta.

Aos meus amigos pela motivação, presença e apoio constante.

Resumo

Num mundo em constante evolução, que obriga a uma rápida adaptação dos processos de produção das organizações governamentais, de forma a devolver ao cidadão um serviço de excelência, leva à necessidade de melhoria de fluxos de produção. Para isso, um sistema híbrido, contemplando a Teoria das Restrições (TOC) e *Lean*, poderá responder eficazmente.

Neste sistema híbrido TOC-*Lean*, cruzam-se duas poderosas ferramentas de melhoria e de otimização de sistemas produtivos, abordando, através de uma vertente *Lean*, a procura dos desperdícios numa organização, assim como, a melhoria de espaços produtivos. Por outro lado, a TOC consegue direccionar uma organização, a gerir da melhor forma o seu sistema produtivo, com foco nos ganhos.

Esta dissertação desenvolveu-se com base num sistema produtivo *Make-to-Stock* da Imprensa Nacional - Casa da moeda (INCM), S.A., onde, através da ferramenta *Value Stream Mapping*, foram identificadas oportunidades de melhoria no sistema de gestão da produção, na redução da quantidade de material em vias de processo, na redução do *Lead Time* e também na configuração do espaço de produção.

Foi proposto um sistema TOC-*Lean*, de melhoria das oportunidades encontradas, através da construção de um modelo de simulação da linha de produção, que facultou a base para verificar um modelo de gestão da produção baseado na *Drum-Buffer-Rope* (DBR). Recorreu-se ainda ao mesmo modelo de simulação para estudar a alteração do tamanho de lote no sistema de gestão da produção atual em comparação à TOC.

Neste sistema híbrido foi também utilizado o *Systematic Layout Planning* (SLP), de modo a estudar a configuração de espaço com oportunidade de melhoria, assim como a geração de configurações alternativas de modo a melhorar o fluxo de produção.

Os resultados obtidos demonstraram melhorias, através da aplicação das ferramentas TOC e *Lean*, com recurso ao uso da simulação.

Palavras-Chave:

Planeamento Sistemático de Instalações; Produzir para a disponibilidade; Simulação; Tamanho de lote; Tambor-Reserva-Corda; Teoria das Restrições/*Lean*;

Abstract

In a world in permanent evolution, which requires a fast adaptation of governmental production processes, in order to return to the citizen a service excellence, leads the need to improve production flows. For this, an hybrid system comprising the Theory of Constraints (TOC) and Lean, can respond effectively.

In this TOC-Lean hybrid system, two powerful tools are crossed for improvement and optimization of production systems, approaching through Lean, the demand of wastes in an organization, as well as the improvement of productive spaces. On the other hand, TOC can lead an organization to a better management of production system, focusing on Throughput.

This thesis was developed based on a Make-to-Stock production system within *Imprensa Nacional – Casa da Moeda (INCM) S.A.*, which, through the Value Stream Mapping (VSM) tool, improvement opportunities were identified in the production management system, in WIP and Lead Time reduction, and also in the shopfloor space configuration.

It was proposed a TOC-Lean system, based on opportunities found, through the construction of a simulation model of the production line, which provided the basis for checking a management production model based on Drum-Buffer-Rope (DBR). It was used the same simulation model to study the change of the batch size in the current production management system compared to the TOC.

In this hybrid system it was also used the Systematic Layout Planning (SLP), in order to study improvement opportunities in the space configuration, as well as the creation of alternative configurations to optimize the production flow.

The results showed great improvements, by applying TOC and Lean tools, thought the use of simulation.

Keywords:

Batch Size; Drum-Buffer-Rope; Make-to-Availability; Simulation; Systematic Layout Planning; TOC-Lean.

Lista de abreviaturas e siglas

CRT – *Current Reality Tree* - Arvore Realidade Actual

DBR – *Drum, Buffer, Rope* - Tambor-Reserva-Corda

JIT- *Just In Time* – Processamento e movimentação de materiais consoante a necessidade

MTA - *Make to Availability* - Produzir para a disponibilidade

MTO - *Make to Order* - Produzir para encomenda

MTS - *Make to Stock* - Produzir para inventário

NNVA - *Necessary but non-value adding* – Valor não acrescentado mas necessário

NVA - *Non-value adding* – Valor não acrescentado

OE – *Operational expenses* - Despesas operacionais

OPT - *Optimized Production Technology* – Tecnologia otimizada de produção

ROI – *Return On Investment* - Retorno sobre o investimento

SLP – *Systematic Layout Planning* - Planeamento Sistemático de Instalações

SP – *Seru Production* – Produção celular

SPC - *Statistical Process Control* - Controlo Estatístico de Processo

T – *Throughput* - Receitas

TLS – *TOC, Lean, Seis-sigma* - Teoria das Restrições, Lean e Seis Sigma

TP – *Thinking Process* - Pensamento crítico

TPS – *Toyota Production System* – Produção Toyota

TQM - *Total Quality Management* – Gestão da Qualidade Total

Un – Unidade(s)

VA - *Value adding* - Valor acrescentado

VSM – *Value Stream Mapping* – Mapeamento do fluxo de valor

WIP – *Work In Process* – Produto em vias de fabrico

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento, motivação e justificação do estudo	1
1.2 Objetivo do estudo	2
1.3 Metodologia de investigação.....	2
1.4 Estrutura do documento	4
2. Descrição do sistema em estudo	7
2.1 Apresentação da INCM S.A.....	7
2.2 Descrição do sistema.....	10
2.3 Diagnóstico do sistema	24
2.4 Oportunidades de melhoria	26
3. Produção <i>Lean</i> aplicada a setores governamentais e indústrias gráficas.....	29
3.1 Princípios e ferramentas da produção <i>Lean</i>	30
3.2 Sistemas híbridos TOC- <i>Lean</i> e TLS	41
3.3 Alternativas a TOC, <i>Lean</i> e Seis-Sigma.....	56
3.4 Simulação <i>Offline</i>	57
3.5 Comentários finais do capítulo.....	62
4. Proposta de simulação de sistema híbrido TOC-<i>Lean</i>.....	65
4.1 Construção do modelo de simulação.....	71
4.2 Verificação e validação do modelo de simulação	84
4.3 Caracterização das oportunidades de melhoria	89
4.4 Implementação da TOC no sistema de gestão da produção	90
4.5 Alteração do tamanho de lote.....	95
4.6 SLP – Melhoria de <i>layout</i>	99
5. Conclusões e recomendações	119
Referências	121
Anexos	125
A.I Fluxo de processo para os produtos P1, P2, P3, P4 e P5.....	125
A.II Dados relativos à descrição do sistema.....	130
A.III VSM Proposto.....	131
A.IV Documento de suporte aos princípios e ferramentas Lean	132
A.V Dados de Input do modelo de simulação	133
A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo	134
A.VII Construção do modelo DBR – Secções do modelo	143
A.VIII VSM Futuro.....	145
A.IX SLP – Análise global.....	146
A.X SLP – Análise específica	150

Índice de figuras

Figura 1.1 - Cronograma das fases de desenvolvimento da dissertação.....	4
Figura 2.1 – a) Prensa monetária. b) Alvará.....	8
Figura 2.2 - Representação de cartão polimérico.....	10
Figura 2.3 - Fluxo de produção dos produtos P1, P2, P3 e P4.....	13
Figura 2.4 - Fluxo de transporte entre processos.....	14
Figura 2.5 – Exemplo de equipamento de Laminagem.....	18
Figura 2.6 - <i>Layout</i> de corte de cartões poliméricos.....	19
Figura 2.7 - VSM atual para o produto P1.....	25
Figura 3.1 - Princípios, métodos e ferramentas <i>Lean</i>	31
Figura 3.2 - Os sete tipos de <i>MUDA</i>	32
Figura 3.3 - Etapas do mapeamento do fluxo de valor.....	35
Figura 3.4 - Sistema <i>Kanban</i>	36
Figura 3.5 - Esquema de implementação SLP.....	38
Figura 3.6 - A evolução da TOC.....	42
Figura 3.7 - Resumo das componentes da TOC.....	43
Figura 3.8 - Os cinco passos fundamentais da TOC.....	44
Figura 3.9 - Métricas TOC e os indicadores tradicionais.....	44
Figura 3.10 - Conceito básico da DBR.....	47
Figura 3.11 - Estrutura de um <i>Buffer</i>	51
Figura 3.12 - Evolução Histórica do Seis Sigma.....	54
Figura 3.13 - Aplicação da Seru.....	57
Figura 3.14 - Estudo de um sistema e caracterização dos modelos.....	58
Figura 3.15 - Etapas de implementação de uma simulação.....	61
Figura 4.1 - Diagrama da metodologia aplicada.....	66
Figura 4.2 - Ajustamento dos tempos de avarias no equipamento <i>Chip</i> a partir do <i>software Input Analyzer</i>	70
Figura 4.3 – Arena: Modelo de simulação.....	72
Figura 4.4 - Arena: Schedule do recurso de Controle de qualidade.....	79
Figura 4.5 - Arena: Detalhe do painel <i>StateSet</i>	84
Figura 4.6 - Arena: Detalhe do painel <i>Failure</i>	84
Figura 4.7 - Arena: Relatório. Parte 1.....	86
Figura 4.8 - Arena: Relatório. Parte 2.....	87
Figura 4.9 - Arena: Tendência do <i>Output</i> para os produtos P1, P2 e P3.....	87
Figura 4.10 - Arena: a) Variação da quantidade diária entregue ao cliente. b) Nível de <i>stock</i>	88
Figura 4.11 - Arena: Gestão do <i>Buffer</i> antes do CCR.....	92
Figura 4.12 – <i>Process Analyzer</i> : Resultados com o modelo original e o modelo baseado na TOC.....	93
Figura 4.13 - Arena: Nível de <i>stock</i> para o modelo TOC-DBR.....	95
Figura 4.14 - Arena: Submodelo "Reduz lotes de entrada" criado antes do processo Contar.....	96
Figura 4.15 - Arena: Submodelo que divide os lotes de entrada.....	97
Figura 4.16 - <i>Process Analyzer</i> : <i>Output</i> para a análise de tamanho de lote.....	97
Figura 4.17 - <i>Process Analyzer</i> : resposta do <i>Lead Time</i> e <i>WIP</i> face aos <i>Inputs</i>	98
Figura 4.18 - <i>Layout</i> conceptual.....	99
Figura 4.19 - Gráfico de Pareto relativo ao tipo de relações entre atividades.....	102
Figura 4.20 - Representação gráfica do diagrama de relações.....	104
Figura 4.21 – <i>Blocplan</i> : a) Departamentos. b) Relações entre departamentos.....	107
Figura 4.22 - <i>Blocplan</i> primeira solução gerada.....	108
Figura 4.23 - Configuração da primeira solução ajustada à razão entre lados dos departamentos.....	108
Figura 4.24 – Layout da segunda solução ajustada à razão entre lados dos departamentos.....	109
Figura 4.25 - <i>Layout</i> conceptual para a análise específica.....	111
Figura 4.26 – <i>Blocplan</i> análise específica: a) Departamentos. b) Relações entre departamentos.....	114
Figura 4.27 - <i>Blocplan</i> para a análise específica: Primeira configuração obtida.....	115
Figura 4.28 - <i>Blocplan</i> para a análise específica: Segunda solução obtida.....	116
Figura A.I. 1 - Fluxo de processo para o produto P1.....	125
Figura A.I. 2 - Fluxo de processo para o produto P2.....	126
Figura A.I. 3 - Fluxo de processo para o produto P3.....	127
Figura A.I. 4 - Fluxo de processo para o produto P4.....	128
Figura A.I. 5 - Fluxo de processo para o produto P1.....	129

Figura A.III. 1 - VSM Proposto	131
Figura A.IV. 1 Simbologia usada na construção do VSM	132
Figura A.VI. 1 – Arena: Secção 1 de Leitura dos Inputs do Arena.....	134
Figura A.VI. 2 – Arena: secção 2 do modelo de simulação	135
Figura A.VI. 3 – Arena: conjunto de blocos para leitura dos lotes de Input para P1	136
Figura A.VI. 4 – Arena: Detalhe do processo de contagem.....	137
Figura A.VI. 5 – Arena: detalhe da secção 4	137
Figura A.VI. 6 - Arena: detalhe do submodelo "Separa P4 em Caixas de 300Folhas"	138
Figura A.VI. 7 - Arena: modelação de suporte para a secção 4	139
Figura A.VI. 8 - Arena: detalhe da Secção 5.....	139
Figura A.VI. 9 - Arena: detalhe da secção 6	140
Figura A.VI. 10 - Arena: modelação de suporte da secção 6	140
Figura A.VI. 11 - Arena: detalhe da secção 7	140
Figura A.VI. 12 - Arena: detalhe da secção 8	141
Figura A.VI. 13 - Arena: painel de estatísticas do Software Arena	142
Figura A.VII. 1 - Arena: modelo DBR.....	143
Figura A.VIII. 1 - VSM Futuro.....	145
Figura A.X 1 – Análise específica: Visualização do layout conceptual com os departamentos com restrição...	153

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Produtos INCM S.A.	11
Tabela 2.2 - Quantidade média mensal produzida para cada produto(ou família de produto)	12
Tabela 2.3 - Tempos de <i>setup</i> do equipamento de laminagem.....	18
Tabela 2.4 - Volume anual entregue ao cliente	21
Tabela 2.5 - Dados históricos recolhidos relativos a entregas ao cliente e stock de segurança.....	23
Tabela 2.6 - <i>Stock</i> de segurança para cada um dos produtos.....	23
Tabela 2.7 - Tempo de transporte entre áreas.	23
Tabela 2.8 - Tabela de refugo médio definido	24
Tabela 3.1 - Sete principais ferramentas de mapeamento de valor.	34
Tabela 3.2 - Avaliação A, E, I, O, U e X	39
Tabela 3.3 - Quadro de semelhanças entre a abordagem <i>Lean</i> e a TOC.....	52
Tabela 3.4 - Quadro de diferenças entre a abordagem <i>Lean</i> e a TOC.....	53
Tabela 3.5 - Comparação entre <i>Lean</i> , Seis Sigma e TOC.	55
Tabela 4.1 – Cadências dos processos	69
Tabela 4.2 - Quantidades diárias a entregar ao cliente interno.....	70
Tabela 4.3 - Resumo das estatísticas a usar no modelo de simulação	71
Tabela 4.4 - Unidades utilizadas em cada processo	76
Tabela 4.5 – Cadência adaptada ao <i>layout</i> de cada produto.....	76
Tabela 4.6 – Conversão da Tabela 4.5 para segundos.....	76
Tabela 4.7 - Cálculos relativos à quantidade real enviada ao cliente	85
Tabela 4.8 - <i>Output</i> real depois de ser ajustado	85
Tabela 4.9 - <i>Output</i> do modelo de simulação com o <i>Output</i> real depois de ser ajustado	86
Tabela 4.10- Parâmetros dos <i>stocks</i> do modelo de simulação.....	88
Tabela 4.11 – Tempo dispendido em filas de espera para cada processo (Dias).....	89
Tabela 4.12 - Cálculos relativos à quantidade real enviada ao cliente com base no modelo TOC	93
Tabela 4.13 - <i>Output</i> real depois de ser ajustado com base no modelo TOC.....	93
Tabela 4.14 - Comparação entre modelo original e o modelo baseado na TOC	94
Tabela 4.15 - Tabela comparativa dos níveis de <i>stock</i> entre o modelo TOC-DBR e o Original	95
Tabela 4.16 – Dados retirados através do <i>software</i> AutoCad para cada departamento.....	100
Tabela 4.17 - Sequências de produção para cada referência e respetiva quantidade de produção mensal	101
Tabela 4.18 – Frequência, somatório de pares de departamentos e tamanho de lote médio	101
Tabela 4.19 - Carta De-Para.....	102
Tabela 4.20 - Carta de fluxos	102
Tabela 4.21 - Ordenação crescente dos pares de departamentos.....	103
Tabela 4.22 - Diagrama de relações	103
Tabela 4.23 - Distâncias entre departamentos para análise SLP (m)	104
Tabela 4.24 - Matriz RDS (m)	105
Tabela 4.25 - Número médio de lotes	105
Tabela 4.26 – Matriz da distância média total percorrida (m).....	106
Tabela 4.27 - Resumo da metodologia SLP aplicada à configuração atual.....	106
Tabela 4.28 - Dados de <i>Input</i> no <i>Software Blocplan</i> para a análise global	107
Tabela 4.29 - Resultados obtidos pelo <i>Blocplan</i> para a primeira solução	109
Tabela 4.30 - Resumo das duas melhores soluções pelo <i>software Blocplan</i>	110
Tabela 4.31 - Sequências de produção para cada referência e respetiva quantidade de produção mensal	111
Tabela 4.32 - Frequência, somatório de pares de departamentos e tamanho de lote médio	112
Tabela 4.33 - Tipo de relação.....	112
Tabela 4.34 - Matriz de Relações.....	112
Tabela 4.35 - Quadro resumo para a análise SLP: Exclusiva (E ; F ; G ; L ; M ; N ; O ; P ; Q)	113
Tabela 4.36 - Dados de <i>Input</i> no <i>Software Blocplan</i> para a análise específica	114
Tabela 4.37 - <i>Blocplan</i> : Resultados para a 1ª solução da análise E - F - G - L - M - N - O - P - Q.....	115
Tabela 4.38 - <i>Blocplan</i> : Resultados para a 2ª solução da análise E - F - G - L - M - N - O - P - Q.....	116
Tabela 4.39 - Quadro resumo para a análise específica	117
Tabela A.II. 1 – Dados de entrada de lotes de produção no processo Contar	130
Tabela A.II. 2 - Tempo entre falhas e duração das mesmas de outubro a dezembro de 2014.....	130
Tabela A.V. 1 - Tabela Excel com os <i>Inputs</i> do <i>Arena</i>	133
Tabela A.IX 1 – Cálculo do UB e LB para a análise global	146

Tabela A.IX 4 - Matriz das distâncias para a primeira solução da análise global	148
Tabela A.IX 5 - Matriz das distâncias percorridas para a primeira solução da análise global	148
Tabela A.IX 6 - Matriz das distâncias para a segunda solução da análise global	149
Tabela A.IX 7 - Matriz das distâncias percorrida para a segunda solução da análise global	149
Tabela A.X 1 - Posições XY e áreas para a análise específica.....	150
Tabela A.X 2 - Carta De-Para. Análise específica	150
Tabela A.X 3 - Carta De Fluxos para a análise específica	150
Tabela A.X 4 - Matriz distâncias para a análise específica	150
Tabela A.X 5 - Matriz das distâncias RDS para a análise específica	151
Tabela A.X 6 - Cálculo do índice R-Score para a análise específica	151
Tabela A.X 7 - Número médio de lotes entre departamentos para a análise específica	152
Tabela A.X 8 - Matriz das distâncias médias percorridas para a análise específica.....	152
Tabela A.X 9 - Matriz das distâncias para a primeira alternativa da análise específica.....	153
Tabela A.X 10 - Matriz das distâncias percorridas para a primeira alternativa da análise específica.....	153
Tabela A.X 11 – Matriz das distâncias para a segunda alternativa da análise específica	154
Tabela A.X 12 - Matriz das distâncias percorridas para a segunda alternativa da análise específica	154

1. Introdução

1.1 Enquadramento, motivação e justificação do estudo

O corrente trabalho foi desenvolvido na INCM S.A. (Imprensa Nacional e Casa da Moeda), indústria de renome em Portugal, reconhecida como uma das mais antigas fábricas Portuguesas, e também voltada para o futuro e inovação dos seus produtos e processos.

O sistema proposto combina conhecimentos teóricos com metodologias já adotadas pela organização, com o objetivo de melhorar os resultados globais, reduzir os desperdícios e tornar globalmente todos os processos mais eficientes. Com este trabalho, propõe-se ainda a introdução do conceito TOC nas áreas produtivas do sector público português.

Os produtos, e famílias de produtos, envolvidos nesta proposta, são os produtos P1, P2, P3 (Família de produto), P4 e P5 (Família de produto), uma vez que são produtos de elevada importância para a organização, estando enquadrados numa estratégia de produção baseada na previsão de procura (*Make-to-Stock – MTS*).

A constante evolução da forma como se fabricam os produtos, aliadas aos constantes desafios que as organizações enfrentam para manter os custos e receitas em níveis aceitáveis, traduz-se na necessidade de encontrar alternativas na forma como se produz e no tipo de cultura.

A implementação da TOC combinada com a metodologia *Lean*, traduz-se em eliminação de desperdícios através da identificação do que é de valor para o cliente aliado a uma gestão dos elos mais fracos de um sistema de produção. A TOC atua de uma forma interdependente de processos, garantindo ganhos rápidos para a organização, menos stocks e melhoria da qualidade. Da mesma forma a metodologia *Lean*, garante um foco no fluxo de processos, eliminação de todos os desperdícios até atingir a meta de zero desperdícios e redução do tempo de fluxo.

A TOC aplicada às áreas produtivas, é identificada com a capacidade de proteger os elos mais fracos, ou restrições, da variabilidade exterior. Esta capacidade da TOC é derivada da sua ferramenta DBR (*Drum-Buffer-Rope*).

A simulação é uma robusta ferramenta com elevada flexibilidade e expansibilidade, no que diz respeito à verificação e desenvolvimento de novos horizontes. A aplicação da simulação em sistemas produtivos é de vasto conhecimento da comunidade científica e isto devido aos excelentes resultados analíticos e à capacidade de comparação simultânea.

O desenvolvimento deste sistema, insere-se num projeto colaborativo com a INCM S.A., que tem como objetivo a criação de valor para a organização através da identificação de oportunidades de melhoria, substancialmente resultantes de desperdícios nos seus processos.

Antes de avançar para o capítulo seguinte é importante enquadrar o sistema que é alvo de estudo nesta dissertação. A INCM S.A. é uma empresa que se considera como uma organização que adotou a metodologia *Lean* e usa-a recorrentemente para melhorar toda a sua cadeia de valor. Este fator é de extrema importância, num trabalho como este onde diversas metodologias se irão cruzar e, gerar de uma forma sinérgica, valor acrescentado para a melhoria da organização.

1.2 Objetivo do estudo

No presente estudo, pretende-se o aumento da competitividade de uma organização pública, através da melhoria de pontos críticos que afetam o seu sistema.

Pretende-se com as melhorias, focadas nos produtos mencionados no capítulo anterior, reduzir desperdícios que afetem os fluxos dos processos produtivos, alinhados com os objetivos de inovação da INCM S.A..

- Identificação de oportunidades de melhoria, ao nível de material em vias de fabrico (Work In Progress - WIP), tempo total de fabrico (*Lead Time*) e gestão da produção, através de ferramentas *Lean* já adotadas pela INCM S.A.
- Aplicação de metodologias no âmbito TOC e *Lean* que devolvam soluções aplicáveis às oportunidades encontradas. No âmbito da TOC será aplicada a ferramenta DBR no âmbito da gestão da produção. No âmbito *Lean*, será aplicada a melhoria do tamanho de lote de produção e a ferramenta *Systematic Layout Planning* (SLP) de forma a estudar a melhor configuração do espaço produtivo.
- Desenvolvimento de um modelo de simulação capaz de suportar e testar metodologias do ponto anterior.
- Ao aplicar as metodologias, quantificar as melhorias alcançadas, de forma a poder traduzir este estudo num passo que incremente a inovação e melhoria na INCM S.A..

1.3 Metodologia de investigação

Na presente metodologia foi aplicada uma abordagem Indutiva, sendo esta uma das duas metodologias mais utilizadas segundo Spens & Kovács (2006). O autor defende que pode haver uma abordagem Indutiva e uma abordagem Dedutiva ao conduzir uma investigação científica. Na abordagem Dedutiva o processo inicia-se com a revisão de literatura para desenvolver a teoria em forma de hipóteses ou

proposição, que são depois testadas numa estrutura empírica, corroborando ou contradizendo a teoria anterior. Numa abordagem Indutiva, o investigador recolha os dados do sistema tal como existe, descreve o que recolheu e posteriormente implementa uma teoria relativa à interpretação do que descreveu.

Esta dissertação iniciou-se pelo estudo do sistema, onde foi feita uma pesquisa da informação existente na INCM S.A., e foram definidos os limites de estudo dentro do sistema.

Recorreu-se à ferramenta *Value Stream Mapping* (VSM) para realizar o mapeamento de todo o fluxo produtivo, do produto mais importante para a INCM S.A., o produto P1, baseado na informação disponível. Esta avaliação inicial permitiu identificar desperdícios e sugerir oportunidades de melhorias através de um VSM futuro.

Foi então revisto o estado da arte no âmbito *Lean*, abordando ferramentas direcionadas para as oportunidades encontradas, expandindo para sistema híbridos que envolvam não só *Lean* mas outras metodologias. Foi então abordada também a Teoria das Restrições (*Theory Of Constraints – TOC*) e as suas ferramentas de gestão da produção e redução de desperdício. Ainda no âmbito de exploração do estado da arte, decidiu-se abordar o método de simulação como base de tomada de decisão, representando o sistema real.

Foi desenvolvido e proposto um sistema híbrido, com recurso a simulação, onde define quais as melhores ferramentas face às oportunidades encontradas. Desta se destaca a construção de um modelo de simulação, a implementação de um sistema de gestão da produção TOC-DBR, a alteração do tamanho de lote e por fim um estudo de *Layout* com a ferramenta SLP.

Procedeu-se à construção do modelo de simulação com a capacidade de recriar o sistema de gestão da produção atual, e também com capacidade de se modificável para integrar um sistema TOC-DBR.

Analisado o modelo de simulação, foram envolvidos os *Key-Players* da INCM S.A., de modo a realizar a sua validação com elementos que têm experiência no sistema real.

Após esta fase foram caracterizadas as oportunidades de melhoria, de forma a adaptar ao sistema de simulação desenvolvido, para posteriormente ser criado um segundo modelo de simulação baseado no original, de forma a recriar os pressupostos do DBR em ambiente de produção para a disponibilidade (*Make-to-Availability – MTA*). Após análise dos resultados, avançou-se para aplicação *Lean* da alteração do tamanho de lote de produção. Foi analisado o impacto do tamanho de lote com o modelo de simulação original e com o modelo de simulação baseado na TOC, variando os nível de lote, e analisando o seu impacto nos indicadores de performance.

No seguimento da parte de simulação do modelo híbrido TOC-Lean, procedeu-se ao estudo da configuração do espaço de produção através da ferramenta SLP. Seguiram-se, posteriormente as comparações finais.

Por último, foram feitas as conclusões e recomendações futuras.

Na Figura 1.1 encontra-se o cronograma das fases de desenvolvimento da dissertação.

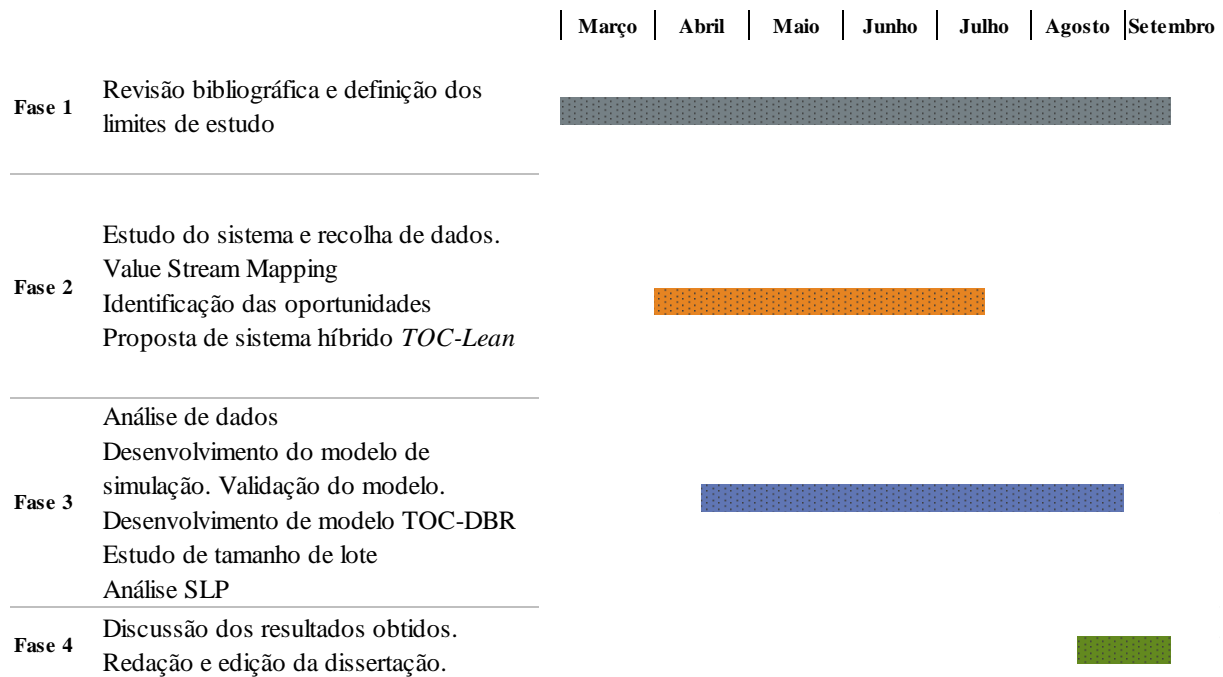


Figura 1.1 - Cronograma das fases de desenvolvimento da dissertação.

1.4 Estrutura do documento

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos:

No capítulo 1 são definidos os traços gerais da presente dissertação, incluindo as motivações objetivas e contextuais que levaram à execução da mesma.

No segundo capítulo foi efetuada a descrição do sistema onde serão expostos os dados disponíveis da INCM S.A. e onde foi feito um diagnóstico ao sistema. Recorreu-se à ferramenta VSM para identificar as oportunidades de melhoria.

No terceiro capítulo destaca-se a abordagem à bibliografia existente acompanhando as mais recentes inclusões de cada área, nomeadamente à área da TOC, produção *Lean* e as suas ferramentas, sistemas híbridos *TOC-Lean* e TLS. Ainda foi abordada a temática simulação.

No quarto capítulo é apresentada uma proposta de um sistema TOC-*Lean* e é também efetuada a sua aplicação prática através de um modelo de simulação. Neste capítulo é ainda implementado o DBR em ambiente *Make-to-Availability*. De seguida é aplicada a alteração do tamanho de lote de produção no âmbito *Lean*.

No capítulo quatro é ainda implementada a ferramenta SLP, com foco na otimização de *layout*.

No quinto capítulo são discutidos as últimas considerações sobre todo o trabalho realizado e propostos estudos futuros a realizar.

2. Descrição do sistema em estudo

No âmbito de um trabalho de investigação são sugeridas como boas práticas a partilha de informação total, permitindo ao leitor a fácil quantificação e interpretação dos dados face ao sistema em estudo, não só para interpretação do sistema real mas também para aumentar as valências da comunidade científica. Neste trabalho, a partilha de informação ao leitor será restringida ao máximo por forma a garantir a segurança da informação interna da INCM S.A., promovendo a sustentabilidade futura da qualidade do serviço público tal como foi feito até aos dias de hoje. Assim, por acordo feito com a Administração da INCM S.A., não serão divulgados detalhes específicos de produtos, nem de segurança, garantindo apenas o envolvimento necessário à realização de um estudo científico. Será neste capítulo apresentada a organização que foi objeto de estudo e de onde foram recolhidos os dados e informação.

2.1 Apresentação da INCM S.A.

A Imprensa Nacional-Casa da Moeda (INCM S.A.) resulta da fusão, em 1972, da Imprensa Nacional e da Casa da Moeda. Pela longa história das empresas que a originaram, a INCM S.A. é herdeira dos mais antigos estabelecimentos industriais do País com uma laboração contínua desde, pelo menos, o final do século XIII.

O fabrico da moeda em Portugal pode dividir-se em dois grandes períodos. No primeiro, que vai desde o início da monarquia até cerca de 1678, foi utilizado o sistema manual do martelo, sendo o segundo período, desde essa data até aos nossos dias, caracterizado pelo uso da máquina. No final do século XVII foram definitivamente introduzidos no fabrico da moeda os balancés de parafuso, cuja força motriz, de início ainda a humana, foi substituída, a partir de 1835, pela do vapor, com a aquisição pela Casa da Moeda de Lisboa de uma das primeiras máquinas a vapor do País. A partir de 1866, foram adquiridas as eficientes prensas monetárias da marca *Ulhorn*, antepassadas das que ainda hoje cunham o nosso dinheiro (Figura 2.1 a)).

Em finais do século XIX a empresa ganha uma posição de maior relevo na garantia de qualidade dos metais nobres, quando, em 1882, as Contrastarias ficam subordinadas à sua Administração-Geral. Esta passou a fiscalizar a indústria e o comércio de ourivesaria em Portugal, função que ainda mantém.

Criada em 1768, a Impressão Régia, também chamada Régia Oficina Tipográfica, só a partir de 1833 passou a ser designada Imprensa Nacional. Se bem que à Imprensa Nacional esteja ainda hoje associada a publicação do Diário da República (e dos seus antecedentes, Gazeta de Lisboa e Diário do Governo, entre as várias designações que o jornal oficial teve), já nos termos do Alvará de 1768 (Figura 2.1 b)), deveria «fazer-se útil e respeitável pela perfeição dos caracteres e pela abundância e asseio de suas impressões». Ao longo da sua existência, editou ou apenas imprimiu obras de autores clássicos ou vivos,

não só portugueses como traduzidos, obras de carácter literário, artístico ou científico, além das obras ditas «oficiais», como legislação, relatórios, ou mesmo discursos e os impressos designados no século XVIII por «papéis volantes», ou seja, os impressos e modelos de uso administrativo.



Figura 2.1 – a) Prensa monetária. b) Alvará. [Fonte: www.incm.pt; Consultado em 31 de Julho de 2015]

A Imprensa Nacional - Casa da Moeda (INCM S.A.) é uma sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos, que mantém a seu cargo a produção de bens e serviços diversificados, essenciais ao funcionamento do Estado português.

As atividades mais emblemáticas da INCM S.A. são a cunhagem de moeda (corrente e comemorativa) e a edição de publicações oficiais, onde se destaca o Diário da República.

Também a edição de obras essenciais da cultura portuguesa e universal é outra incumbência da INCM S.A. em que o Estado garante assim a transmissão, entre gerações, do património bibliográfico da língua portuguesa, e proporciona a edição de novas obras que o enriquecem continuamente.

Adicionalmente, a autenticação de artefactos de metais preciosos, tarefa em que a INCM S.A. apresenta uma longa tradição, é feita hoje em modernos laboratórios, certificados pelo Instituto Português da Acreditação.

No âmbito da prossecução da sua vocação mais inovadora, salienta-se sobretudo a produção de documentos públicos basilares, revestidos de especiais condições de segurança e garantias de autenticidade, tais como o cartão do cidadão, a carta de condução, a licença de residência e o passaporte internacional.

A evolução das novas tecnologias faz desta atividade gráfica uma área estratégica de desenvolvimento da empresa, capacitando-a para fornecer à Administração Pública os mais modernos e seguros

documentos de identificação, ao mesmo tempo que lhe permite alargar mercados, respondendo às necessidades de um vasto leque de empresas e organizações, com destaque para a banca.

Atualmente, a estrutura organizacional da INCM S.A. é composta por quatro unidades de negócio distintas, a Unidade de Contrastaria (UCO), a Unidade de Publicações (UPB), a Unidade Gráfica (UGF) e a Unidade de Moeda (UMD), que são suportadas por várias Direções e/ou serviços satélite.

Relativamente à atividade em 2014, a UGF atingiu os 60.5 milhões de euros, o que representou um crescimento de cerca de 8 % face a 2013. A UMD, a UPB e a UCO atingiram, respetivamente, os 11.2, os 4.6 e os 1.9 milhões de euros, no mesmo ano.

Unidade Gráfica (UGF)

Como missão, a UGF desenvolve e fornece soluções gráficas, incluindo as de elevado nível de segurança, de acordo com as normas, as exigências e os requisitos dos clientes, que requerem documentos autênticos e fiáveis.

Em particular, a gráfica de segurança apresenta-se como essencial na garantia da confiança das relações em sociedade, entre o Estado, os cidadãos e as organizações. Embora seja extensível a todas as áreas da empresa, é nesta atividade que poderemos encontrar, de forma iminente, a verdadeira dimensão do «Valor da Segurança», a par das componentes dos elementos de segurança física incorporada nos seus produtos e na segurança das suas instalações e nos processos de gestão e controlo (Imprensa Nacional - Casa Moeda (INCM) S.A., 2015).

A Administração Pública continua a ser o principal cliente da UGF, que mantém com a INCM S.A. uma relação privilegiada associada à produção, personalização, gestão de *stocks* e distribuição de documentos de identificação de segurança, como sejam o cartão de cidadão, o passaporte nacional, a carta de condução e impressos oficiais do Estado. No que respeita ao mercado privado, a presença da INCM S.A. em mercados como o dos cartões bancários, o fornecimento de diplomas e certificados, selos de garantia, bilhetes e *vouchers* que incorporam valor, continua em 2014 a alargar o conjunto de produtos nesta atividade.

A unidade gráfica junta ainda esforços na melhoria contínua de todos os seus processos e mudança de cultura, com foco no aumento de competitividade. A UGF reconhece-se na implementação de ferramentas *Lean* em todos os processos produtivos. Este grupo de ferramentas *Lean* já em uso na UGF garantem a base necessária para desenvolvimento e adaptação de ferramentas alternativas ao *Lean*, com foco na melhoria e desenvolvimento de pessoas, processos e dos produtos.

Produtos

O progresso das tecnologias de informação permite à INCM S.A. produzir a nova geração de documentos de identificação «inteligentes», incorporando um chip eletrónico e recorrendo a avançados dispositivos de segurança física e lógica (Imprensa Nacional - Casa Moeda (INCM) S.A., 2015).

Para tal, conjuga a utilização de modernas técnicas gráficas de segurança, com recurso, inclusive, a *software* adequado, processos avançados de personalização e matérias-primas tecnologicamente evoluídas (polímeros, papéis, tintas, etc.), com um rigoroso controlo de qualidade ao longo de todo o processo produtivo.

Neste âmbito, a INCM S.A. produz um alargado conjunto de cartões de identificação para a Administração Pública, para as empresas e para diversas organizações, com destaque para o passaporte eletrónico português, o cartão do cidadão, a carta de condução, o título de residência para estrangeiros, o cartão tacógrafo digital, a cédula do advogado, o cartão de identificação de entidades fiscalizadoras e um lote diversificado de outros cartões, como o cartão europeu de seguro na doença.

A INCM S.A. está igualmente certificada pela *VISA* e pela *MasterCard* para personalizar cartões bancários. Anualmente, são produzidos, nas instalações de alta segurança da INCM S.A., milhões de cartões para a generalidade dos bancos portugueses e alguns estrangeiros. A INCM S.A. está também capacitada para introduzir *chips* EMV nos cartões que executa, colocando-se a par da evolução tecnológica associada à produção de cartões bancários, aumentando a segurança contra falsificações e contrafações.

2.2 Descrição do sistema

Tal como mencionado anteriormente, para garantir a segurança da informação, os nomes reais dos produtos serão convertidos por nomes fictícios dado o elevado grau de confidencialidade exigido por esta organização.

Neste caso de estudo será avaliado maioritariamente a família de produto cartão polimérico. Esta família de produto é constituída por várias camadas poliméricas que são agregadas consoante as funcionalidades que se deseja ou consoante as especificidades dos clientes. Na Figura 2.2 está uma representação conceptual das várias camadas de um cartão polimérico.

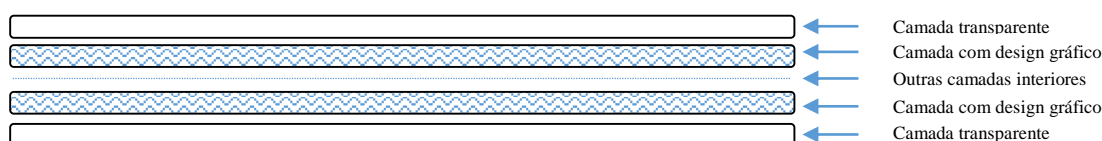


Figura 2.2 - Representação de cartão polimérico. [Adaptado: Haghiri & Tarantino (2002): p. 45]

Para além das camadas poliméricas, este tipo de produto pode ter agregado em cada uma das superfícies exteriores, elementos que confirmam segurança ou funcionalidades, destacando-se os seguintes:

- Chip eletrónico
- Hologramas de segurança
- Banda magnética
- Banda de identificação

Por fim, esta família de produtos pode ser personalizada nas superfícies exteriores com informação do cliente, conferindo a segurança da entidade do utilizador final, sendo esta característica juntamente com as anteriores, o fator de sucesso desde tipo de produto usado há décadas por pessoas de todo o mundo.

Convém clarificar que, como unidade gráfica, muitos dos produtos são personalizados consoante o que o cliente solicita, tendo isto influencia nos processos de fabrico tal como a adição de processos suplementares, a alteração de parâmetros consoante as tintas ou o material usado na arte gráfica, entre outros.

Na INCM S.A. são fabricados os seguintes produtos (ou famílias de produtos), considerando as estratégias de produção com base nas previsões - Make-To-Stock (MTS) - e estratégia de produção para encomenda - Make-To-Order (MTO) - correspondentes a cada produto. Os mesmos estão apresentados na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Produtos INCM S.A.

	P1	P2	P3 – “Família de produto”	P4	P5 – “Família de produto”
Tipo	Cartão polimérico	Cartão polimérico	Cartão polimérico	Folha polimérica	Cartão polimérico
Código interno da matriz polimérica	1	1	1	3	2
Layout de folha	24 Cartões	24 Cartões	20 Cartões	8 Folhas	20 Cartões
Sistema de produção	MTS	MTS	MTS	MTS	MTO
Média mensal produzida (Cartões)	223729	65694	66138	43181	169656

Os fluxos dos processos para os produtos P1, P2, P3, P4 e P5 encontram-se representados nas Figuras A.I. 1, A.I. 2, A.I. 3, A.I. 4 e A.I. 5 respetivamente.

Na Tabela 2.2 encontram-se as quantidades médias mensais produzidas para cada produto.

Tabela 2.2 - Quantidade média mensal produzida para cada produto(ou família de produto)

Produto (ou família de produto)	Quantidade média (Un / Mês)
P1	223729
P2	65694
P3 – “Família de produto”	66138
P4	43181
P5 – “Família de produto”	169656

De modo a concretizar esta dissertação em tempo útil, de uma forma objetiva e célere, optou-se por limitar a descrição do sistema a alguns produtos dada a elevada complexidade. Foram escolhidos para um estudo detalhado os seguintes produtos: P1, P2, um subproduto P3 e P4. Deste ponto em diante, o subproduto P3 será também descrito apenas por P3, sendo que quando necessário referenciar toda a família de produtos P3 a mesma será indicada. De modo a enquadrar a escolha de diferentes produtos para descrever o sistema, serão indicadas a baixo as semelhanças inerentes aos produtos P1, P2, P3 e P4:

- São produtos *standard*, cujas especificidades ao nível de *design* e de fluxo de produção se mantêm iguais ao longo de bastante tempo.
- São os produtos que ocupam aproximadamente 80% da capacidade dos processos, a partir do processo de controlo e qualidade de folhas a jusante.
- A estratégia de produção para estes produtos é considerado MTS.

Estas três semelhanças acima foram indicadas pelos *Key-Players* da INCM S.A. envolvidos neste trabalho. Comparando os fluxos de produção nas Figuras A.I. 1, A.I. 2, A.I. 3, A.I. 4 e A.I. 5, e as semelhanças entre os produtos P1, P2, P3 e P4, enunciadas anteriormente, foi representado na Figura 2.3 o fluxo de processo simplificado que concentra os processos chave para estes quatro processos.

É necessário realçar que o produto P4 faz uma fração do seu ciclo de produção nesta linha, partilhando os processos de Contar Folhas, Controlo de qualidade de Folhas, Juntar folhas e Laminagem.

Por motivos de confidencialidade não será colocada a configuração do espaço fabril atual deste fluxo produtivo, contudo pode clarificar-se que o mesmo está atualmente dividido em várias secções, zonas autónomas e com restrições de segurança a dividir cada área.

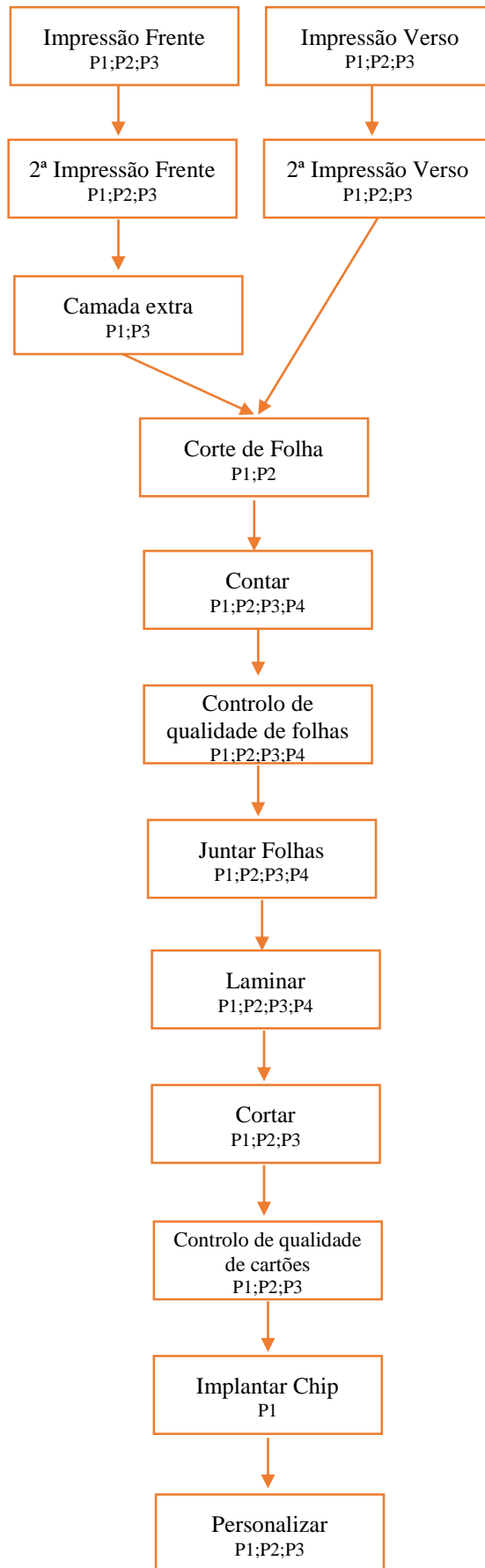


Figura 2.3 - Fluxo de produção dos produtos P1, P2, P3 e P4

Na Figura 2.4 está representado um diagrama das áreas chave que contemplam um ou mais processos, assim como as zonas em que existe deslocação cujo tempo tem impacto no *Lead Time*.

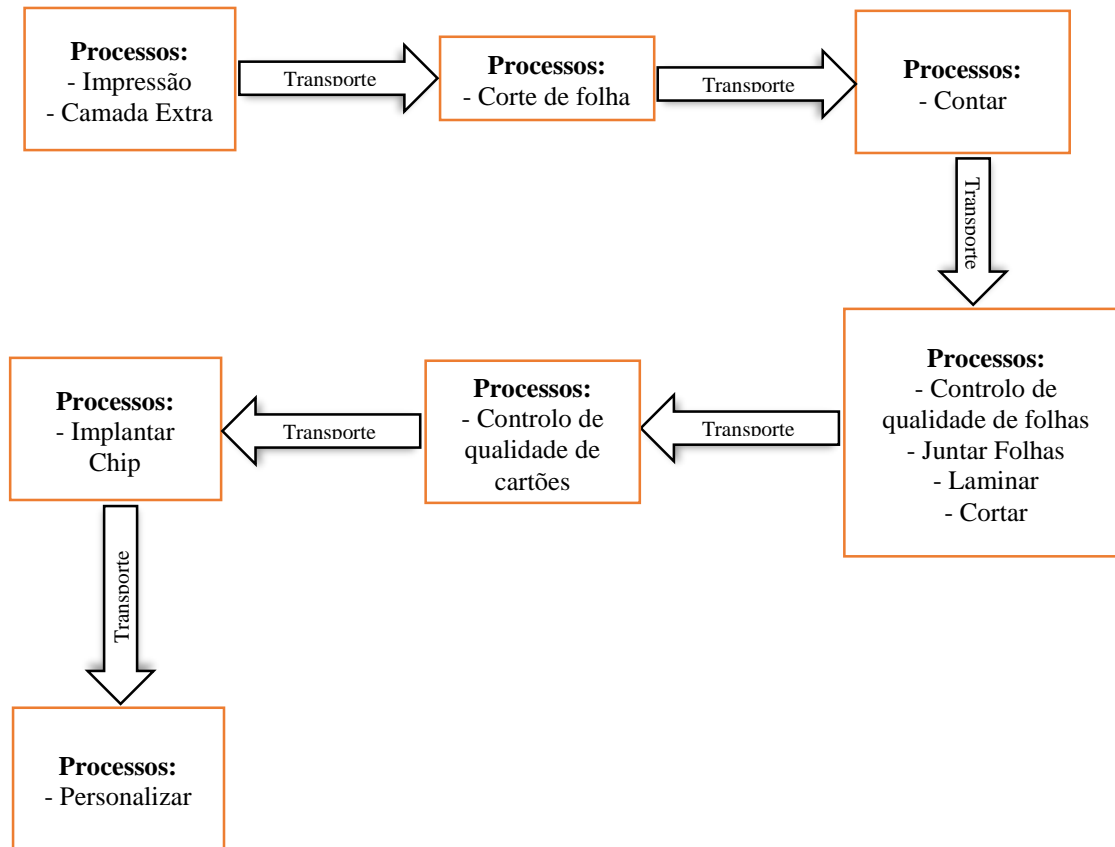


Figura 2.4 - Fluxo de transporte entre processos

Serão descritos os processos tal como foram representados na Figura 2.3

Impressão e camada extra

O processo de impressão é o primeiro processo de todo o fabrico e é também um dos mais cruciais pois a qualidade de impressão irá definir a qualidade a longo prazo do cartão polimérico. A impressão da frente e verso de um cartão, a serem incluídos numa camada intermédia, são bastante comuns neste tipo de processo pois garante que a superfície fique protegida da abrasão. A impressão é feita duas vezes numa folha polimérica e a qualidade do processo irá ter grande impacto na adesão de todas as camadas como produto final. Este processo é bastante complexo ao nível da programação da produção devido ao reaproveitamento de idênticas matérias-primas tais como tintas e outros químicos, aliado ao elevado

tempo necessário para preparar o equipamento consoante o produto. Neste equipamento são ainda produzidos produtos customizados para outros clientes o eleva a complexidade na gestão do mesmo.

Cadência definida:

P1 – 6000 Folhas/Hora

P2 - 6000 Folhas/Hora

P3 - 6000 Folhas/Hora

Setup médio: 2,5 h

Tamanhos de lote de *output*: 500~40000 Folhas

Nº de Turnos: 2

Camada extra

Este é um processo de impressão específica efetuado a seguir à impressão da arte gráfica, cujas matérias-primas e equipamento são diferentes do processo anterior. Os detalhes do processo são indicados abaixo:

P1 – 2000 Folhas/Hora

Setup médio: 0,5 h

Tamanhos de lote de *output*: 500~40000 Folhas

Nº de Turnos: 2

Corte de folhas

O corte de folhas a seguir à impressão é efetuado aos produtos que são impressos num *layout* de folha de 48 Un de cartões. O processo de corte é feito numa guilhotina convencional que divide a folha de 48 Un de cartões em folhas de 24 Un de cartões.

Cadência definida:

P1 – 500 Folhas/Hora

P2 - 500 Folhas/Hora

P3 - 500 Folhas/Hora

Setup médio: Inexistente

Contagem e armazenamento

Neste processo é feita a recepção dos produtos já impressos e também dos produtos enviados do armazém. Após a recepção, vinda usualmente numa palete, os produtos são contados e separados em quantidades específicas para serem posteriormente enviados para o processo seguinte. É neste processo que é verificado o refugo dos processos de impressão anteriores, pois este é um departamento independente de todos os que estão apresentados no fluxo de produção. Para além da função produtiva de contar o produto, este processo garante quantidades que são inseridas em sistema, validando os desvios de produção.

O processo realiza-se com um equipamento de contagem automático com suporte de operadores.

Cadência definida:

P1 – 2000Un/Hora

P2 - 2000Un/Hora

P3 - 2000Un/Hora

P4 - 2000Un/Hora

Setup: Inexistente

Tamanhos de lote de *output*: 1000~2000 Folhas

Nº de Turnos: 2

Controlo de Qualidade antes de Laminagem

Neste processo é efetuado o controlo de qualidade das folhas enviadas anteriormente. Neste processo de elevada importância, é feito um controlo manual de todas as camadas a serem usadas no produto, que devem estar livres de impurezas, nefastas à qualidade do processo. Esta área é de atmosfera controlada, limitando o contacto com agentes contaminantes do exterior.

O processo realiza-se manualmente com o suporte de operadores.

Cadência definida: Todos os produtos = 2000 Un /Hora

Setup: Inexistente

Tamanhos de lote de *output*: 1000~2000 Folhas

Nº de Turnos: 2

Juntar e Soldar

Juntar ou alcear folhas é o processo que garante que todos os cartões poliméricos tenham no final do processo a quantidade certa de folhas e pela ordem certa. Este é também um processo manual efetuado com o suporte de operadores, exigindo elevada concentração na execução. As camadas são sempre alceadas em pequenos lotes de 50 folhas de forma a evitar que o operador se esqueça de colocar uma ou mais durante o processo. No final das 50 folhas não poderão restar folhas.

Após serem juntas todas as folhas até perfazerem a totalidade de camadas definida para cada tipo de produto, as mesmas são soldadas por um processo de contacto a quente.

Cadência definida:

P1 - 150Folhas/Hora

P2 - 150Folhas/Hora

P3 - 150Folhas/Hora

P4 - 100Folhas/Hora

Setup: Inexistente

Tamanhos de lote de *output*: 1000~2000 Folhas

Nº de Turnos: 2

Laminagem

Este é o processo que transforma as folhas poliméricas numa única “peça” com características mecânicas que garantem a sua resistência. O processo de laminagem confere o efeito elástico e ao mesmo tempo a resistência à torção e riscos. É um processo que obedece a curvas de aquecimento consoante o tipo de matriz polimérica, inerente às folhas alceadas previamente.

Neste processo o controlo da temperatura é crucial, sendo que antes do equipamento ser carregado com material para processar, deve ser cumprida a temperatura estabelecida. As diferenças de material entre produtos foram indicadas na Tabela 2.1, e atuam diretamente no tempo de preparação, ou *Setup*, deste equipamento. Por exemplo, se o último produto em processo tinha a característica de material igual a

um e o próximo produto a processar tem a característica de material igual a três, o tempo de arrefecimento será igual a 3 horas. Este tempo pode ser considerado o tempo de *Setup*, sendo que na Tabela 2.3 estão apresentados os tempos de *Setup* para cada cenário possível.

Após este processo, o produto P4 sai do fluxo de produção dos produtos laminados, sendo encaminhado para outros processos. Neste trabalho a inclusão do produto P4 termina neste processo.

Tabela 2.3 - Tempos de *setup* do equipamento de laminagem

		Próxima característica a processar		
		1	2	3
Última característica processada	1	0	2 h	3 h
	2	5 min	0	2 h
	3	5 min	5 min	0

A título de exemplo está representada uma imagem de um equipamento laminador na Figura 2.5.

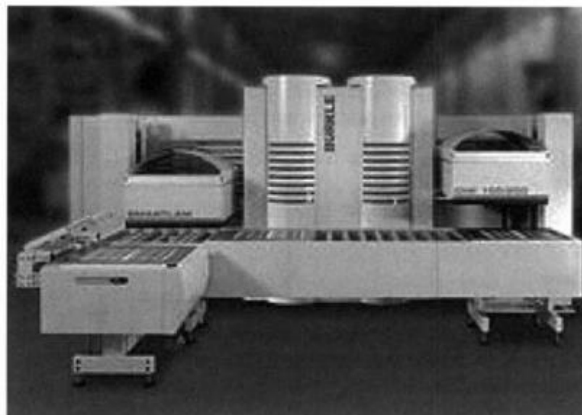


Figura 2.5 – Exemplo de equipamento de Laminagem. [Fonte: Haghiri & Tarantino (2002): p. 47]

Cadência definida:

P1 – 2240Un/Hora

P2 - 3840 Un /Hora

P3 - 2240 Un /Hora

P4 - 2000 Un /Hora

Setup: Tabela 2.3

Tamanhos de lote de *output*: 1000/2000 Folhas

Nº de Turnos: 2

Cortar

No processo de corte são individualizados todos os cartões presentes numa folha laminada. Como se pode observar na Figura 2.6, quase toda a folha é aproveitada após o corte. Este é um processo automatizado onde o equipamento efetua o corte matricial de uma só vez.

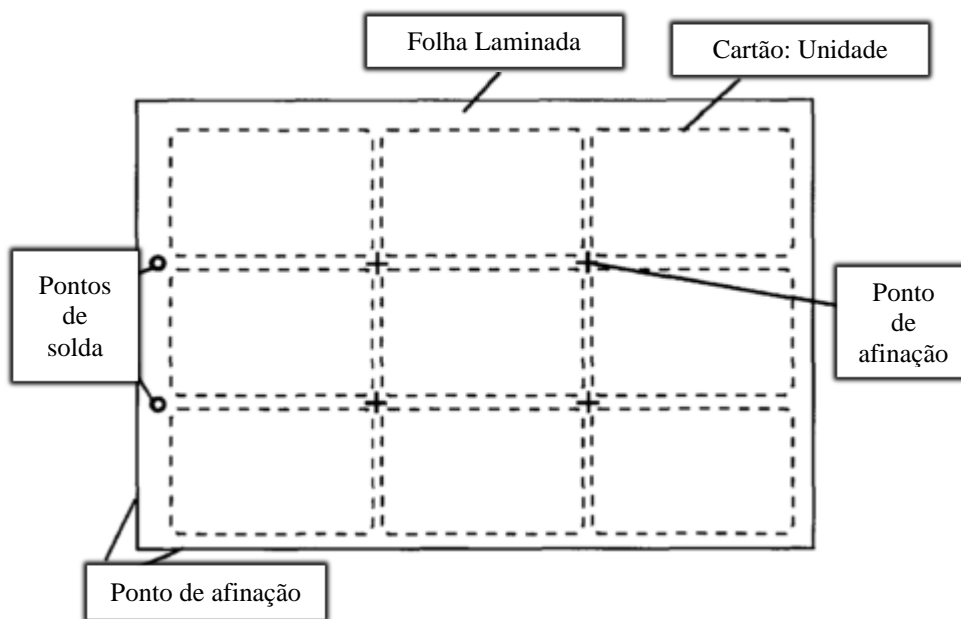


Figura 2.6 - Layout de corte de cartões poliméricos. [Adaptado: Haghiri & Tarantino (2002): p. 46]

Cadência definida:

P1 – 5500 Un/Hora

P2 - 6000 Un/Hora

P3 – 2000 Un /Hora

Setup: 0,25 h

Tamanhos de lote de *output*:

P1 e P3: Caixas de 450 Un

P2: Caixas de 500Un

Nº de Turnos: 2

Controlo de Qualidade

Após o processo de Corte, são então verificados na totalidade todos os cartões por defeitos da qualidade não aceites pelo cliente e que também poderão afetar os processos subsequentes. Estes defeitos são genericamente separados como:

- Riscos
- Contaminações
- Defeito na impressão
- Defeito nos hologramas
- Outros

Esta é uma zona muito importante pois é aqui realizada a priorização dos produtos a controlar antes de serem entregues ao cliente interno ou às zonas produtivas seguintes. Para realizar esta priorização, é necessária uma eficaz gestão do planeamento da produção, que neste processo é considerada pelo histórico, de bastante crítica.

Cadência definida:

P1 – 1800 Un/Hora

P2 - 1800 Un/Hora

P3 – 1800 Un /Hora

Setup: Inexistente

Tamanhos de lote de output:

P1 e P3: Caixas de 450 Un

P2: Caixas de 500Un

Nº de Turnos: 1

Implantação de *Chip*

Este é o processo final antes de os cartões passarem para o processo de personalização, processo este já fora da produção de produtos laminados. Neste é efetuado no mesmo equipamento uma cavidade à superfície do cartão e implantado um *Chip*.

Cadência definida:

P1 – 1000 Un/Hora

Setup: 0,25 h

Tamanhos de lote de output:

P1: Caixas de 450 Un

Nº de Turnos: 2

Personalização

Este é o último processo de todo o fluxo de produção e consiste na gravação de informação na superfície do cartão polimérico. É um processo que recebe ordens de produção diárias, com um elevado sistema de segurança. Este é considerado o cliente interno de todo o processo. Os dados relativos a este processo estão indicados abaixo:

Cadência definida:

P1 – 400 Un/Hora

Setup: 0,25 h

Nº de Turnos: 3

A quantidade de cartões acabados no ano de 2014, para estes quatro produtos, está apresentada na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Volume anual entregue ao cliente

Produto	Volume Anual (Un)
P1	2684747
P2	788324
P3	113611
P4	514434

Limitações do sistema

Sendo esta uma fábrica da área da indústria gráfica, é prática comum realizar grandes volumes de ordens de produção no processo de impressão, que é o fator de rentabilização devido aos elevados custos de *Setup* para um equipamento de impressão industrial. Todo o processo a jusante é realizado com ordens de produção mais reduzidas, subdivididas em lotes de produção a fabricar entre os processos de Contar até à Implantação de *Chip*.

Dada a complexidade na gestão da produção dos processos de impressão, não existiam dados robustos disponíveis para a recolha relativamente ao histórico do ordenamento de produção entre a 1ª impressão, 2ª impressão e Camada Extra. O ordenamento é efetuado consoante parâmetros complexos de matéria-prima ser usada, tempos de secagem e principalmente aproveitamento de recursos para menor *Lead Time de Setup*, pelo que para uma análise detalhada seriam necessários muitos meses de recolha de informação.

Alternativamente foram recolhidos dados de entrada de lotes de produção no sistema com início no processo de Contar, representado na tabela A.II.1 abrangendo os meses de Outubro, Novembro e Dezembro. Estes três meses específicos garantem que a linha de produção parou em meados de Dezembro, acrescentando maior confiança aos dados registados e minimizando a possibilidade de misturar os resultados do último mês com os do mês seguinte. Outra razão por se ter feito nestes três meses é devido a já ter findado o período de férias da maioria dos trabalhadores da INCM S.A., garantindo que os valores de cadência recolhidos, que dependem do número de recursos, vão de encontro à disponibilidade naquele período.

Outra das dificuldades encontradas em realizar este trabalho foi recolher as quantidades exatas entre um intervalo de tempo para o qual a produção efetivamente esteve ativa. Outra inconsistência encontrada nos dados foram as datas de início e final de cada ordem de produção (*OP*), onde muitas não faziam corresponder com a realidade.

Na Tabela 2.5 estão registados os dados históricos relativos às entregas ao cliente dos quatro produtos para os três meses já mencionados atrás, disponíveis via sistema informático SAP.

Tabela 2.5 - Dados históricos recolhidos relativos a entregas ao cliente e stock de segurança

Produto	Outubro 2014 (Un)	Novembro 2014 (Un)	Dezembro 2014 (Un)	Total (Un)	Stock de segurança (Un)
P1	227009	170587	185522	583118	160000
P2	72400	54219	56740	183359	90000
P3	11252	8066	11577	30895	30000
P4	39476	31676	34271		-

Da INCM S.A., sabe-se ainda que existem os níveis de *stock* de segurança, antes do processo personalizar, para cada produto tal como está indicado na Tabela 2.6:

Tabela 2.6 - *Stock* de segurança para cada um dos produtos

Produto	Stock de segurança (Un)
P1	160000
P2	90000
P3	30000
P4	-

Por orientação dos *Key-Players* da INCM S.A. envolvidos neste trabalho, foi sugerido recolher os dados:

1. Falhas aleatórias recorrentes no processo de Implantação de *Chip*
2. Tempo de transporte entre áreas
3. Refugo dos processos

O resumo de falhas do equipamento referente ao processo de Implantação de *Chip* está representado na Tabela A.II.2.

O tempo de transporte entre áreas está descrito na Tabela 2.7:

Tabela 2.7 - Tempo de transporte entre áreas.

Processo de partida - Processo de destino	Tempos de deslocação recolhidos (Min)				
Contar - Controlo de qualidade de Folhas	16,2	23	30	22	5
Controlo de qualidade de Folhas - Controlo de qualidade de cartões	12	7	15	10	8
Controlo de qualidade de cartões - Implantação de <i>Chip</i>	7	8	6	7	10

Na Tabela 2.8 está representado o nível de refugo identificado para cada um dos processos. Todos os processos mencionados na Figura 2.3 que não estejam enunciados na tabela 2.8, têm refugo nulo.

Tabela 2.8 - Tabela de refugo médio definido

Processo	Refugo médio
Impressão	2 %
Laminagem	4 %
Cortar Cartão	2 %
Colocar <i>Chip</i>	2 %
Personalização	1,5 %

2.3 Diagnóstico do sistema

De modo a obter uma correta identificação das oportunidades a melhorar foi realizado um VSM. Foi escolhida a ferramenta VSM pois é uma ferramenta *Lean* já adotada pela INCM S.A.. O produto escolhido para a execução foi o produto P1, não só por ser um produto importante para INCM S.A., mas também porque é um produto de alto volume e tem o fluxo de fabricação complexo, o que ajuda a determinar as restrições existentes na produção.

Existem inúmeras vantagens para a utilização do VSM, pelo que Khaswala e Irani (2001), Serrano Lasa, Castro, & Laburu (2009) e Hines & Rich (1997) destacam as principais:

- Ajuda a ter uma perspetiva global da cadeia de abastecimento, canais de distribuição e qual o fluxo de informação. Integram mutuamente o fluxo de informação e o fluxo de material.
- Cria uma ligação entre as funções do controlo do planeamento da produção e os parâmetros intrínsecos a um processo produtivo. Ex: Tempo de ciclo de fabrico, Tempo de mudança de formato, etc.
- Ajuda a unificar inúmeras metodologias de melhoria contínua direcionadas para a mitigação desperdícios usualmente presentes em ambiente industrial.
- Simplicidade e objetividade definem um VSM. A análise e aquisição de dados da situação atual torna-se mais compreensível e fácil de planificar, para além dos sinais estandardizados que possibilitam a fácil interpretação, mesmo que não se conheça o espaço industrial.

Serrano Lasa et al. (2009) defende ainda que a realização de um VSM é o ponto de partida para um plano estratégico de melhoria contínua. A construção do VSM foi baseado nos dados apresentados no capítulo anterior e demonstra o estado atual para este produto. O mesmo pode ser encontrado na Figura 2.7.

2.4 Oportunidades de melhoria

Após a análise do VSM no seu estado atual é possível identificar oportunidades de melhoria no sistema de produção atual do produto P1:

1. Reduzir a quantidade de WIP
2. Reduzir o *Lead Time*
3. Melhorar a gestão da produção do processo Controlo da Qualidade de cartões

Através do VSM foi possível verificar um cenário de grande acumulação de WIP. A elevada quantidade de WIP é também uma das principais causas do elevado *Lead Time*.

Verificou-se também a oportunidade de melhorar o sistema de gestão da produção no processo de Controlo de Qualidade de Cartões, pois é um processo só com um turno e com a necessidade de gerir com elevado rigor a prioridade de entrada de cada produto. Neste VSM não é totalmente visível esta emergente necessidade pois só contempla um produto, contudo é demonstrada a necessidade de melhoria neste processo pelos *Key-Players* da INCM S.A.. A representação do VSM proposto encontra-se na Figura A.III. 1.

Os resultados do VSM vão diretamente ao encontro dos *Key-Players* deste trabalho da INCM S.A., o que suporta a eficiência da utilização desta ferramenta. A forma visual como apresenta os dados, aliados à “visão de helicóptero” que proporciona, faz sobressair os maiores desperdícios existentes nas linhas de produção.

Desafios da INCM S.A.

Tal como mencionado anteriormente, a unidade gráfica da INCM S.A. está profundamente dedicada à melhoria contínua de todo o seu sistema, usando como princípios a implementação de ferramentas *Lean*. Por indicação da *Key-Players* da INCM S.A. foram dadas diretrizes claras no sentido de melhorar o sistema com recurso a ferramentas de melhoria contínua.

Durante o ano de 2015, surgiu a necessidade de a Unidade Gráfica da INCM S.A. planificar a alteração de *layout* para o fabrico de cartões poliméricos, devido a interesses internos da INCM S.A..

Esta planificação foi iniciada internamente em mútua colaboração entre a Unidade Gráfica e o Departamento de Obras da INCM S.A., de onde resultou um esboço de um *layout* conceptual, respeitando os requisitos necessários para ser aceite como válido. O mesmo foi definido por profissionais da INCM S.A. com experiência relevante e que têm um conhecimento sólido ao nível do fluxo dos processos, dos equipamentos e também das especificações de qualidade dos produtos. Neste *layout* conceptual, pré-definido pela INCM S.A., estavam também contempladas as diretrizes de restrição do edifício tais como paredes-mestras, pontos hídricos e pilares estruturais.

Foram definidas metas e produtos, contemplando as limitações de dados disponíveis, estando indicado abaixo o quarto ponto com necessidade de atuar:

4. Estudar a melhor configuração da nova área de fabrico para os produtos: P1; P2; Família de produto P3; P4; Família de produto P5. Garantir que contribui para a redução dos desperdícios na produção.

Tal como foi indicado pelos *Key-Players* da INCM S.A., ao ser implementado um estudo a um *layout* futuro, haverá impacto na performance do sistema. Vai transferir-se um sistema produtivo que está atualmente separado por secções, para um espaço com menor limitação nas deslocações. As distâncias percorridas ao longo do fluxo produtivo serão mais reduzidas e não haverá interrupções nas deslocações entre equipamentos.

Quando o sistema tem um nível complexo como o que está em estudo, é necessário conhecer melhor o sistema ao nível de indicadores de performance. Estes podem monitorizar quaisquer alterações que se proponha e se teste. Contudo no sistema de suporte de informação atual não é possível ter uma resposta que nos ajude a solucionar as propostas acima mencionadas, para tal será discutido o estado da arte atual relativamente às ferramentas de melhoria contínua, que possam retornar a melhor solução para as oportunidades encontradas através do VSM e desafios lançados pela INCM S.A..

3. Produção *Lean* aplicada a setores governamentais e indústrias gráficas

A produção gráfica é um negócio de produtos customizados, onde as ferramentas de melhoria contínua não podem ser aplicadas de uma forma isolada e/ou sequencial, devem ser, pelo contrário, implementadas várias ferramentas que tragam valor para o que o cliente pretende receber, reunindo para tal a união dentro da organização através de treino aos colaboradores, metas a longo prazo e fomentar a auto-iniciativa.

Cada vez mais empresas na área da indústria gráfica mostram esforços na introdução de ferramentas de melhoria contínua. Rothenberg & Cost (2004) reporta nos estudos fundamentados em entrevistas a empresas, no âmbito de implementação de ferramentas *Lean* aplicadas a indústrias gráficas. Este autor defende que existem oportunidades de implementação de ferramentas *Lean* e que empresas de maior dimensão usufruem mais da implementação de ferramentas *Lean* devido à quantidade de papel utilizado. Por último, este autor encontrou que ações *Lean* antes da pré-impressão obtêm mais sucesso.

Na atualidade das indústrias gráficas, a arte de criar “grafismos” é transformada pela ciência de saber imprimir, isto porque cada vez mais a produção gráfica é um negócio de manufatura totalmente direcionado para a voz do cliente e as necessidades do mesmo. Trabalhar com uma comunicação mais próxima com o cliente, adquirir os recursos certos e criar uma cultura de melhoria contínua, são os principais vetores de ação nas melhores indústrias gráficas, e são estas que conseguem resistir às dificuldades que o sector enfrenta nas últimas décadas (Cooper, Keif, & Macro, 2007).

Faust (2003) e Cooper et al. (2007) sugerem também que a implementação das ferramentas *Lean* não deve ser restrita só ao tipo indústrias de onde tiveram origem, sugerindo a implementação de ferramentas como os 5S ou o VSM. Complementam que é possível reduzir o nível de *stock* e o *Lead Time* por forma a aumentar os resultados destas indústrias.

A aplicação de uma produção *Lean* nos setores governamentais é também um desafio numa escala global. Pedersen & Huniche (2011) realizaram um estudo baseado em questionários a altos cargos no sistema público da Dinamarca, para examinar os fatores que determinam a implementação de sistemas *Lean*, evidenciando os seus fatores de sucesso que ajudam a ultrapassar barreiras comuns em implementações *Lean*.

Há também estudos nacionais que demonstram a implementação de propostas de melhoria contínua, tal como Buzaglo (2011) que no seu trabalho menciona melhorias implementadas na área hospitalar nacional, recorrendo à ferramenta *Kanban* que engloba a produção *Lean*. Buzaglo (2011) no seu estudo propõe uma otimização do sistema de distribuição interno. Outros autores, como De Souza (2009),

propõem a aplicação teórica e prática de ferramentas *Lean* na área da saúde nos setores privado e público.

3.1 Princípios e ferramentas da produção *Lean*

Desde há décadas que ferramentas baseadas na metodologia *Lean* têm mostrado o seu valor prático quando aplicadas em organizações que pretendam reduzir o desperdício. Womack & Jones (2010) destaca em toda a sua bibliografia inúmeros casos de sucesso onde se podem evidenciar de uma forma sequencial os seus benefícios chave:

- Simplificação do Planeamento da Produção;
- Melhor precisão nas previsões dos pedidos;
- Redução do tempo de resposta às variações de mercado;
- Redução dos prazos de entrega ao cliente;
- Diminuição dos *stocks* entre os processos e de produto acabado;
- Maior otimização do espaço utilizado, abrangendo o armazenamento e área produtiva;
- Melhoria do tempo de resposta a alterações de engenharia;
- Redução dos tempos de ciclo dos processos de produção e de mudança de formato;
- Capacidade para identificar os problemas e eliminá-los antecipadamente;
- Melhoria geral da qualidade dos produtos ou serviços;
- Foco na formação e qualificação dos colaboradores;
- Envolvimento, motivação e participação dos colaboradores nos processos e conseqüente aumento da produtividade;

Na Figura 3.1 estão representadas ferramentas *Lean* que conduzem às vantagens mencionadas no capítulo anterior. Importante referir a ferramenta que serve de base para a implementação de todas as outras ferramentas, o VSM.

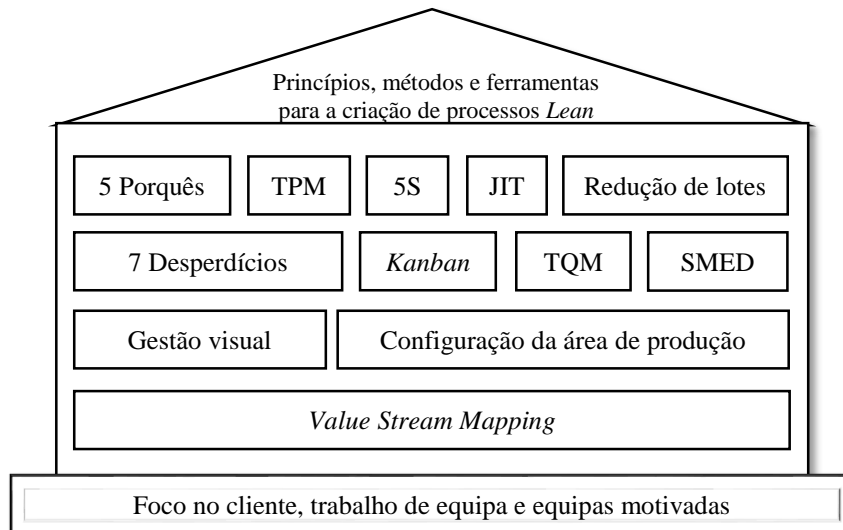


Figura 3.1 - Princípios, métodos e ferramentas *Lean*. [Adaptado: Gjeldum, Veža, & Bilić (2011): p.341]

Nesta dissertação serão abordadas as ferramentas com mais impacto para o caso de estudo. De seguida, serão apresentados os sete desperdícios.

Sete desperdícios

Os sete desperdícios foram inicialmente associados ao *Lean Management*, apresentados por Womack & Jones (2010) e tiveram origem durante a criação do TPS (*Toyota Production System*), por Ohno (1997). O principal objetivo do *Lean Management* está associado às atividades de eliminação de desperdício, que numa linguagem, o japonês, mais correta, significa *MUDA*. Esta definição de desperdício foi inicialmente definida para processos produtivos onde surgem atividades tais como:

- Movimentação humana que utilize recursos mas não acrescente valor
- Erros e defeitos que requerem um retrabalho
- Fabrico de produtos desnecessários que causam impacto nos *stocks*
- Zonas de processos que não são realmente necessários
- Movimentos de materiais desnecessários
- Clientes internos que estejam inativos devido a um processo a montante que ainda não foi acabado.
- Bens e serviços que não sejam necessários para os clientes.

De todos os exemplos de desperdícios definidos acima, o que causa maior dano a longo prazo a uma organização é a sobreprodução, defendem Hines & Rich, (1997). O excesso de produção gera elevados

níveis de *stock*, aumentando o espaço necessário para armazenar esses *stocks*. Estão representados na Figura 3.2 os Sete desperdícios inicialmente definidos por Ohno (1997):

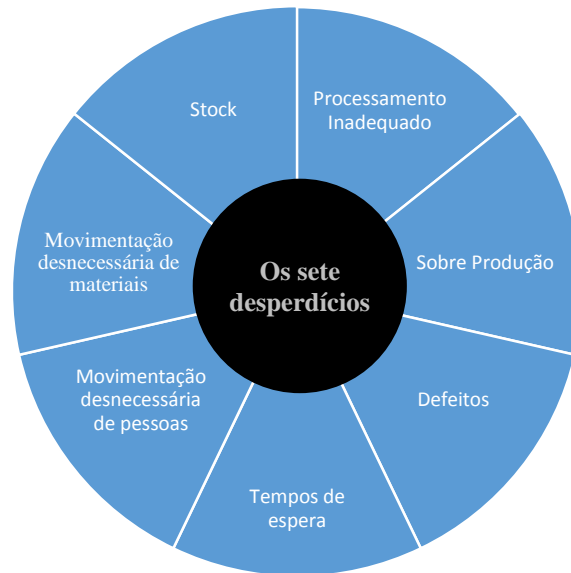


Figura 3.2 - Os sete tipos de *MUDA*. [Adaptado: Ohno (1997): p. 2]

Um oitavo desperdício não mencionado na figura acima é o desenvolvimento de produtos ou serviços que não correspondem às necessidades do consumidor, proposto por Womack & Jones (2010) que faz sobressair a importância da voz do cliente numa organização, sendo que a sustentabilidade do negócio está diretamente correlacionada com as necessidades do cliente (Womack & Jones, 2010).

É importante, para que os desperdícios sejam eficazmente identificados na cadeia de valor, que seja feito corretamente o mapeamento da cadeia de valor inerente, quer seja a montante como a jusante, não só dentro do que é considerado fisicamente a área produtiva, mas também abrangendo os fornecedores e o cliente. Isto tem grande impacto na flexibilização dos fluxos produtivos, que são otimizados pelo JIT, uma ferramenta *Lean*.

Just In Time (JIT)

O *JIT* é uma metodologia desenvolvida pela Toyota no Japão durante o pós 2ª Guerra Mundial, com o princípio de aumentar o fluxo de movimentação de materiais fornecendo o produto certo, na quantidade certa e no momento certo (Mishra, Kumar, & Garg, 2013), (Rushton, Croucher, & Baker, 2010). Para o *JIT* fazer surtir os efeitos para os quais está desenhado, é necessário que haja uma maior fragmentação dos lotes de produção e de transferência em ambiente fabril, pois só com lotes de pequenas quantidades é possível criar uma flexibilização de tal modo elevada que o cliente (ou estação de produção seguinte)

receba de forma instantânea a matéria-prima que necessita, evitando paragens ou ajustes de equipamento desnecessárias, aumentando assim o fluxo de produção. Este conceito de fragmentar os lotes a produzir implica a existência de um sistema *PULL*, garantindo que só é pedido o que é estritamente necessário, o que, para além de melhorar o fluxo de materiais em ambiente fabril, diminui também a quantidade de elevados *stocks* de matéria-prima e *WIP* mas também o espaço necessário para manter todo o sistema. Estas melhorias têm como consequência a redução do custo associado a *stocks* e espaço (Rushton et al., 2010).

Narasimhan, Swink, & Kim (2006) e Flynn, Sakakibara, Schroeder (1995) explicam que o *JIT* é uma ferramenta operacional em termos de práticas e técnicas que das duas formas implementa e suporta a filosofia *Lean*.

Alguns autores como MacKelprang, Nair (2010) e Motwani (2003), provam que técnicas de melhoria contínua baseadas no *JIT* incluem entre vários a redução do tempo de preparação do equipamento, a redução do tamanho de lote, o replaneamento diário da produção, os sistemas *Pull* baseados no *Kanban*, o posicionamento de células em forma de U, *TOC* e o *VSM*. As empresas em estudo conduzido por Motwani (2003) conseguiram atingir um elevado nível aplicação *Lean* e reduzir para metade o tamanho de lote inicialmente de 30 dias para 16 dias, tendo aumentado o retorno financeiro e aumentado a flexibilidade das linhas de produção. MacKelprang, Nair (2010), após realizar um estudo de análise de desvio categorizada pelas aplicações práticas que conduzem a um patamar satisfatório de *JIT*, conclui que os estudos na área do *JIT* têm conduzido a uma opinião unânime de que é uma área importante na orgânica de uma empresa e devem ser sempre reforçados os esforços e recursos no desenvolvimento do mesmo.

Value Stream Mapping (VSM)

No decorrer do ciclo de vida de um produto existem etapas críticas para a quantidade de valor que o mesmo representa para o cliente. Este valor poderá ser a qualidade do produto, a rapidez com que o mesmo chega ao mercado ou mesmo o custo monetário, que dependerão diretamente dos processos necessários para o fabricar (Womack & Jones, 2010). Estes processos de adição de valor estendem-se transversalmente desde os fornecedores, até ao cliente final, incluindo a manufatura, transporte e armazenamento. Segundo Monden (2011) existem três tipos de operações na manufatura que são responsáveis pela quantificação do valor:

- 1- Valor não acrescido (*Non-value adding – NVA*)
- 2- Valor não acrescido mas necessário (*Necessary but non-value adding – NNVA*)
- 3- Valor acrescido (*Value adding - VA*)

Tal como mencionado anteriormente o desperdício pode observar-se de várias formas, sendo que a sobreprodução é a que mais prejuízo pode trazer para uma organização (Hines & Rich, 1997). A sobreprodução é vista como uma barreira para o bom fluxo de materiais, conduzindo a um elevado *Lead Time*, elevadas quantidades de *stocks* e, como resultado dos anteriores, os defeitos de qualidade terão um tempo de resolução muito maior pois só muito mais tarde é que serão detetados.

O foco do mapeamento de valor consiste na identificação do valor acrescido assim como do valor não acrescido em toda a cadeia de valor e para isso Hines e Rich (1997) identificaram as sete principais ferramentas de mapeamento de valor, tal como está indicado na Tabela 3.1. Na tabela são apresentadas as diferenças entre cada ferramenta de mapeamento, direcionando cada uma delas para o desperdício que melhor consegue identificar e apoiar uma estratégia de eliminação. Pode destacar-se o “Mapeamento da Cadeia de Valor”, a ferramenta que abrange mais desperdícios, sendo a mais flexível e também a mais aplicada nas comunidades *Lean* (Rother & Shook, 2003).

Tabela 3.1 - Sete principais ferramentas de mapeamento de valor. [Adaptado: Hines & Rich (1997): p. 50]

	Ferramenta de mapeamento						
Desperdício	VSM	Matriz de Resposta da Cadeia de Abastecimento (<i>Supply Chain Response Matrix</i>)	Funil de Variedade de produção (<i>Production Variety Funnel</i>)	Mapeamento do Filtro de Qualidade (<i>Quality Filter Mapping</i>)	Mapeamento da amplificação da Procura (<i>Demand Amplification Mapping</i>)	Análise do Ponto de Decisão (<i>Decision Point analysis</i>)	Estrutura Física (<i>Physical Structure</i>)
Sobre Produção	B	M		B	M	M	
Tempos de Espera	A	A	B		M	M	
Transporte Desnecessário	A						B
Processamento Inadequado	A		M	B		B	
<i>Stock</i>	M	A	M		A	M	B
Movimentação Desnecessária	A	B					
Defeitos	B			A			

Legenda: A – Alta correlação; M – Média Correlação; B – Baixa Correlação

Rother & Shook (2007) defende um ciclo de ação para a ideal utilização do mapa da cadeia de valor de um produto, sendo apresentado na Figura 3.3. A primeira etapa de implementação passa pela correta escolha do tipo de ferramenta a usar no mapeamento, devendo ser escolhida a que mais se identifica com os desperdícios reais que a organização apresenta.

De seguida deverá ser construído o mapa do estado atual, a qual é a segunda etapa que representa o ponto inicial antes de partir para qualquer proposta. Esta etapa é bastante importante pois garante a possibilidade de mensurar a melhoria atingida pela implementação das futuras ações.

Na terceira etapa devem ser escolhidos pragmaticamente os maiores desperdícios encontrados na etapa anterior e daí desenhar um futuro mapa ideal, o qual deve estar alinhado com a visão estratégica da organização.

Na quarta etapa deverão ser definidos os planos de trabalhos necessários para atingir os indicadores sugeridos no mapa de fluxo de valor futuro. Estas quatro etapas deverão ser repetidas até serem atingidos os níveis de desperdício e indicadores definidos pela organização, que normalmente seguem uma meta que garante a sustentabilidade futura das entregas ao cliente, qualidade e custo associado.

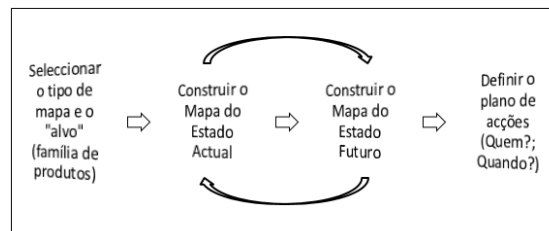


Figura 3.3 - Etapas do mapeamento do fluxo de valor. [Adaptado: Rother&Shook (2003): p. 52]

Esta ferramenta é considerada bastante eficaz na identificação de desperdício em toda a cadeia de fluxo, redução do *Lead Time* e também para identificar zonas que estão a restringir o ideal fluxo da produção (*Bottleneck*) (Rother & Shook, 2003), (Serrano Lasa et al., 2009).

A simbologia usada na construção de um VSM encontra-se na Figura A.IV.1 e é considerada a mais adotada pelos autores que usam o VSM como ferramenta (Rother & Shook, 2003).

Kanban

Da mesma forma o *Kanban* teve origem durante a criação do TPS (*Toyota Production System*), por Ohno (1997). Ohno e a sua equipa desenvolveram o sistema *Kanban* (termo japonês para Quadro Indicador), que permite o controlo visual das necessidades de produção através do uso de cartões. A filosofia *Kanban* defende que os produtos e materiais devem ser fornecidos no exato momento em que eles são requeridos, na quantidade certa, por forma a atingir os pré-requisitos do sistema JIT (Yasuhiro Monden, 1983).

O sistema *Kanban* consiste no envio de instruções, das operações a jusante para operações a montante, realizadas após um sinal, na forma do cartão referido anteriormente, puxando o trabalho ao longo de toda a linha, estando representado na Figura 3.4. Este procedimento é contínuo até os *stocks* intermédios,

presentes em cada processo, serem abastecidos, ou seja, atingirem o seu nível definido (Yasuhiro Monden, 1983).

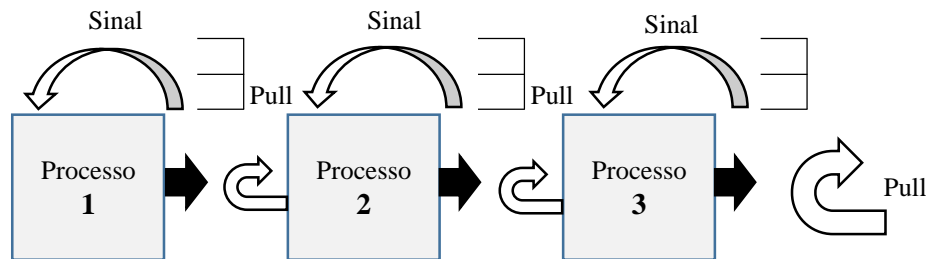


Figura 3.4 - Sistema *Kanban*. [Adaptado: Yasuhiro Monden (1983): p. 21]

Systematic Layout Planning (SLP)

O planeamento do espaço de uma fábrica é usualmente a etapa mais importante na sua construção, sendo que abordagens com um procedimento definido previamente devolve resultados bastante positivos, quer qualitativamente como quantitativamente (Muther, 1973). O sucesso da implementação segundo um procedimento previamente definido depende da quantidade e qualidade de alternativas de *Layout* que se podem gerar e avaliar.

Num planeamento sistemático de *layout* existem critérios de performance que podem incluir um ou mais fatores que influenciam no resultado final. Estes critérios foram descritos por Krajewski, Ritzman, & Malhotra (1999):

- a) O nível de investimento de capital
- b) A flexibilidade obtida na linha de produção
- c) O *feedback* dos clientes e os volumes de vendas
- d) As necessidades de movimentação de material
- e) A facilidade de movimentação de *stocks*
- f) A natureza e o tipo de ambiente de trabalho
- g) A facilidade de manutenção dos equipamentos
- h) O comportamento dos colaboradores

O *SLP* é um método de otimização do espaço disponível, usando rácios de relacionamento para localizar os processos, configurando uma fábrica consoante as relações existentes de forma a minimizar o número de movimentos de materiais e recursos. Esta metodologia foi desenvolvida por (Muther, 1973) e foi dividido inicialmente de uma forma genérica em quatro fases:

- 1- Localização
- 2- Arranjo físico geral
- 3- Arranjo físico detalhado
- 4- Implementação

Na primeira fase é feita a determinação da localização onde será feito o planeamento das instalações, garantindo que será feita uma abordagem com dados reais de modo a que a área a ser utilizada no futuro seja numericamente reconhecida. Na segunda fase estabelece-se a posição relativa entre as diversas áreas, sendo feita uma configuração genérica e grosseira entre as áreas, sendo adotado para isso, modelos de fluxos de materiais e das áreas. Numa terceira fase é reforçado o passo anterior, sendo abordada de uma forma detalhada, onde é então definida a localização específica para a área segundo as características de Input a que lhe foram atribuídas. No último passo é realizada a concretização dos planeamentos feitos anteriormente, sendo fisicamente deslocados todos os equipamentos e recursos para serem instalados.

Este método tem imensos benefícios para toda a orgânica da empresa. É importante destacar os benefícios que este método introduz quando aplicado num ambiente de manufatura, influenciando por exemplo os custos fixos ou por outro lado a movimentação de materiais. FU & KAKU (1995) prova num estudo feito através de simulação que em todas as transferências de lotes produtivos, existe um impacto na performance devido à localização de departamentos e/ou processos. Ficou provado que um *layout* que reduza a quantidade de WIP também irá reduzir o número de movimentações de materiais assim como o *Lead Time* de manufatura.

O procedimento de aplicação de SLP para uma área singular, de uma forma discreta, é aplicada através dos 11 passos tal como indica Tompkins, White, Bozer, & Tanchoco (2010), apresentado na Figura 3.5. O primeiro passo começa por analisar os dados recolhidos, separando os mesmos por classes diferentes, *PQRST*, sendo P (Produto), Q (Quantidade), R (Rota), S (Suporte) e T (Tempo). Esta fase valida e estrutura os dados de entrada, resultando na “Carta De-Para” (passo 2), que representa a ponderação dos fluxos entre departamentos. O passo 3 consiste na análise qualitativa das relações das distâncias entre departamento, através da avaliação A, E, I, O, U e X. Este passo, conjuntamente com o passo 2, gera o diagrama de relações (passo 4), posicionando espacialmente os departamentos. Nos passos 5 e 6 dão entrada novos dados que determinam a quantidade de espaço disponível a ser alocada a cada departamento, que irá resultar no diagrama de relação de espaço (passo 7), onde combinam os dois *inputs* anteriores com o passo 4. Limitações adicionais assim como restrições são complementadas nos passos 8 e 9. No passo 10 é então finalizado o procedimento com a modelação dos dados através do algoritmo correspondente, e, por fim, no passo 11 é realizada a avaliação dos potenciais cenários a optar na implementação prática.

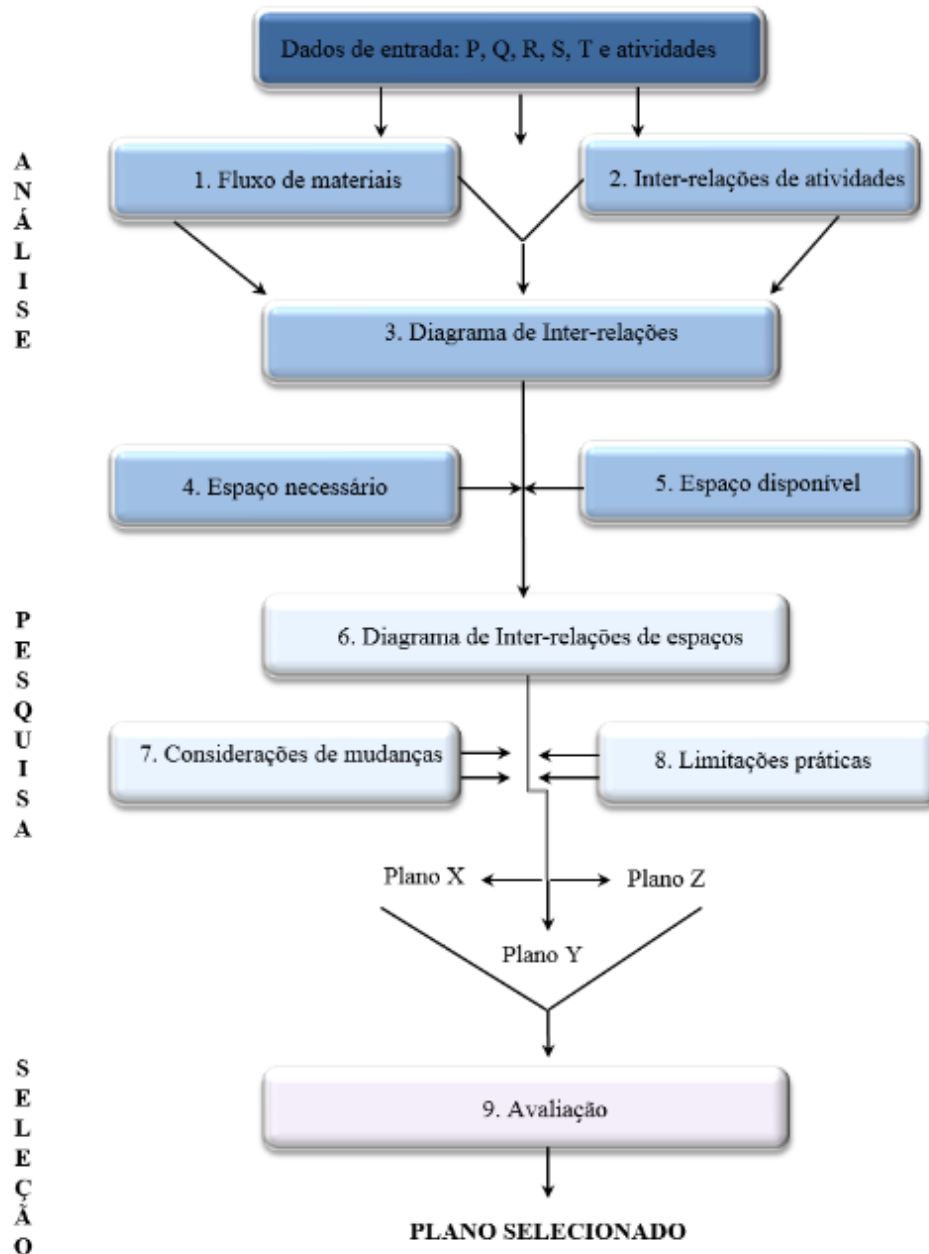


Figura 3.5 - Esquema de implementação SLP. [Fonte: Tortorella & Fogliatto (2008): p.611]

Fase 1 – Análise

Na primeira fase do método SLP, Análise, é feita a análise *PQRST* (produto, quantidade, rota, suporte e tempo) que auxilia na recolha de dados de entrada (inputs) para a resolução do problema. Nesta fase são avaliados os fluxos de materiais através da Carta De-Para (a carta representa a intensidade de fluxo entre os diferentes departamentos). As atividades relacionadas são qualitativamente avaliadas aos pares, de forma a definir qual a necessidade de proximidade entre departamentos. A avaliação qualitativa é feita através das letras: A, E, I, O, U e X. As mesmas estão representadas na Tabela 3.2. Após esta relação, é

elaborado o diagrama de relacionamento que posiciona e define as taxas de relacionamento entre departamentos, indicando quais devem estar próximos. Abaixo está indicado o valor do índice para cada relação.

Fase 2 - Pesquisa

Na fase de Pesquisa, é elaborado um diagrama de relacionamento de espaço, que relaciona as áreas necessárias para cada departamento ao diagrama de relacionamento. Nesta fase, inicialmente obtém-se o arranjo da configuração da instalação ideal, que posteriormente é adotado de forma a tornar-se mais realista mas procurando sempre uma variação mínima em relação ao ideal. As restrições adicionais de projeto e limitações práticas são consideradas antes do desenvolvimento da configuração de blocos.

Fase 3 - Seleção

A fase de Seleção, procura avaliar a viabilidade das configurações anteriormente obtidas e a aprovação dos departamentos em relação à configuração da instalação escolhida, tendo em conta as restrições inicialmente definidas e indicadores como a adjacência, a relação-distância e o R-Score.

Estão indicados na Tabela 3.2 alguns indicadores que podem ser usados para a avaliação do *layout* em estudo.

Tabela 3.2 - Avaliação A, E, I, O, U e X

Classificação	Relação	Índice de relação	Grau de proximidade
A	Absolutamente necessário	10	_____
E	Muito importante	5	-----
I	Importante	2	-----
O	Pouco importante	1
U	Desprezável	0	Em branco
X	Indesejável	-10

Cálculo da Adjacência

$$Ajd. Score = \frac{\sum Adj.satisfeitas}{\sum Adj.a\ satisfazer} \quad (1)$$

O cálculo do valor da relação-distância (RDS) é dado pela equação abaixo e resulta da multiplicação das distâncias retilíneas entre departamentos e pelo índice de relação entre departamentos.

Cálculo da Relação - Distância

$$RDS = \sum \text{Distância entre cada par de departamentos} \times \text{Valor do índice de relação entre departamentos} \quad (2)$$

$$\text{Distância retilínea} = d(i,j) = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (3)$$

Quanto menor for este valor, melhor o resultado global do sistema.

Cálculo da Relação – Distância normalizada

O cálculo do R-Score (Relação – Distância normalizada) é uma porcentagem que faz a pontuação do RDS dado pela relação entre o RDS e o *Upper bound* (UB) e *Lower bound* (LB):

$$R - Score = 1 - \frac{RDS-LB}{UB-LB} \quad (4)$$

$$UB = \sum \text{Distâncias em ordem decrescente} \times \text{Ponderações em ordem decrescente} \quad (5)$$

$$LB = \sum \text{Distâncias em ordem decrescente} \times \text{Ponderações em ordem crescente} \quad (6)$$

Quanto maior o valor do R-Score, melhor o resultado global do sistema.

Distância média entre departamentos

Posteriormente é também calculada a distância média entre departamentos, cálculo este que não é usualmente realizado numa análise SLP, no entanto dada a disponibilidade dos dados o mesmo será efetuado. A distância média entre departamentos é uma aproximação em metros do que é esperado percorrer para produzir todos os produtos indicados na fase de análise, segundo o intervalo de tempo estipulado nessa fase.

$$\text{Distância média entre departamentos} = \sum \text{Distância entre cada par de departamentos} \times \text{Tamanho de lote médio} \quad (7)$$

O número médio de lotes pode ser calculado através da seguinte equação:

$$N^{\circ} \text{ médio de lotes } (i,j) = \frac{\text{Carta de fluxo } (i,j)}{\text{Tamanho médio de lote } (i,j)} \quad (8)$$

Segundo Kerns (1999) se o SLP for implementado corretamente, este irá trazer para a organização vantagens importantes para o processo produtivo pois agilizará a linha de produção, criando vantagens competitivas para a empresa e valor acrescido para o cliente.

Uma organização bem elaborada do planejamento sistemático de *layout* permite reduzir os custos operacionais para a organização e também a otimização do custo-benefício de projetos futuros. Sendo por vezes demorado o planejamento de *layout* segundo a metodologia SLP, Chan & Tansri (1994) sugere a inclusão da maior quantidade de recursos da organização para que esta seja concluída no mais curto espaço de tempo para não incorrer em perdas de produção.

3.2 Sistemas híbridos TOC-Lean e TLS

A integração da TOC com a abordagem *Lean*, tem como princípio o aumento da capacidade de produção e da eficiência do processo, através da identificação das limitações e aumento do fluxo de produção. A integração das duas abordagens tem como principais objetivos (Sproull, 2012):

- Identificação das restrições e garantir o maior foco na melhoria destas, de forma a maximizar as receitas e reduzindo *stocks* e despesas operacionais do processo;
- Utilização de métodos e ferramentas que melhorem os indicadores de performance;
- Garantir a sinergia e envolvimento de toda a organização para atingir os objetivos definidos.

Será detalhado de seguida a metodologia TOC.

TOC – Teoria das Restrições

A TOC foi criada pelo físico Eliyahu M. Goldratt, durante os anos 80 e publicada a partir do livro de gestão “A meta - um processo de melhoria contínua”. A base desta teoria, advém do desenvolvimento de um *software* de programação durante a década de 1970, conhecido como *Optimized Production Technology* (OPT), também do mesmo físico Eliyahu M. Goldratt. Tal como foi idealizado na construção do *software* houve introdução de alguns conceitos inovadores de gestão da produção tal como o TPC (Tambor- Pulmão –Corda, em inglês *Drum-Buffer-Rope-DBR*), que foram sendo ajustados ao TOC. A comunidade científica tem feito investigações na amplitude da TOC, como por exemplo, Gupta & Boyd (2008) fizeram uma análise de operações, obtendo resultados que demonstram que a TOC oferece um novo paradigma em gestão de operações que substitui um ultrapassado consenso de busca de performance sem resultados concretos, para um foco a partir de uma perspetiva global. A TOC possui na sua estrutura critérios de definição e enquadramento como uma teoria válida em operações, tendo sido progressivamente aplicada.

Cada vez mais as organizações devem estar mais focadas em compreender a sua estrutura em termos de processos, quer seja manufatura ou serviços e nesta situação a TOC entende-se como uma ferramenta com capacidade de encontrar o elo mais fraco numa cadeia de distribuição (Cox & Schleier, 2010).

Originalmente a TOC era usada para os processos de produção e alocar recursos, mas seu conteúdo é melhorado dia após dia abraçando a evolução da tecnologia e também devido à competição entre organizações rivais crescendo no mundo empresarial. A evolução da TOC pode ser dividida em cinco segmentos diferentes, encaixando-se também em cinco espaços temporais diferentes tal como está representado na Figura 3.6 (Watson, Blackstone, & Gardiner, 2007):

1. "The Optimized Production Technology Era" – O algoritmo OPT.
2. "The Goal Era" – Articulação do sistema Tambor-Reserva-Corda no planeamento.
3. "The Haystack Syndrome Era" – adaptação às métricas da TOC.
4. "The It's Not Luck Era" – Processos de pensamento crítica aplicado a processos.
5. "The Critical Chain Era" – Gestão de projeto com suporte da TOC.

Definindo as distintas eras pelos títulos dos livros publicados pelo Dr. Goldratt tal não implica que o mesmo tenha sido o único contribuidor para a evolução da TOC. Centenas de livros, artigos, dissertações, atas de conferências, relatórios, entre outros podem ser encontrados contendo a base teórica da TOC. Adicionalmente é de conhecimento de profissionais da área que muitos "praticantes" da TOC realizaram trabalhos não documentados sobre a TOC sendo então os livros publicados pelo Dr. Goldratt que servem para situar temporalmente a evolução da TOC, especialmente quando nos focamos no intervalo entre 1979 e 2000 (Watson et al., 2007).

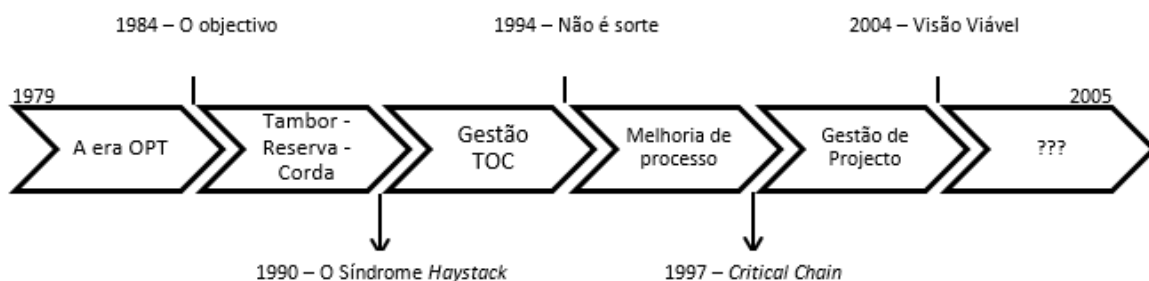


Figura 3.6 - A evolução da TOC. [Adaptado: Watson et al. (2007): p. 388]

A TOC estabelece como princípio melhorar as restrições que limitam o sistema e determinam a performance total. Aumentar os resultados da organização através do aumento de vendas em vez da redução de recursos, tais como mão-de-obra, são também alguns dos princípios da TOC. Deve ser entendida com uma ciência de gestão, uma reação física de melhoria de performance e uma disciplinada abordagem para verbalizar a intuição de uma ideia. As boas práticas de implementação de um sistema TOC indicam que esta deve ser compreendida e gerida ao mais alto nível da gestão de uma organização de forma obter os benefícios primários da TOC e também para se obter benefícios em camadas inferiores de forma segura e eficientemente (Cox & Schleier, 2010).

Alternativamente, a TOC, tal como suportado por McMullen (1998), pode ser implementada como um sistema de boas práticas valiosas tais como análise de capacidade, gestão de cadeias de abastecimento críticas ou planeamento industrial *Drum-Buffer-Rope*.

A TOC estrutura-se em quatro quadrantes operacionais tal como está representado na Figura 3.7:

	Componente Prescritiva	Componente Reflexiva
Componente Estratégica	Conceitos e Princípios	Análise e Resolução de Problemas
	Princípios Conceptuais Prescrições: As três Questões Básicas Os Cinco Passos Fundamentais Os Seis Níveis de Resistência	Ferramentas Lógicas: Árvore da Realidade Atual (<i>CRT</i>) Diagrama de Resolução de Conflitos (<i>CRD</i>) Árvore da Realidade Futura (<i>FRT</i>) Árvore de Pré-requisitos (<i>PRT</i>) Árvore de Transição (<i>TT</i>) Princípios de validação: Categorias de Reserva Legítimas (<i>CLR</i>)
Componente Operacional	Aplicações Lógicas Específicas	Medidas de Avaliação de Desempenho
	Tambor-Reserva-Corda (<i>DBR</i>) Cadeia Crítica (<i>CC</i>) Gestão das Reservas (<i>BM</i>) Análise VAT	Receitas, <i>T</i> <i>Stock, I</i> Despesas Operacionais, <i>OE</i>

Figura 3.7 - Resumo das componentes da TOC. [Fonte: Tenera (2006): p. 90]

Conceitos e princípios: As direções de ação que regulam esta metodologia, com destaque para “Os Cinco Passos Fundamentais” extensamente utilizados por muitos autores.

Aplicações lógicas específicas: As ferramentas que garantem os pilares de funcionamento da TOC consistindo nos cinco passos para a melhoria contínua, a metodologia *DBR* (*Drum – Buffer – Rope*) e *BM* (*Buffer management*).

Análise e resolução de problemas: As ferramentas TP (*Thinking Process*) que se apresentam como ferramentas de componente reflexiva com aplicação na estratégia da organização.

Medidas de avaliação e desempenho: Métricas fundamentais que sustentam uma abordagem da TOC.

Serão descritos abaixo alguns dos principais elementos da TOC que foram enunciados acima.

Na Figura 3.8 estão apresentados os cinco passos de melhoria contínua pela TOC.

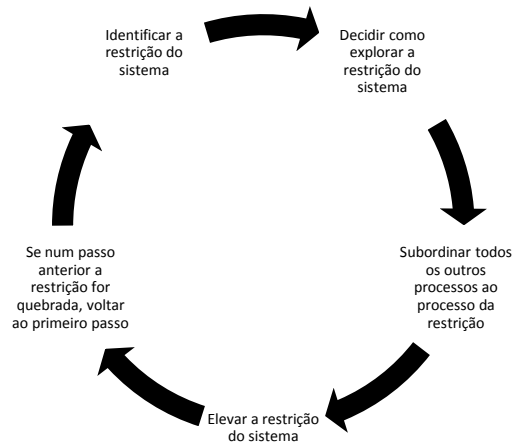


Figura 3.8 - Os cinco passos fundamentais da TOC. [Adaptado: Cox & Schleier (2010): p. 115]

Mensurar a melhoria através de índices TOC

A TOC propõe três métricas que abrangentes a toda a organização: Receitas (*T*), Investimento (*I*), Despesas Operacionais (*OE*). Estas métricas globais são de natureza financeira, relativas a convencionais medidas tal como o lucro bruto ou retorno de investimento, sendo estas fáceis de aplicar em qualquer nível da organização garantindo que decisões locais podem ser avaliadas relativamente ao seu impacto financeiro (Cox & Schleier, 2010). São métricas muito importantes e fazem uma referência cruzada com indicadores de outros departamentos tal como indica a Figura 3.9.

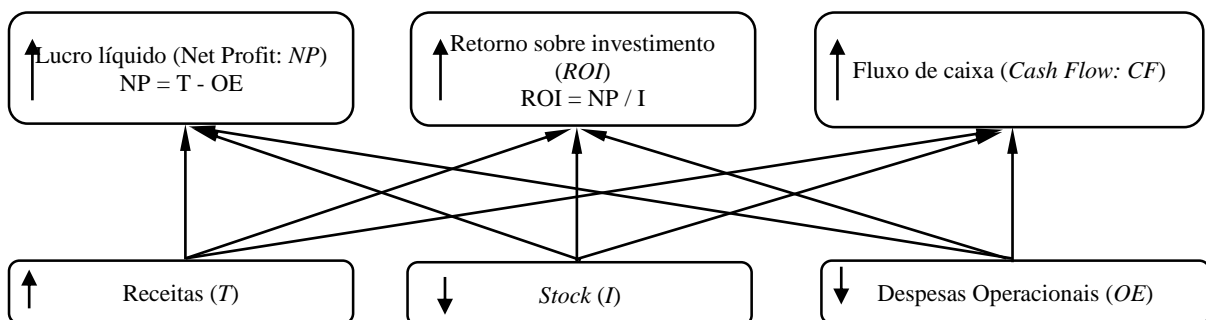


Figura 3.9 - Métricas TOC e os indicadores tradicionais. [Adaptado: Gupta (2013): p. 308]

Simatupang, Hurley e Evans (1997) reforçam ainda que três formas de melhorar um sistema produtivo passa por aumentar as receitas, reduzir os *stocks* e reduzir as despesas operacionais.

As ferramentas TP (*Thinking Process*)

Tal como referenciado anteriormente, a componente de suporte à identificação e resolução de problemas é o *Thinking Process*. Esta metodologia enquadra-se nas ferramentas de suporte na tomada de decisão ao nível da gestão de topo o que não invalida, nem deve ser entendida, que deva ser só utilizada pela gestão de topo. A mesma deve ser utilizada por toda a orgânica das organizações de modo a evidenciar restrições e oportunidade de uma forma mais eficaz, sempre com o objetivo de melhorar os resultados.

A narrativa “It’s Not Luck” escrito por Eliyahu M. Goldratt, introduziu esta nova metodologia TP, inserida na TOC, como uma ferramenta direcionada para resolver problemas complexos e não estruturados. As ferramentas TP garantem meios rigorosos, sistemáticos e lógicos para resolver problemas relacionados com políticas de gestão, dividida em duas categorias (Cox & Schleier, 2010):

Lógica causa-efeito: Esta categoria é baseada na “Árvore da realidade atual” (CRT – *Current reality tree*), “Árvore da realidade futura” (FRT – *Future reality tree*) e “Árvore de transição” (TT – *Transition tree*).

Lógica condicional: Esta categoria é baseada no diagrama de Resolução de conflitos (CRD – *Conflict Resolution Diagram*) e na “Árvore de pré-requisitos” (PRT – *Pre-requisite tree*).

A metodologia TP da TOC é amplamente utilizada por investigadores e organizações, a maioria deles para garantir que estão a garantir a visão futura do sucesso, não só quantificando os ganhos associados mas principalmente desenvolver o pensamento crítico. Como exemplo, empresas na área dos serviços usam frequentemente o TP para a implementação da TOC (Şimşit, Günay, & Vayvay, 2014). Chou, Lu e Tang (2012) aplicaram a metodologia TP da TOC na redução de *stocks* numa indústria aeronáutica. A ferramenta TP permitiu identificar os elementos de restrição e, através de uma componente reflexiva de causa-efeito, eliminar as atividades que criavam a restrição em todo o sistema. Ghorbani, Arabzad, Shirouyehzad e Shahin (2014) propuseram uma configuração de uma linha de produção através de ferramenta TP, com o objetivo de otimização de *stocks*, recursos e *output*. Esta proposta suporta a capacidade desta ferramenta de natureza reflexiva, solucionar problemas mais técnicos, a que usualmente se recorre a tratamento estatístico.

Independentemente do tipo de objetivo que se pretenda alcançar numa organização, uma restrição pode ser definida como qualquer coisa que bloqueia o sistema de completar a sua conclusão. A experiência sugere que as restrições podem ser organizadas em duas categorias: Restrições físicas e Restrições políticas (Cox & Schleier, 2010).

Restrições físicas constituem a escassez de recursos, tais como o número de horas disponíveis num dia, o número de máquinas de produção numa fábrica, mão-de-obra especializada, ferramentas e matéria-

prima. Na prática, um dos fatores industriais pode ser uma única máquina disponível ou então um departamento que trabalha 7 dias por semana, 24 horas por dia, mas que não consegue manter as entregas pedidas pelo mercado.

As restrições políticas são todas as restantes restrições. Esta categoria inclui políticas de privacidade, padrões de comportamento, atitudes, falta de informação e tudo o mais que vai para além das restrições físicas.

DBR (*Drum – Buffer – Rope*)

A metodologia DBR (Tambor – Reserva – Corda) é eficazmente aplicada em organizações desde os anos 80 e tem como objetivo uma melhor programação e decisão da produção (Schragenheim & Ronen, 1990). Esta metodologia é proveniente da TOC e usa também os princípios da OPT, referido anteriormente, ferramenta usada para identificar a primeira restrição - elo mais fraco - de toda a produção e posteriormente para reformular a programação destas restrição (Schragenheim & Ronen, 1990).

Drum – Tambor

O tambor determina a velocidade do sistema pois é geralmente o recurso mais lento ou que por outra razão leva todo o sistema a esperar por este. Usualmente quando as necessidades dos clientes são superiores às que a organização suporta, o tambor é o recurso que restringe devido ao seu limite de capacidade (Dettmer, 2001).

Rope – Corda

A corda é pode ser considerado como um sistema de comunicação. É uma programação que dá a ordem para a libertação dos materiais para o processo produtivo. A função da corda é prevenir que seja enviado material em quantidades excessivas para o processo restritivo – elo mais fraco – de toda a produção (Dettmer, 2001).

Buffer – Reserva

A reserva é um período de tempo que protege as duas componentes mais importantes de um processo produtivo: O calendário de entrega ao cliente e o recurso com capacidade restrita (*Constraint capacity resource* - CCR). A reserva foi desenhada para proteger a linha de produção contra variabilidade interna (Dettmer, 2001). Na Figura 3.10 está representado o conceito básico da DBR.

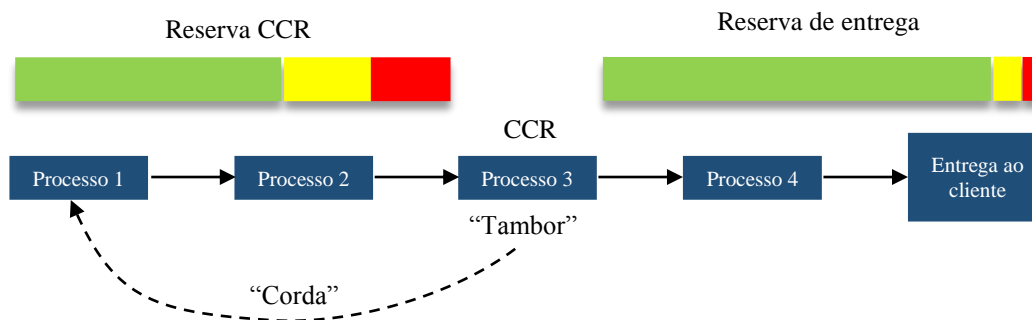


Figura 3.10 - Conceito básico da DBR. [Adaptado: Dettmer (2001): p. 27]

Centenas de cenários de sucesso sob a aplicação da DBR foram reportados ao longo dos anos, entre eles pode destacar-se o exemplo de Umble et al (2006) onde foi aplicado a TOC numa fábrica para identificar as restrições e aplicar os cinco passos de foco, *DBR* e *BM (Buffer Management)*. Com a implementação Umble et al (2006), reporta que houve elevada melhoria na quantidade de produto em vias de fabrico, *Lead Time*, tempo de entrega ao cliente, aumento da capacidade, qualidade e maiores vendas, tendo sido esta metodologia alargada a outras fábricas da mesma organização. Schuh, Potente, e Fuchs (2012) defendem ainda que num sistema complexo e com muitas variáveis tais como vários produtos, diferentes volumes e fluxos de produção, as decisões de controlo da produção devem ser feitas ao mesmo tempo que é identificada uma nova CCR.

Outro exemplo de sucesso na aplicação do DBR, explicam Belvedere e Bocconi (2005) numa empresa de produção de químicos. Alcançaram-se melhorias relativamente ao *stock* total da empresa, destacando-se uma redução para metade em apenas dois anos. Mais ainda resultou da implementação do DBR com o esforço na gestão dos fornecedores, que por iniciativa desta empresa conseguiram reduzir os seus *stocks* em 13% durante o mesmo período de tempo e reduzir o tempo total de abastecimento, contemplando o tempo de fabrico, de 52 dias para 37,4 dias. Como resultado Belvedere e Bocconi (2005), mencionam que a empresa conseguiu alterar o seu modelo de aprovisionamento, de MTS para MTO, minimizando as ruturas de *stock* que ocorriam.

Idênticos casos de sucesso foram demonstrados por Tanhaei, Nahavandi, & Motlagh (2015), Rhee, Cho, & Bae (2010) e Schragenheim & Ronen (1990).

Buffer Management

O *Buffer Management (BM)* ou em português, gestão da reserva, é uma ferramenta complementar ao DBR que pode ser usado para diagnóstico e controlo dos *buffers* existentes num sistema TOC (Schragenheim & Ronen, 1991). Com a BM é possível adaptar a informação vinda dos *buffers* e adaptar ao modelo de negócio da organização, alertando quando o sistema de produção se encontra numa fase

crítica onde ações têm de ser tomadas. O BM define as prioridades de produção de acordo com a regra das três cores: Vermelho, Amarelo e Verde. O nível atual do *buffer* é regulado dinamicamente com o grau de material consumido pela CCR.

O BM permite um controlo a dois níveis: Local e Global. Numa perspetiva Local existe um controlo efetuado diariamente para detetar as penetrações na zona vermelha do *buffer*. De uma forma global podem ser avaliadas as tendências reveladas pelos *buffers* no longo prazo, sugerindo alterações no seu tamanho. Abaixo está a equação referente ao estado do *buffer* (Cox & Schleier, 2010).

$$\text{Estado do buffer (\%)} = \frac{\text{Tempo de produção disponível}}{\text{Duração do Buffer}} \times 100 \quad (9)$$

Qualquer paragem na restrição de um sistema é tempo perdido que o cliente final não considera como valor acrescentado. Os *buffers* protegem a empresa dos problemas inesperados que afetam o seu *Throughput*, sendo assim, um desperdício necessário. Caso a fábrica tivesse um fluxo constante de material até à restrição, sem interrupções, os *buffers* não eram necessários e o lucro da empresa era diretamente dependente do investimento nos recursos. Uma forma de reduzir as reservas, ou *buffers*, necessários num sistema de produção passa por reduzir os desperdícios (Cox & Schleier, 2010).

O estado do *buffer* pode também ser calculado pela equação seguinte, tal como definem Lee, Chang, Tsai e Li (2010):

$$\text{Estado do buffer} = \frac{\text{Buffer da produção (PB)} - \text{Dias restantes para a data limite}}{\text{Buffer da produção (PB)}} \quad (10)$$

DBR-S

Schragenheim, Dettmer e Patterson (2009) introduziram o método DBR-S que pode ser facilmente aplicável a ambientes de produção MTS, quando outros métodos parecem ser difíceis ou quase impossíveis de implementar na prática. O DBR-S é uma estrutura de gestão, que inclui não só a data de entrega definida com o cliente, mas também as regras para o início de produção e libertação para a produção.

A grande diferença entre a DBR-S e a DBR é que a DBR-S não necessita de determinar a sequência precisa de libertação de material para a CCR. A sequência na DBR-S será então determinada baseada no estado do *buffer* total da produção (Schragenheim et al., 2009).

Tipos de produção

Um tipo de produção consiste num conjunto de recursos interdependentes e conectados em série com reservas intermédias. O tempo que demora um produto específico desde o início até ao final da produção é chamado *Lead Time* (Slack et al., 2010). Numa situação perfeita, deveria ser possível iniciar a produção apenas quando existe um cliente confirmado para comprar a mesma, no entanto para isto ser possível os clientes têm de aceitar um intervalo de tempo de espera, igual ou maior ao *Lead Time* total do sistema de produção (Chopra & Meindl, 2007). Esta situação é rara, o que quer dizer que o ponto que representa o tempo de espera máximo tolerável será uma parte do *Lead Time* total, ponto este que é chamado *Customer Order Decoupling Point (CODP)* e está diretamente correlacionado com uma ordem específica de um cliente (Olhager, 2010).

Make-to-Stock (MTS) em português significa “produzir para *stock*”, é a situação onde todo o planeamento e controlo da produção tem de ser feito com base na previsão da futura entrega ao cliente, isto porque o cliente espera receber o produto final à medida das suas necessidades. O sistema de planeamento da produção deve então estar preparado para garantir que os níveis de *stock* são suficientes para servir a demanda (Schönsleben, 2007).

Produzir para encomenda ou em inglês, *Make-to-Order (MTO)*, significa que todas as operações relativas ao sistema de planeamento da produção podem ser feitas dentro da tolerância de tempo acordada com o cliente. Este sistema é benéfico pois uma fábrica necessita apenas de manter *stock* de segurança no seu armazém de matéria-prima já que nenhuma ordem de produção tem de ser feita a partir de previsões (Schrageheim et al., 2009).

Make to Availability

Ambos os sistemas MTO e MTS têm o objetivo de gerar altos retornos financeiros pelos investimentos efetuados nos recursos de produção, no entanto existem problemas nestas duas abordagens ao nível das convenções e lógica onde assentam (Cox & Schleier, 2010).

A lógica por de trás da estratégia de produção MTS é que a máxima utilização irá gerar um alto retorno do investimento, isto é, se um recurso nunca está à espera, a empresa recolhe o potencial valor do investimento. No entanto para isto ser verdade, os seguintes pontos têm de ser cumpridos (Schrageheim et al., 2009):

1. Se não há produção com o propósito incrementar os *stocks* até um ponto de segurança, haverá tempos de paragem no sistema de produção.
2. Tudo o que se produz consegue-se vender.
3. Tudo o que se produz consegue-se vender ao preço máximo.

4. A única forma de atingir a alta utilização dos recursos é produzir para *stock*.

Os pontos [2] e [3] nunca podem ser válidos ao mesmo tempo num mercado competitivo, sendo que as entregas e pedidos, para um preço específico, são sempre um equilíbrio de mercado, isto é, o volume de produção é sempre igual ao pedido. De modo a vender-se mais, o preço tem de ser reduzido, o que é uma contradição ao ponto [3] (Mankiw, 2014).

Numa estratégia MTO, os princípios são os contrários. Os pedidos dos clientes são incertos e o excesso de *stock* final irá ficar por vender, ou a desvalorizar constantemente (Schrageheim et al., 2009).

De modo a evitar o desperdício em termos de oportunidades de venda perdidas e excesso de *stock*, a solução ótima será, tal como mencionado acima, apenas produzir para cobrir o que o cliente atual necessita, isto é, MTO. O problema com a estratégia MTO, é que não é sempre possível produzir só o que se necessita pois o tempo de entregar é sempre limitado pelo intervalo de tempo de entrega limitado pelo cliente.

Produzir para a disponibilidade (*Make to Availability – MTA*) é baseado nos princípios da MTO mas ajustado para a situação em que parte da produção tem de ser feita sem o oficial pedido de ordem de produção do cliente.

O mínimo possível deve ser produzido com base nas previsões e a produção impossível de realizar a previsão, deve ser feita de modo a garantir a disponibilidade para um certo produto, para um certo cliente (Cox & Schleier, 2010). A grande diferença entre MTS e MTA é a base para as previsões. Enquanto a previsão para MTS é baseada na experiência, antiga informação e tendências, na estratégia MTA a previsão requer uma relação próxima com os clientes e é baseada numa *blanket order* (Schrageheim et al., 2009). Uma *blanket order* é uma ordem interina, vinda do cliente, com a indicação do que é que o cliente espera encomendar no futuro e contém as quantidades máximas e mínimas, o que ajuda a realizar um planeamento de produção inicial (Schönsleben, 2007). De acordo com Schrageheim et al (2009), a TOC tem sido implementada desde sempre em sistemas MTO, pois a restrição considerada no sistema global é o mercado, o que também pode ser implementada com benefícios similares na estratégia MTA. Visto que a lógica por trás da MTA suporta um controlo baseado na TOC para evitar sobreprodução, pode ainda ser uma melhor abordagem que o MTS quando o cliente final já é conhecido e uma relação pode ser construída (Cox & Schleier, 2010).

Com a anterior explicação da estratégia de produção MTA é possível entender melhor a abordagem TOC e a sua flexibilidade de aplicação em diferentes sistemas de produção.

Ainda que a maior quantidade de aplicações das ferramentas DBR e DBR-S estejam direcionadas para ambientes MTO, inúmeras empresas vendem os seus produtos por redes de distribuição onde existe

dificuldade de produzir sob encomendas (MTO). Portanto é necessário nos dias de hoje gerir de uma forma competitiva sistemas de produção para *stock* (MTS), tal como defende Schragenheim et al. (2009).

Segundo Schragenheim et al. (2009) a implementação de um sistema DBR-S para um tipo de produção para a disponibilidade (MTA) deverá seguir os seguintes passos:

Passo 1: Definir os níveis iniciais de *stock*-alvo

Passo 2: Criar a ordem de produção

Passo 3: Gerir a reserva

Passo 4: Manter os corretos níveis de *stock*-alvo

Em ambientes MTA, a principal proteção é o *stock* de produtos acabados disponíveis (*Stock*-alvo). Nesse caso, esgotar a reserva significa ter o *stock* (estoque de produtos acabados disponíveis para entrega) em níveis muito baixos, de modo a que pudesse ser esgotado antes que qualquer ordem produção chegasse (Schragenheim et al., 2009).

Para Schragenheim et al. (2009), *stock*-alvo ou reserva deve ser dividido em zonas e cada zona corresponde a uma cor específica. O seguinte esquema de cores, na Figura 3.11, é definido:

- Verde: *Stock* de produtos acabados é $\geq 2/3$ ou mais do nível-alvo;
- Amarelo: *Stock* de produtos acabados está entre $2/3$ a $1/3$ do nível-alvo. Ordens de Produção amarelas recebem prioridade maior que as verdes;
- Vermelho: *Stock* de produtos acabados é menor ou igual a $1/3$ do nível-alvo. Tem prioridade sobre as Ordens de Produção amarelas. Risco de rutura de *stock* aumenta e ações imediatas são necessárias para recuperar o *stock* de produtos acabados para os níveis amarelo ou verde.

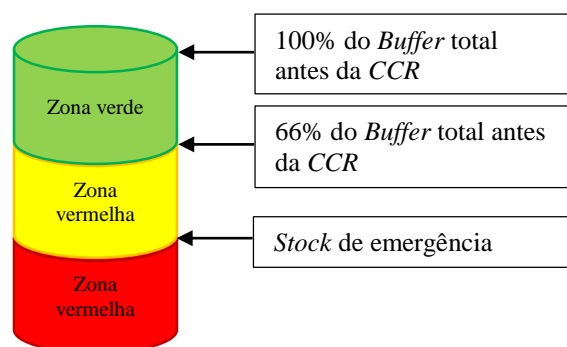


Figura 3.11 - Estrutura de um *Buffer*. [Adaptado de Cox & Schleier (2010): p. 247]

O tamanho do nível de emergência deve obedecer a dois critérios (Schragenheim et al., 2009):

1) Deve haver tempo suficiente para acelerar o fluxo de incremento do *stock* WIP e, assim, alcançar o *stock* de produtos acabados a tempo. Se este não for o caso, o nível de emergência deverá ser maior, o que pode, também, ter um impacto semelhante no nível-alvo de reposição;

2) A frequência de cruzamentos do nível de emergência não poderá ser alta nem muito esporádica. Se isto acontecer, o nível de reposição deve ser alterado.

TOC-*Lean*

Os resultados de implementações individuais de cada uma das metodologias têm contribuído para que muitas organizações atingissem elevados níveis de competitividade. A procura contínua por novas e melhores abordagens na melhoria contínua levou a que fusões entre sistemas clássicos trouxessem benefícios para os lucros das empresas.

Por um lado a metodologia *Lean* eleva todos os recursos na contínua redução de desperdícios, assim como a redução dos tempos de ciclo dos processos, por outro a TOC garante que o *Throughput* (ganhos) seja incrementado pois este é que garante a sobrevivência de uma organização.

Dado haver um elevado nível de congruência entre a abordagem *Lean* e a TOC, está representado na Tabela 3.3 um quadro de semelhanças entre as duas (Dettmer, 2001):

Tabela 3.3 - Quadro de semelhanças entre a abordagem *Lean* e a TOC. [Fonte: Dettmer (2001): p. 14]

Semelhanças entre a abordagem <i>Lean</i> e a TOC
Metodologias aplicáveis a todo o sistema
Focadas na melhoria contínua
Objetivo: Aumentar o lucro da organização
O valor é definido pelo cliente
O fluxo da cadeia de valor vai para além da fábrica abrangendo fornecedores e clientes
A qualidade é essencial para o sucesso
Produção em lotes reduzidos
Fluxo da produção contínua (ao invés de filas de espera)
Sistema de produção <i>Pull</i> (MTO em vez de MTS)
Minimizar os <i>stocks</i>
A participação dos elementos da organização é a chave para o sucesso

Abaixo, na Tabela 3.4, está um quadro de comparação entre as duas metodologias TOC e *Lean*, onde as diferenças são expostas.

Tabela 3.4 - Quadro de diferenças entre a abordagem *Lean* e a TOC. [Fonte: Dettmer (2001): p. 30]

Diferenças	
<i>Lean</i>	TOC
Redução de custos (fixos e variáveis) é a melhor forma de rentabilizar	É baseada no incremento de <i>Throughput</i> (ganhos).
Não há fim na redução de esforços, tempo, espaço, custo e erros (perfeição)	A redução de custos é secundária à geração de <i>Throughput</i> (ganhos). Aumento de vendas.
Todos os tipos de redução de desperdício são uma meta a atingir	Apenas a eliminação da restrição tem impacto imediato
Os recursos estão tipicamente organizados por produtos específicos	Os recursos estão partilhados por linhas de produto ou cadeias de valor
Não há diferenciação entre restrição e não-restrição	O tempo perdido em cada restrição representa <i>Throughput</i> (ganhos) perdidos em todo o sistema. Tempo ganho em não restrições não tem impacto imediato.
Uma reserva de <i>stock</i> é uma quantidade física	Uma reserva de <i>stock</i> é medido em Tempo, não em quantidades físicas
Defende o sistema <i>One-Piece-Flow</i>	Reduzir o fluxo ao máximo, sem colocar em causa as necessidades do processo que causa restrição
Não há diferenciação entre lote de processo e lote de transferência	O lote de processo é diferente do lote de transferência
Procura eliminar toda a variabilidade	Aceita a variação do processo e a “incerteza” do mercado externo, mas protege o sistema para ambos.

TOC, *Lean*, Seis-Sigma (TLS)

Abordadas anteriormente as metodologias TOC e *Lean*, será agora abordada uma inovadora metodologia que enquadra uma terceira componente, o Seis-Sigma. Antes de definir o conceito de TLS, será feita uma abordagem ao Seis-Sigma.

O Seis Sigma apresenta-se como uma estratégia de gestão técnica e quantitativa, com o intuito de reduzir significativamente o número de produtos não conformes e a variabilidade de um processo de forma a melhorar o mesmo (Laguna & Marklund, 2013), indo de encontro a um sistema estável e previsível que permita elevar os rendimentos, melhorar a previsão e entregar ao cliente um produto ou serviço com maior qualidade (Montgomery & Woodall, 2008). Estão apresentados na Figura 3.12 as três gerações de evolução do Seis Sigma.

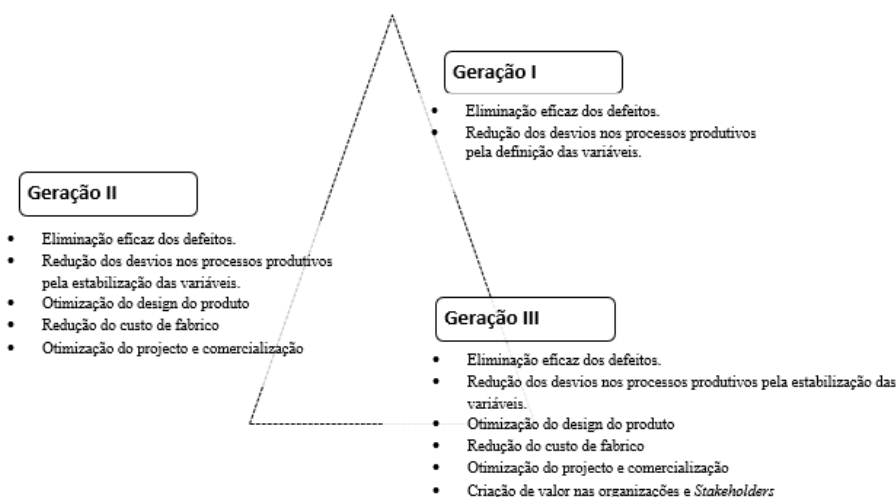


Figura 3.12 - Evolução Histórica do Seis Sigma. [Adap: Montgomery & Woodall (2008): pp. 10-30]

Esta metodologia beneficia da integração de outras ferramentas de Controlo da qualidade que há muito que são conhecidas, usadas na eliminação de erros/defeitos nas organizações, em diferentes áreas e sectores. No entanto, a sua abordagem e formas de implementação são únicas, o que justifica o sucesso desta ferramenta nas organizações (Werkema, 2004).

Reduzir a variabilidade das características de um produto ou processo em torno de valores “alvo” específicos é a principal função da metodologia Seis Sigma. Esta variabilidade medida em termos sigma (σ) é equivalente ao desvio padrão e um processo é considerado ideal quando se ajusta a uma distribuição normal com limites de especificação à distância de 6 sigma (Montgomery, 2008). Para definir os limites de estudo de variabilidade existem os limites de especificação inferior e superior, LIE e LSE respectivamente, que são tolerâncias técnicas, previamente impostas no desenvolvimento do produto e definem se se trata de um processo capaz ou não de produzir de acordo com as essas tolerâncias estabelecidas, onde o nível sigma do mesmo é determinado pela distância entre a média e o limite de especificação (Pereira & Requeijo, 2008).

A implementação da metodologia 6σ na melhoria de processos já existentes, envolve um método estruturado composto por cinco passos - DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) - que emprega várias ferramentas padrão da qualidade para determinar a raiz dos problemas e que foram concebidos para facilitar o processo de melhoria contínua (Montgomery & Woodall, 2008).

O que separa a Seis-Sigma das outras metodologias de melhoria contínua é o uso de ferramentas e técnicas de análise estatística para traduzir os dados recolhidos em informação que ajude a tomada de decisão (Sproull, 2012).

Creasy (2013) defende, com uma abordagem prática, a aplicação da TOC, *Lean* e Seis-Sigma, com sucesso relevante na indústria mineira, em vários pontos geográficos de exploração. Aplicando a TOC para definir o *Drum* principal que congestionava todo o sistema, partido depois para um estudo do sistema, aplicando paralelamente ferramentas *Lean*. Creasy (2013) conseguiu aumentar a disponibilidade dos equipamentos em 15%, estabilizando-a na ordem dos 90%. Em todas as localizações pouco capital foi gasto, sendo aproveitado todo o equipamento existente.

Simatupang et al. (1997) suporta que a orientação da TOC é favorável ao sucesso na implementação de outras metodologias. É evidenciado que metodologias como o TQM ou o JIT obtêm maior eficácia nos seus resultados quando aplicadas baseadas numa linha de decisão a partir da TOC.

Exemplo da empresa *Alfagem* que Belvedere e Bocconi (2005), já mencionada anteriormente, que implementou a TOC, recorrendo à *DBR*, no entanto o sucesso deveu-se à empresa ter adotado previamente boas práticas na área da melhoria contínua, implementando outras ferramentas da área do *Lean* e Seis Sigma tais como o *TQM* (*Total Quality Management*) e *SPC* (*Statistical Process Control*). Belvedere e Bocconi (2005) refere ainda que este processo demorou cinco anos para a empresa adotar uma nova cultura e reorganização dos recursos, passando a serem dedicadas equipas internas só focadas nas ferramentas *Lean* e Seis Sigma. Esta mudança e união de sinergias para aplicar todas as diferentes ferramentas resultou numa diminuição de desperdício, diminuição de paragens de equipamentos e ainda menor absentismo. Na Tabela 3.5 está adaptada uma comparação entre os pontos fortes de cada filosofia.

Tabela 3.5 - Comparação entre Lean, Seis Sigma e TOC. [Adaptado: Sproull (2012): p. 333]

	<i>Lean</i>	Seis Sigma	Teoria das Restrições
Teoria	Eliminação de desperdícios e identificação do valor	Redução da variação	Gestão das restrições
Foco	Foco no fluxo	Foco no problema	Restrições do sistema
Pressuposto	Eliminação do desperdício irá melhorar o desempenho do processo	O <i>output</i> do sistema irá melhorar se existir a redução da variabilidade de todos os processos	Interdependência de processos. Ênfase na velocidade e no volume.
Efeito primário	Redução do tempo de fluxo	Padronização/Uniformização do processo	Ganhos rápidos
Efeito secundário	Menos variação; Padronização; Menos <i>stocks</i> ; Melhoria da qualidade.	Menos desperdícios; Ganhos rápidos; Menos <i>stocks</i> ; Melhoria da qualidade.	Menos <i>stocks</i> e desperdícios; Melhoria da qualidade.
Críticas	Estatística ou sistemas de análise não são avaliados	Interação do sistema não é considerada. Melhoria do processo de forma independente.	Análise de dados não é avaliada
Impacto financeiro	Redução do <i>stock</i> e custo operacional	Redução do custo operacional	Aumento dos ganhos

3.3 Alternativas a TOC, *Lean* e Seis-Sigma

Para além das três maiores metodologias aplicadas no universo organizacional, algumas delas já com forte integração nas empresas desde há décadas, fazendo parte da cultura de quem trabalha nessas empresas e acima de tudo uma ferramenta para o dia-a-dia, existem paralelamente outras para áreas de aplicação específicas.

No enquadramento deste trabalho é relevante mencionar alternativas relativamente à gestão do fluxo de materiais num ambiente produtivo, com vista a encontrar otimização para o mesmo.

Seru Production (SP) - Seru Seisan em Japonês (“*Seru*” significa célula e “*Seisan*” significa produção) nasceu nos anos 90 no Japão depois de a indústria da eletrónica do país ter estado longos períodos estagnada economicamente. SP é uma ferramenta mais usada na Ásia e considerada uma extensão do *Just-In-Time (JIT)*, pelo que não se pode considerar o SP como uma filosofia ou ferramenta de gestão que abranja todas as necessidades na eliminação dos desperdícios, mas pode sim ser uma mais-valia em linhas de produção automatizadas, cada vez mais adquiridas pelas organizações ligadas à produção (Stecke, Yin, Kaku, & Murase, 2012).

O fundamento desta ferramenta é converter longas linhas de produção - muitas das vezes só usada para um produto – para múltiplas pequenas linhas de produção, agrupando famílias de componentes/produtos de acordo com as suas características e similitudes do processo/métodos (Stecke et al., 2012), (Villa & Taurino, 2013). É importante não confundir o SP com *Cell Manufacturing (CM)*, onde as linhas de produção CM são dedicadas exclusivamente a um produto, tal como está representado na Figura 3.13. É uma ferramenta com muitos benefícios em mercados “voláteis”, onde exista grande variabilidade no tipo de produto a produzir, quantidades e tempos de entrega. Há autores que referem que esta ferramenta será a próxima geração do conceito *Lean* na Ásia, principalmente na área da eletrónica (Wang, Liu, Qu, & Yin, 2013).

Villa & Taurino (2013), realizou um estudo comparativo entre a evolução do JIT e a ferramenta SP, onde é clarificado que a aplicação do SP é mais direcionada para produtos com um curto ciclo de vida e flutuações na produção. Para este autor o SP é considerado uma extensão do sistema JIT de um nível material para um nível organizacional. Como benefícios o autor assinala a alta flexibilidade, o baixo tempo de produção total, os baixos *stocks* e a elevada motivação dos colaboradores. Como desvantagens foram apontadas a geometria específica em U e L, o grande investimento e treino necessário.

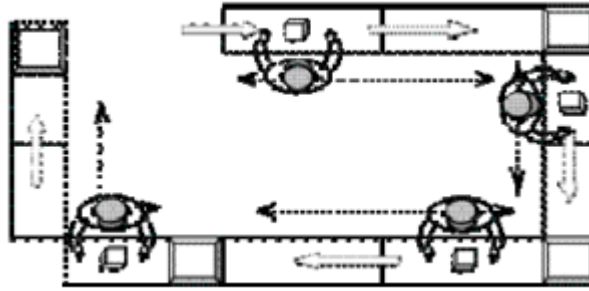


Figura 3.13 - Aplicação da Seru [Fonte: Miyake (2006): p. 964]

3.4 Simulação *Offline*

O processo de modelagem em simulação simplifica a representação de sistemas complexos, onde são experimentadas várias metas tais como um melhor *design*, análises de custo-benefício, sensibilidade dos parâmetros utilizados entre outros. A simulação é usada em diversas áreas de negócio, de onde se destacam:

- Processos industriais, tais como linhas de produção, sistemas de *stock*, estações de trabalho
- Cadeias de abastecimento
- Sistemas informáticos e de comunicações tais como sistemas cliente-servidor, redes de informáticas, entre outros.
- Sistemas de transporte tais como aeroportos, portos marítimos, comboios, entre outros.

A simulação é cada vez mais usada à escala empresarial e usada como ferramenta de apoio à decisão aumentando a eficiência global de uma organização. Segundo Gregušová, Schindlerová, Šajdlerová, Mohyla, & Kedroň (2015) a aplicação combinada entre a TOC, Seis Sigma e *Lean* em conjunto com a simulação do próprio sistema real permite a verificação da eficiência de diversas melhorias, sem risco acrescido, permitindo atingir os melhores parâmetros de processos e sistemas de produção. Os autores sugerem ainda que após a simulação concluída, os outputs do modelo simulado permitem à organização melhorar a performance em 180%.

Um sistema pode ser estudado através do sistema real ou recorrendo a modelos matemáticos ou físicos, como apresentado na Figura 3.14.

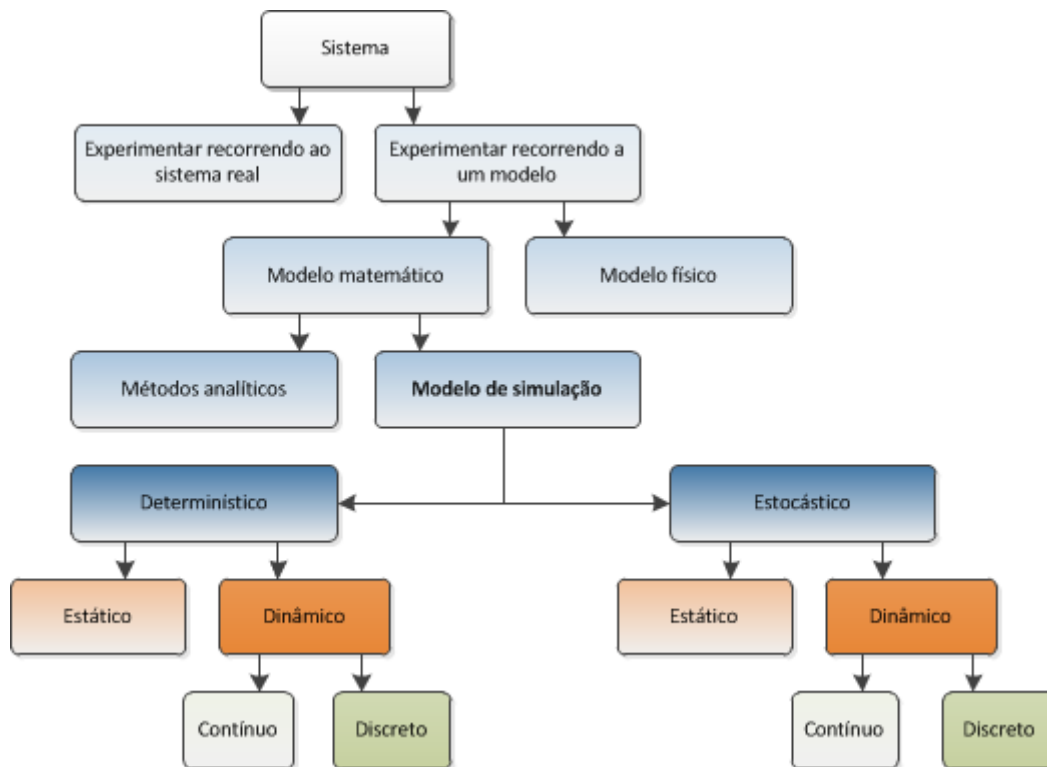


Figura 3.14 - Estudo de um sistema e caracterização dos modelos

Caso seja praticável estudar o comportamento de um sistema através da sua manipulação direta, este método deverá ser o eleito, uma vez que não se colocam quaisquer questões quanto à sua validade. No entanto, na grande maioria dos casos, este método causa constrangimentos no funcionamento do sistema, para além de poder ser um processo altamente dispendioso e consumidor de tempo.

A maioria dos modelos utilizados são matemáticos e utilizam *softwares* para reproduzir o sistema através de relações lógicas e matemáticas, que são manipuladas e testadas para verificar como o sistema se comporta, como é o caso dos modelos de simulação.

Os métodos analíticos são também modelos matemáticos, no entanto pouco utilizados, pois apesar de exatos, raramente apresentam uma solução em sistemas complexos. Adicionalmente, estes não são capazes de apresentar visualmente o comportamento do sistema, fator crítico no que se refere, por exemplo, à validação do modelo (Swain, 2013).

Os modelos de simulação divergem em modelos determinísticos e estocásticos. Enquanto, que num modelo determinístico, para um conjunto conhecido de dados de entrada teremos um único conjunto de resultados de saída, um modelo estocástico possui uma ou mais variáveis aleatórias como entrada que levam a saídas aleatórias, sendo este utilizado quando pelo menos uma das características operacionais é dada por uma função de probabilidade. A variabilidade patente na maioria dos sistemas impõe naturalmente modelos estocásticos.

Qualquer modelo de simulação pode ainda ser classificado como dinâmico ou estático. Os modelos estáticos visam representar o estado de um sistema em um instante e/ou não se tem em conta a variável tempo, enquanto os modelos dinâmicos são formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo de simulação.

Em particular, um modelo dinâmico pode definir-se como contínuo ou discreto, sendo que a sua principal diferença relaciona-se com a forma como o estado do modelo se modifica ao longo do tempo. Nos modelos contínuos o estado da variável altera-se continuamente no tempo e, nos modelos discretos, altera-se instantaneamente em pontos separados no tempo, denominados acontecimentos ou eventos.

Modelos de simulação e simulação de acontecimentos discretos (DES)

A simulação é uma ferramenta utilizada na reprodução do comportamento de sistemas reais e pode ser definida como um processo de desenvolvimento de um modelo dinâmico, com o objetivo de compreender um sistema, ou avaliar estratégias essenciais para o seu funcionamento ou para a resolução de problemas (Kelton & Law, 2007).

Num contexto económico, a simulação apresenta-se muitas vezes no centro de apoio à tomada de decisão, por exemplo, no que se refere à metodologia *Lean* e à melhoria contínua da eficiência das operações (Greenwood & Beaverstock, 2011).

Esta ferramenta é bastante versátil e a sua utilização tem crescido em diversas áreas, como por exemplo, em linhas de produção fabris, na logística, em cadeias de abastecimento e sistemas de transporte, na análise de planos segurança e na prestação de cuidados de saúde. Este crescimento tem sido sobretudo apoiado pela constante evolução de *softwares* concebidos para imitar os processos e características dos sistemas ao longo do tempo, cada vez mais especializados e flexíveis (Swain, 2013).

Entre as inúmeras vantagens da utilização da simulação, salienta-se a rapidez com que é possível simular longos tempos de produção e o facto de não interferir com o sistema real e o seu desempenho, permitindo comparar vários cenários, e estudar resultados e interações que diferentes componentes e variáveis apresentam num sistema, o que na maioria dos casos seria impossível de testar no sistema real (Kelton & Law, 2007).

Por outro lado, a construção de um modelo de simulação poderá ser relativamente dispendiosa e morosa tendo em conta que é necessário reproduzir cautelosamente todas as condições e restrições do sistema real.

Na construção de um modelo de simulação poderão ser assumidos *inputs* não controláveis e probabilísticos e, portanto, o respetivo *output* poderá ser aleatório. Também, na simulação testam-se *inputs* numéricos e verifica-se como estes afectam o seu *output*, obtendo-se estimativas das medidas de desempenho do sistema. Tendo em conta que cada replicação produz apenas estimativas das características do modelo consoante os dados introduzidos, produzindo diferentes resultados em diferentes replicações, pode considerar-se que a simulação não fornece resultados exatos. Não obstante, esta incerteza pode ser quantificada ou reduzida através, por exemplo, de simulações mais longas até se atingir o estado estacionário, ou através de mais replicações, tornando a média dos resultados semelhante (Kelton & Law, 2007).

Em especial, a simulação de acontecimentos discretos (*Discrete Event Simulation* - DES) é uma prática dominante no sector industrial pois tem demonstrado ser uma excelente ferramenta na modelação, análise e melhoria do desempenho de sistemas produtivos.

Num modelo de simulação DES, o sistema é constituído por unidades discretas que se deslocam de um ponto para outro no sistema, competindo entre si pela utilização de recursos. A maioria destes modelos é constituída por entidades, acontecimentos, atividades, recursos, calendário, entre outros componentes (Kelton & Law, 2007).

Na literatura, segundo Altiook & Melamed (2010) é mencionado que para construir um modelo de simulação serão necessários os passos mencionados na Figura 3.15.

1) Análise do problema e recolha de informação:

No primeiro é necessário analisar o problema, recolhendo e questionando informação estrutural que é envolvente ao problema. Esta fase inclui recolher parâmetros de entrada para o modelo, parâmetros de performance de interesse, relações entre os parâmetros e variáveis, regras aplicáveis ao sistema, entre outros. A informação deve ser representada em diagramas de fluxo, árvores hierárquicas ou equivalentes métodos de fácil interpretação.

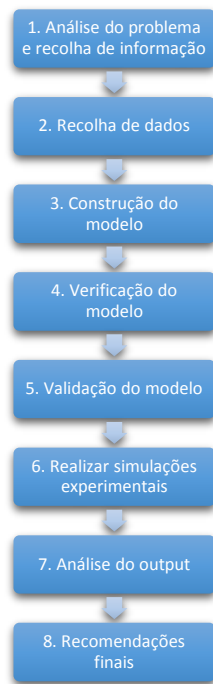


Figura 3.15 - Etapas de implementação de uma simulação. [Adaptado de Altiok & Melamed (2010)]

2) Recolha de dados:

Recolha de dados é necessária para estimar os parâmetros de entrada do modelo. O analista pode formular suposições nas distribuições de variáveis aleatórias no modelo. Quando existe escassez de dados, pode ser possível designar intervalos de parâmetros, e simular o modelo para todos ou alguns dos parâmetros de entrada. A recolha de dados é também um passo essencial para a validação do modelo, pois sem os mesmos seria impossível comparar os dados de entrada e saída do modelo de simulação com os dados de entrada e saída do sistema real.

3) Construção do modelo:

Assim que o modelo esteja totalmente estudado e os dados necessários recolhidos, o analista pode prosseguir para a construção do modelo e implementá-lo através de um programa computacional. A linguagem computacional empregue pode ser de natureza genérica, tal como C++, Visual Basic, FORTRAN, ou então através de um Software específico de simulação tais como Arena, Promodel, GPSS, entre outros.

4) Verificação do modelo:

O propósito da verificação do modelo é garantir que o mesmo está corretamente construído e conforme com as especificações, realizando a função para a qual foi determinado. Genericamente é feita uma inspeção profunda ao modelo construído, comparando o “código” do modelo com a especificação do modelo. Todas as discrepâncias entradas devem ser modificadas de acordo com a especificação.

5) Validação do modelo:

Verificar se o modelo se encaixa nos dados empíricos é garantir que as mais importantes medidas de performance do modelo se encaixam ou concordam com o sistema real. Eventuais discrepâncias nesta fase indicam que o modelo pode não ser adequado para o propósito do projeto e, então, modificações têm de ser postas em prática. Podem gerar-se aqui ciclos de construção: Verificação, validação e modificação.

6) Realizar simulações experimentais:

Assim que o analista define que o modelo é válido, o mesmo pode correr simulações experimentais para estimar a performance do modelo ajudando assim a resolver problemas do projeto. Seleccionando um número restrito de cenários e um número de execuções definido, são realizados os primeiros testes ao modelo de simulação, garantindo que existe uma fiabilidade estatística assim como uma replicabilidade.

7) Análise do output:

As medidas estimadas de performance são tópicos para uma análise lógica e estatística. Primariamente é essencial identificar qual o melhor cenário entre todos os existentes. Uma análise comparativa deverá ser feita para identificar qual contribui para uma performance superior.

8) Recomendações finais:

Por último, deverá ser feita uma interpretação entre os dados de saída finais e a problemática inicial que desencadeou o projeto.

Os *softwares* de simulação de eventos discretos possibilitam a simulação de uma elevada quantidade de dados de sistemas extremamente complexos, fornecendo respostas estatísticas cada vez mais precisas. Contudo todo o processo de planificação e construção do modelo de simulação incidem diretamente com o conhecimento que o utilizador tem sobre o sistema real. Dificuldades inerentes à utilização dos *softwares* de simulação são recorrentemente encontrados. Esta é uma dificuldade comum tal como Banks et al. (2005) e Shannon (1998) reforçam nos seus trabalhos, acrescentando que uma das principais desvantagens de um estudo de simulação é o facto de a sua utilidade depender muito da qualidade do modelo.

3.5 Comentários finais do capítulo

As ferramentas *Lean* representam uma robusta abordagem na redução e eliminação de desperdícios, contribuindo com aplicações práticas de fácil implementação. O foco das ferramentas *Lean* centra-se na eliminação todos os desperdícios que sejam encontrados, tendo como meta zero desperdícios.

Uma abordagem TOC revela ser uma eficiente metodologia, gerindo as prioridades nos ganhos para a organização. O sistema principal de gestão da produção baseado na TOC, consiste em proteger o elo mais fraco de variações exteriores em ambientes MTS. A TOC é bastante completa pois atua desde um nível de gestão elevado, até um baixo nível de gestão.

A utilização conjunta das metodologias TOC-*Lean* traz benefícios acrescidos para as organizações, complementando-se uma à outra.

4. Proposta de simulação de sistema híbrido *TOC-Lean*

Após a revisão do estado da arte é definido neste capítulo a proposta a aplicar nesta dissertação de modo a ir ao encontro das oportunidades 1, 2, 3 e 4, encontradas no capítulo 2.4.

A formulação da metodologia teve por base uma investigação Indutiva, recorrendo a dados secundários a partir do sistema informático e também a partir de dados primários, por recolha direta do sistema. Posteriormente, tal como sugerido pela literatura, foi efetuado o tratamento quantitativo aos dados necessários (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009). Na Figura 4.1 apresenta-se a metodologia usada.

Para avaliar o sistema em causa optou-se pela simulação pois é razoável usar para validar melhorias que se possam efetuar no sistema. Mesmo não sendo uma forma tão eficaz de visualizar os resultados, como por exemplo aplicar na realidade e esperar pelos *outputs* da organização, é por outro lado, uma forma mais económica e segura de testar os efeitos de novas ou melhoradas ferramentas da produção.

Após a construção, verificação e validação do modelo de simulação é razoável usá-lo para validar melhorias que se possam efetuar no sistema. Mesmo não sendo uma forma tão eficaz como por exemplo aplicar na realidade e esperar pelos resultados da organização, é uma forma mais económica e segura de testar os efeitos de novas ou melhoradas ferramentas da produção.

Relativamente ao *software* a usar para construir o modelo de simulação poderia optar-se pelos seguintes concorrentes de mercado, nesta área: AutoMod; WITNESS; ProModel; Arena.

Optou-se escolher o *software* Arena pela sua familiaridade com o autor e também pela flexibilidade de adaptação a todo o tipo de processos, desde a indústria petrolífera, automóvel, aeroespacial, entre outras (Kelton, Sadowski, & Sturrock, 2007). Não foram encontradas no entanto, referências ou estudos de sistemas de simulação dedicados a indústrias gráficas que pudessem sugerir a melhor opção ao nível de *software*.

O Sistema considerado é discreto pois o estado das variáveis altera-se em alturas diferentes no tempo (discretos), por exemplo quando matéria-prima chega ao sistema ou quando é terminado um processo. Como resposta de um modelo de simulação, o ideal será obter, pelo menos os seguintes indicadores, que façam caracterizar o sistema em estudo:

- Quantidade média de WIP
- *Lead Time*
- Tempo acumulado de *Setup* de equipamentos chave
- Tempos de filas de espera

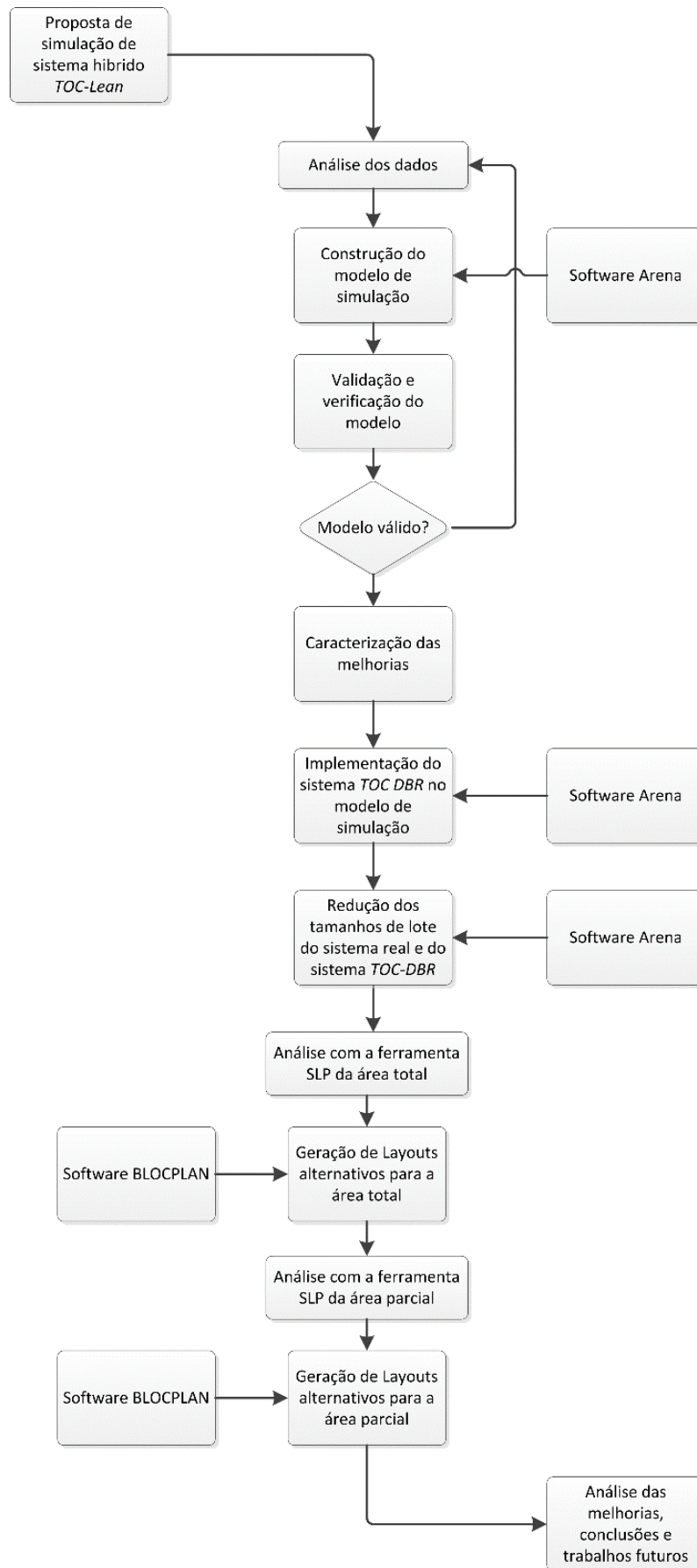


Figura 4.1 - Diagrama da metodologia aplicada

Neste trabalho foi efetuada uma análise de produtos de modo a identificar os mais relevantes e de maior volume tornando o modelo de simulação o mais robusto possível. Partindo deste pressuposto decidiu-se em conjunto com os *Key-Players* da empresa concentrar um foco de otimização de processos para os produtos P1, P2 e P3. Contudo, sendo a linha de produção de produtos laminados utilizada para laminar o Produto P4, achou-se vantajoso incluir o mesmo no modelo de simulação por representar uma “mancha” de capacidade considerável nesta área produtiva.

Para realizar um modelo de simulação devem ser seguidos os passos de recolha de informação e validação dos dados, passos 1 e 2 segundo Altiok & Melamed (2010). Os dados utilizados serão os mencionados no capítulo 2.2 que deverão ser avaliados e calculadas as estatísticas necessárias para os validar, só depois se deverá seguir para o passo 3 tal como defende Altiok & Melamed (2010).

O modelo em estudo deverá ser uma representação fiel do estado atual do processo produtivo e os seus outputs devem ser semelhantes. Para efetuar a validação do modelo deverão estar reunidos os responsáveis diretos desta linha de produção e os *Key Players* da organização, comparando o *output* do modelo com o *output* do sistema real tal como é sugerido por Altiok & Melamed (2010), correspondendo à fase quatro e cinco da implementação de um sistema de simulação.

Se o modelo for validado com sucesso, avança-se para a sexta fase da metodologia, onde se realizam as primeiras simulações que podem servir de uso para caracterização do sistema real. Para tal é feita uma análise das restrições do sistema por forma a explorar o sistema atual e identificar o elo mais fraco do sistema. Nas etapas 7 e 8 deverão ser avaliados os resultados anteriores, servindo de base para os passos seguintes desta proposta.

Neste trabalho foram encontradas oportunidades de melhoria na gestão de *stock* e da produção. Tal como visto no capítulo anterior, a abordagem *Lean* poderia ser uma eficaz à gestão da produção, contudo estudos feitos por outros autores revelam que as ferramentas TOC poderão obter melhores resultados.

Simatupang et al. (1997) defende a utilização de um sistema TOC sobre qualquer ferramenta *Lean* ao nível da gestão da produção. Esta é uma prática que possibilita a integração de ferramentas de redução de desperdício *Lean* aliadas à alta rentabilidade de um sistema de gestão da produção TOC.

Hurley & Clay Whybark (1999) reforçam os resultados do autor do parágrafo anterior, defendendo no seu estudo que a TOC supera o JIT no indicador do *Throughput*, utilização de recursos e tempo de ciclo, com a particularidade, de neste caso, ter sido testado num sistema constituído por cinco estações de trabalho com três modelos diferentes de produto.

Chang & Huang (2013) propõem um modelo de simulação, com base na TOC DBR-S, aplicado a uma fábrica real. O sistema de fabrico é MTO e as datas de entrega ao cliente são baseadas na capacidade

total do recurso de restrição (CCR). Neste modelo de simulação o autor consegue com sucesso aumentar a capacidade de utilização da CCR, passando de 60% para 90%. Este autor demonstra como a simulação aliada a um sistema de gestão da produção baseado na TOC pode devolver resultados ótimos.

Usando ferramentas da TOC aplicadas à gestão da linha de produção através da aplicação da ferramenta DBR num sistema de produção MTS, significa alternar para MTA, conceito introduzido por Schragenheim (2002) e faz a adaptação com a TOC.

Aplicando um sistema de gestão da produção baseada na TOC, poderá eliminar efeitos comuns indesejáveis num ambiente MTS (Souza, 2014). Este autor defende que os constantes excessos de *stock* numa estratégia MTS serão reduzidos num ambiente MTA, assim como roturas de *stock*. O objetivo da MTA é responder de uma forma rápida ao consumo real e esta é robustamente efetuada, com o controlo do nível de abertura de ordens de produção, consoante o estado do *buffer*.

Redução do tamanho de lote é uma das soluções possíveis para reduzir o excesso de WIP e o *Lead Time*. Sendo esta uma aplicação *Lean*, poderá ter significativos efeitos na melhoria do sistema global.

Relativamente à última oportunidade de melhoria definida no capítulo 2.4, a melhoria de uma proposta de *layout*, será efetuada uma avaliação SLP, ao *layout* conceptual em proposta, dado ser uma ferramenta útil de avaliação prática de *layout*'s. Esta é de fácil interpretação e acima de tudo, com indicadores presentes nalguns *softwares* de geração de *layout*'s automáticos. Esta ferramenta é bastante usada e está documentada através de outros autores Wiyaratn & Watanapa (2010), Tortorella & Fogliatto (2008), Martin (2004), Yang, Su, & Hsu (2000) e Quintaneiro (2014).

Nesta proposta será usado um *software* para gerar alternativas, contendo os mesmos indicadores que o SLP, sendo uma preciosa ajuda quando se está a trabalhar com uma elevada quantidade de departamentos, como é o caso em estudo. Wilsten J & Shayan (2007) compararam os *softwares* *Graph Theory*, *CRAFT*, *Optimum Sequence*, *Blocplan* e *Genetic Algorithm*, obtendo os melhores resultados com o *software* *Blocplan*, sendo este também o escolhido para o presente trabalho.

Como será descrito mais à frente, dado o elevado número de departamentos em estudo foi solicitado pela organização um segundo estudo SLP para analisar a configuração apenas de um conjunto restrito de departamentos. Estes departamentos podem considerar-se como a fração final de processos para os produtos em estudo. Este segundo estudo SLP, intitulado de configuração específica, será analisado com a mesma metodologia que a configuração total, apenas não será possível realizar uma comparação entre ambos os estudos, dada a diferente natureza de ambos.

Convém mencionar que desde o início da fase de pesquisa não foram encontrados casos de estudo que documentem a implementação de SLP em áreas de produção gráficas pelo que este estudo traz não só

uma componente de implementação SLP numa área industrial mas também uma nova componente de inovação relativa ao tipo de indústria onde é aplicada. Análise de dados

Neste capítulo será abordada a forma como foram analisados os dados já mencionados no capítulo 2.2 que serão utilizados posteriormente na construção do modelo de simulação.

Os dados referentes às cadências são dados atualizados regularmente, sendo verificados junto dos processos todas as restrições que possam influenciar esta métrica. Esta métrica é também utilizada internamente para realizar orçamentos, pelo que regularmente é avaliado o desvio de produções anteriores, alertando sincronamente com a produção desvios à realidade. Estes dados foram mencionados no capítulo 2.2 e estão compilados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Cadências dos processos

Processo	Unidade	P1	P2	P3	P4
Contar	Folhas/h	83,3	83,3	83,3	291,7
CQ Folhas	Folhas/h	83,3	83,3	83,3	83,3
Juntar	Folhas/h	150	150	150	100
Laminar	Folhas/h	93,3	160,0	112,0	250,0
Cortar	Folhas/h	229,2	250,0	83,3	-
CQ	Cartões/h	5400	5400	5400	-
Chip	Cartões/h	1000	-	-	-

Relativamente aos tempos totais de cada turno, a INCM S.A. identifica um turno igual ao tempo de 7,5 Horas.

Como dados de entrada para o modelo de simulação foram utilizadas as datas e as quantidades libertas imediatamente antes do processo Contar, processo este já mencionado anteriormente como um departamento independente que valida os dados do sistema SAP. Os dados fonte a serem utilizados no modelo de simulação estão representados na Tabela A.V. 1, que são iguais aos dados da Tabela A.II. 1.

Tal como referenciado no capítulo 4 o produto P4 será abordado neste modelo como uma “mancha”, como tal, optou-se por não monitorizar as entregas ao cliente para este produto. Para os restantes produtos optou-se por assumir entregas diárias ao cliente com base na razão entre a quantidade mensal por produto e o número de dias do respetivo mês. Na tabela 4.2 é feito um resumo destas quantidades diárias entregues ao cliente, e o último dia útil de cada mês a partir de 1 de Outubro de 2014. O número total de dias de simulação serão 58 dias, contemplando os três meses de produção, apenas os dias úteis, excluindo os fins-de-semana e feriados.

As quantidades diárias a entregar ao cliente foram calculadas a partir da Tabela 2.5, representadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Quantidades diárias a entregar ao cliente interno

Mês	P1 (Un)	P2 (Un)	P3 (Un)	Nº de dias
Outubro	9870	3148	489	23
Novembro	3967	1261	188	43
Dezembro	3199	978	200	58

Na tabela A.II.2 é apresentada uma amostra de observações da duração das avarias no processo *Chip* tal como foi enunciado no capítulo 2.2.

O *Input Analyzer* foi utilizado para identificar a distribuição de probabilidades que melhor se ajusta ao comportamento dos dados apresentados na tabela A.II.2. O *software* apresenta um histograma dos dados e o sumário das características da distribuição de probabilidade que sugere usar com base no menor valor de erro quadrático (*Square Error*), os valores das estatísticas dos testes estatísticos de ajustamento Qui-Quadrado e *Kolmogorov-Smirnov* e respectivos correspondentes *p-values* e, ainda, as características descritivas da amostra de dados, nomeadamente, valores médio, mínimo, máximo e desvio padrão. Na Figura 4.2 está o resultado obtido através do *software*.

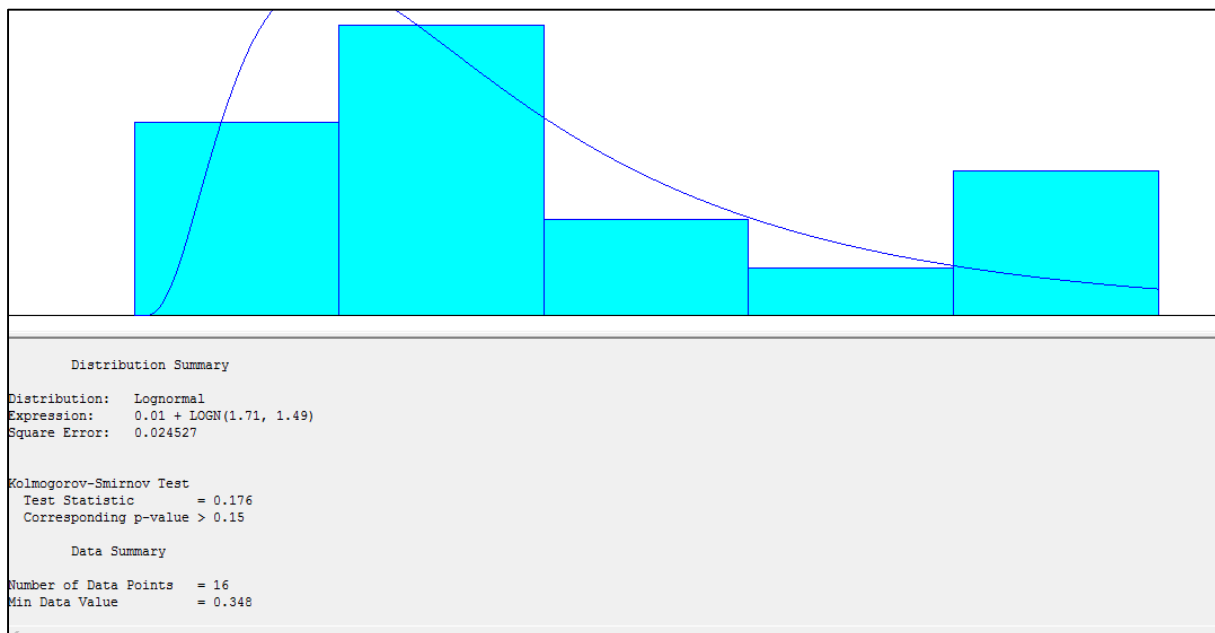


Figura 4.2 - Ajustamento dos tempos de avarias no equipamento *Chip* a partir do *software Input Analyzer*

O *Input Analyzer* fornece o valor das estatísticas dos testes de ajustamento do QuiQuadrado e *Kolmogorov-Smirnov* assim como o *p-value* que lhes está associado. O valor *p-value* é uma probabilidade é bastante importante pois se necessitarmos um ajustamento com base num nível de confiança de 95%, e o resultado do *p-value* é inferior a 5% (0,05) indica que a distribuição de

probabilidade sugerida pelo *Input Analyzer* não representa convenientemente o conjunto de dados introduzidos. Por outro lado, um valor do *p-value* muito superior não prova a existência de um bom ajuste da distribuição aos dados, mas também não rejeita essa possibilidade. Tendo em conta que o valor do *p-value* obtido para o teste do Qui-Quadrado foi de 0,176, não existem razões para duvidar da qualidade da distribuição enquanto representativa da aleatoriedade associada ao conjunto de dados recolhidos.

Foi efetuado o mesmo procedimento para o número de dias entre avarias assim como os tempos de deslocações entre secções enunciados anteriormente na Tabela 2.7. Na Tabela 4.3 é feito um resumo do resultado das estatísticas resultantes do *Input Analyzer*.

Tabela 4.3 - Resumo das estatísticas a usar no modelo de simulação

Descrição	Estatística
Duração das avarias (horas)	$0.01 + \text{LOGN}(1.71, 1.49)$
Data entre avarias (Dias)	$0.5 + \text{LOGN}(3.66, 5.6)$
Transporte entre Contar - Controlo de qualidade de Folhas (Min)	$\text{TRIA}(5, 22.7, 30)$
Transporte entre Controlo de qualidade de Folhas - Controlo de qualidade de cartões (Min)	$6.5 + 9 * \text{BETA}(0.775, 0.928)$
Transporte entre Controlo de qualidade de cartões - Implantação de <i>Chip</i> (Min)	$5.5 + \text{LOGN}(2.16, 1.79)$

4.1 Construção do modelo de simulação

Toda a construção do modelo de simulação foi efetuada sequencialmente alternando entre períodos de recolha de informação pormenorizada sobre o sistema e execução do sistema. Dada a complexidade do sistema a reproduzir, foram focados os esforços em modelar detalhadamente algumas componentes críticas do fluxo do fabrico e por outro lado simplificar os de menor importância. Ensaiou-se a simulação de todo o fabrico o mais realisticamente possível, desde o processo de Contar até ao processo de entrega ao cliente interno, tal como foi referenciado no capítulo 2.2.

O modelo de simulação foi dimensionado para efetuar a simulação por lotes de produção, provenientes de uma grande ordem de produção interna, sendo usado o mesmo modelo para os quatro produtos (P1, P2, P3 e P4). Estes dados foram armazenados num ficheiro Excel auxiliar de onde o Arena lê os dados dinamicamente em cada replicação. Neste ficheiro Excel estão ainda guardados dados relativos à característica técnica do material de cada produto, número de meses a simular, quantidades a serem enviadas por mês aos clientes. Tal como mencionado anteriormente, os mesmos encontram-se na tabela A.V. 1, que através do Arena, são lidos.

Na Figura 4.3 está representado o modelo de simulação realizado com uma numeração a dividir operações estratégicas e também zonas que requerem transporte.

Abaixo irão ser descritos os números de identificação do modelo de simulação que a partir desta secção para a frente servirão para localizar o leitor, quando referenciados cruzadamente noutra operação onde haja necessidade.

- 1- Este é o ponto inicial do modelo, concernente aos dados relativos às quantidades mensais de entrega ao cliente assim como as datas respeitantes ao início de cada mês. Os dados provêm do ficheiro Excel apresentados na tabela A.V. 1 e são lidos sequencialmente através de dos módulos no Arena, atribuídos a variáveis específicas criadas.

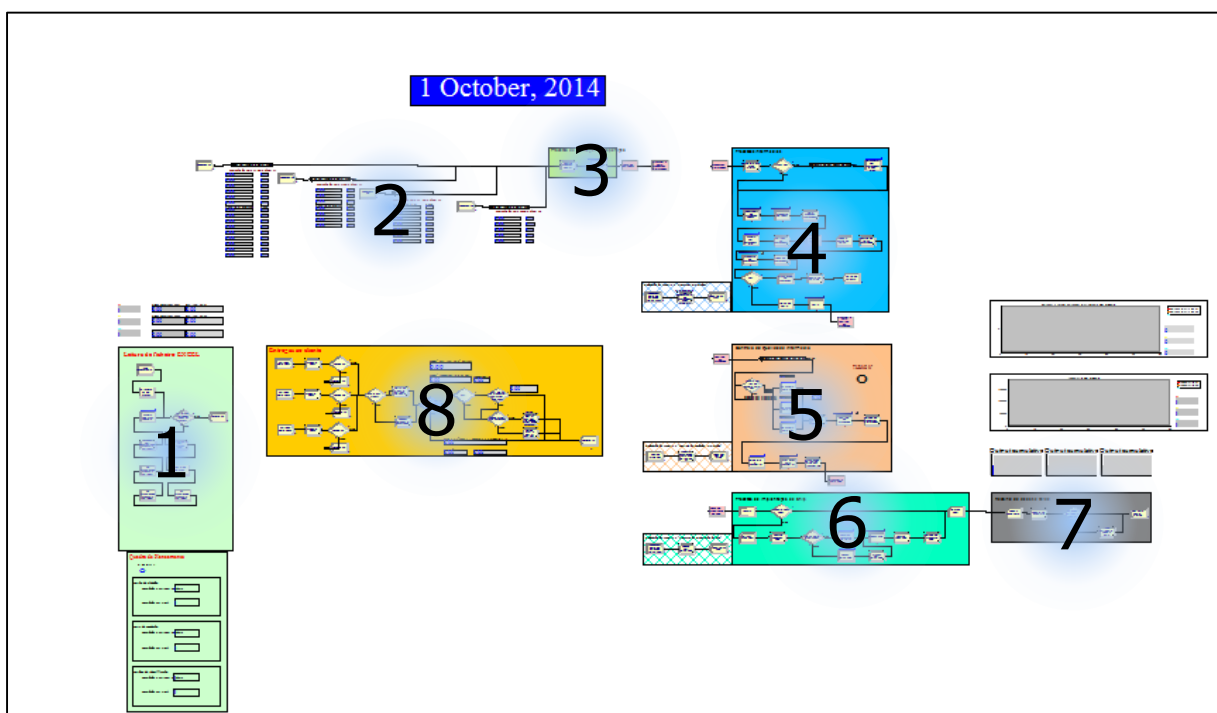


Figura 4.3 – Arena: Modelo de simulação

- 2- Neste conjunto, representado na figura A.VI. 1, os dados em Excel relativos às quantidades dos lotes e datas por produto, são lidos e prontos a serem introduzidos no sistema. Este conjunto atua como as entidades de chegada que irão circular pelo fluxo do fabrico tal como apresentado na Figura 2.3 do capítulo 2.2.
- 3- Este é o primeiro processo, o de Contagem, o qual, como é efetuado numa zona fisicamente distinta das outras foi considerado à parte.
- 4- Este é o conjunto de processos desde o Controlo de Qualidade de Folhas até ao Corte. É nesta zona que o produto P4 é processado e sai do modelo de simulação.
- 5- Aqui é efetuado o Controlo de Qualidade de Cartões, que por ser efetuado numa zona distinta, foi igualmente separado no modelo. Nesta secção o produto já não circula agregado num só lote

inicial, tendo sido convertido para caixas de 450Un ou 500Un consoante o produto, contudo mais à frente será explicado em detalhe.

- 6- Esta secção é exclusiva para o produto P1 onde é implantado o *Chip* no cartão polimérico e os produtos P2 e P3 não são abrangidos neste processo tal como apresentado na Figura 2.3 do capítulo 2.2.
- 7- A última zona do fluxo do fabrico é esta, que se destina à coleção de dados para estatísticas e indicar ao sistema a data da chegada ao final do sistema da primeira entidade, por produto.
- 8- A secção oito é dedicada a gestão da produção, onde é modelada a entrega ao cliente, que virtualmente retira por dia do *stock* dos produtos P1, P2 e P3 as quantidades indicadas na Tabela 4.2. Esta é uma zona muito importante do modelo de simulação pois é onde é feita a gestão do planeamento da secção do Controlo de Qualidade de Cartões.

Todo este modelo foi construído com entidades que circulam no sistema que representa conjuntos de unidades de tamanho variável, consoante o *output* de cada processo intermédio. Estes variam também consoante o *layout* do material de chegada ao sistema, referido na Tabela 2.1. Optou-se por esta forma de modelar o sistema pois nas primeiras tentativas, o elevado número de entidades fazia com que a memória do *software* Arena atingisse o limite permitido, aparecendo um erro impossível de ultrapassar. Após alguma pesquisa de casos de estudo com recurso a simulação, identificou-se que a solução mais viável seria gerir as quantidades por lotes sempre que possível, aumentando a complexidade sempre que fosse necessário avaliar por exemplo filas de espera ou medidas de performance do sistema, contudo a mesma foi superada e será apresentada a solução proposta.

Secção 1

Para iniciar a recolha dos dados do ficheiro Excel partiu-se da secção 1 e usou-se um módulo *Create* chamado “Inicio Recolha” que faz chegar uma única entidade ao sistema no instante zero que segue para o módulo *ReadWrite* chamado “Le ficheiro Nr meses”. Neste ficheiro é retirado o número de meses a simular, presente no Figura A.VI. 1 e grava na variável “Planeamento_nr de meses a simular”. A entidade chega ao módulo decide “Ja foram simulados todos os meses?” e verifica se a variável “Planeamento_nr de meses PIVOT” é igual à variável “Planeamento_nr de meses a simular”. O módulo Decide vai efetuar um ciclo de incremento de meses usando para tal uma variável pivot chamada “Planeamento_nr de meses PIVOT” iniciada com o valor zero. Neste caso será incrementada até ao mês de dezembro, três vezes. Este ciclo inicia-se com um módulo *Assign* onde se incrementa a variável “Planeamento_nr de meses PIVOT” e de seguida são usados quatro módulos *ReadWrite* para recolher as quantidades mensais a entregar ao cliente e os dias úteis do mês em curso. Estas são gravadas na variável de dimensão 3 “Planeamento_Qnt Mensal a Entregar”, sequencialmente por produto. O número de dias é gravado na variável “Planeamento_Nr Dias do mes atual”.

No módulo *Assign* “Atualiza Var. Planejamento_Qnt Mensal a Entregar” é efetuada a razão a partir da equação (11) que devolve a quantidade diária a entregar ao cliente, sendo gravada na variável “Pedido Cliente Diário”:

$$\text{“Planeamento_Qnt Mensal a Entregar (Produto)”} / \text{“Planeamento_Nr Dias do mes atual”} \quad (11)$$

Seguidamente chega ao módulo “Espera pelo mes seguinte” que é um módulo *Hold* que espera que a seguinte condição seja verdadeira:

$$\text{AINT(TNOW)} == (\text{Planeamento_Nr Dias do mes atual} + 1) \quad (12)$$

A função AINT é a função do Arena que realiza a truncagem de um número, neste caso do dia atual (TNOW), retirando a parte fracionária do valor. Assim vai encontrar-se o dia imediatamente a seguir ao último dia do mês, que é o primeiro dia do mês seguinte, visto estar a usar-se uma unidade temporal no Arena de “Dias” e omitirem-se os feriados e fins-de-semana.

Secção 2

Prosseguindo para a secção 2, representada na Figura 4.3 e detalhadamente figura A.VI. 2, onde são lidos do ficheiro Excel do tabela A.V.1 os dados relativos às quantidades dos lotes e datas por produto a serem introduzidos no sistema. Foram quatro módulos *Decide* e quatro submodelos para recolher a informação do ficheiro Excel. Será explicado o funcionamento para um submodelo, referente a um produto, sendo os restantes submodelos modelados de igual forma, apenas diferenciando nas variáveis correspondentes a cada produto.

Após a chegada de uma única entidade através do módulo *Decide* “chegada P1” no instante zero, a mesma dirige-se para o submodelo “P1 Ler ficheiro e gerar chegadas”, que está representado na Figura A.VI. 3, e faz a leitura do número de lotes a produzir através do módulo *ReadWrite* chamado “P1 Nr de entradas”. Aqui é lido do ficheiro Excel o número de lotes a libertar durante toda a simulação e guarda esse número na variável “Ficheiro P1”, de duas dimensões, na posição (1,1).

De seguida, é lido o tamanho de lote, a data que o Arena irá libertar para o sistema, a existência de Chip e qual a característica técnica do material. Todos estes dados são guardados sequencialmente na variável “Ficheiro P1”, através do módulo *Assign* “Características P1” e ainda o atributo da entidade relativo ao produto em produção que é neste caso igual a “1”. Esta entidade segue depois para um ciclo de decisão “P1 Data de saída igual a TNOW” onde verifica se a data de chegada do lote seguinte é no mesmo dia ou não. Se não for no mesmo dia, a entidade segue para o módulo *Delay* “P1 atrasa entrada 1 dia” e realiza este ciclo diariamente até o registo seguinte for o dia atual. Se houver uma chegada no mesmo dia, a entidade dirige-se para o módulo *Separate* “P1 verifica chegadas no mesmo dia” onde é duplicada

a entidade, seguindo a original para produção e a duplicada repete o processo todo anterior para recolher novamente as características do lote.

Este conjunto de blocos verifica ainda o final do registo através módulo do Decide “P1 Chegou ao final do ficheiro?”, conduzindo a entidade para fora do sistema se a recolha de dados ficou concluída.

Secção 3

O início de produção real inicia-se na secção 3, que está representada na Figura A.VI. 4, onde com um bloco *Assign* se atribui à entidade que chega a data atual (TNOW) chamada “Chegada Contar”. É também registada a quantidade de entrada, pois dado que a quantidade representativa de cada entidade variar consoante o processo teríamos uma métrica errada pelas estatísticas *standard* do Arena. A questão da gestão das quantidades por cada entidade, foi um dos grandes desafios na construção do modelo de simulação para a INCM S.A.. Será evidente daqui para a frente, o elevado número de blocos usados para realizar operações consideradas simples quando se realiza um modelo de simulação em que uma entidade representa uma unidade a ser produzida.

Para quantificar a estatística do número de Un em produção por produto foi usado o mesmo *Assign* mencionado no parágrafo anterior e foi atribuída à variável “WIP(Produto)” na equação (13), onde a variável “Layout do cartao em prod” é igual à informação da Tabela 2.1.

$$WIP(Produto\ em\ producao) == WIP(Produto\ em\ producao) + (Tamanho\ de\ Lote * Layout\ do\ cartao\ em\ prod(Produto\ em\ producao)) \quad (13)$$

A variável “WIP(Produto)” será atualizada novamente no final do modelo, junto à saída onde é feita a diferença. Mais à frente será abordada novamente esta variável.

O primeiro processo deste modelo de simulação é o Processo Contar. Recorreu-se a um módulo *Process*, com a configuração *Seize-Delay-Release*, o que significa que se apodera do recurso “conta folhas”, espera o tempo definido nas cadências da INCM S.A. e depois liberta. A variável “cadencia” desde o processo contar até ao processo Cortar tem de estar preparada para ser multiplicada pelo “tamanho de lote”, em folhas, que é o atributo definido anteriormente na secção 2.

Para tal utilizou-se a informação sobre o *layout* de cada folha por produto tal como indicado na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Unidades utilizadas em cada processo

Processo	P1	P2	P3	P4
Contar (Folhas)	24 Un/FI	24 Un/FI	20 Un/FI	8 Un/FI
CQ Folhas (Folhas)	24 Un/FI	24 Un/FI	20 Un/FI	8 Un/FI
Juntar (Folhas)	24 Un/FI	24 Un/FI	20 Un/FI	8 Un/FI
Laminar (Folhas)	24 Un/FI	24 Un/FI	20 Un/FI	8 Un/FI
Cortar (Folhas)	24 Un/FI	24 Un/FI	20 Un/FI	-
CQ (Un)	1	1	1	-
Chip (Un)	1	1	1	-

Utilizou-se depois as cadências já definidas no capítulo 2.2 e dividiu-se pelo *layout* da tabela 4.4 anterior para os produtos assinalados a sombreado o mesmo está representado na tabela 4.5

Tabela 4.5 – Cadência adaptada ao *layout* de cada produto

Processo	P1	P2	P3	P4
Contar (Folhas)	83,3	83,3	83,3	291,7
CQ Folhas (Folhas)	83,3	83,3	83,3	83,3
Juntar (Folhas)	150	150	150	100
Laminar (Folhas)	93,3	160,0	112,0	250,0
Cortar (Folhas)	229,2	250,0	100,0	-
CQ (Cartões)	5400	5400	5400	-
Chip (Cartões)	1000	-	-	-

Convertendo a tabela 4.5 anterior para **segundos**, resulta na tabela 4.6 seguinte:

Tabela 4.6 – Conversão da Tabela 4.5 para segundos.

Processo	P1	P2	P3	P4
Contar (Folhas)	43,20	43,20	43,20	12,34
CQ Folhas (Folhas)	43,20	43,20	43,20	43,20
Juntar (Folhas)	24,00	24,00	24,00	36,00
Laminar (Folhas)	38,57	22,50	32,14	14,40
Cortar (Folhas)	15,71	14,40	36,00	-
CQ (Cartões)	0,67	0,67	0,67	-
Chip (Cartões)	3,60	-	-	-

Esta será a tabela usada na variável cadência, utilizada maioritariamente em quase todas as secções do resto do modelo.

Por uma questão de simplificação da modelagem, no processo Contar será considerado o lote igual ao processo anterior, sendo omitidos os pequenos lotes de 50 folhas. Todos os movimentos de mover as pequenas quantidade de 50 folhas estão contempladas já na cadência definida para esse processo, assim como para processos seguintes.

Secção 4

Continuando a descrição do modelo, a entidade sai do processo Contar Folhas e é transportada para a secção 4 de processos intermédios, segundo o tempo recorrendo à estatística definida anteriormente de TRIA(5, 22.7, 30) Minutos. Na Figura A.VI. 5 encontra-se representada em detalhe esta secção.

Ao chegar a esta secção, é atribuído o tempo atual de simulação ao atributo “Chegada JuntarSoldar” através do módulo *Assign*. Posteriormente, a entidade prossegue para um módulo Decide onde encaminha unicamente o produto P4 para um submodelo que virtualiza o lote recebido em lotes de 300 Folhas. Este é o sistema usado pela produção, o qual, quando não existe produto o P1, P2 e P3 nos processos Controlo de qualidade de folhas, Juntar Folhas e Laminagem, inicia a produção do produto P4. Pode observar-se na figura A.VI. 6 o submodelo modelado para virtualizar um lote do produto P4, que chega em quantidades de 10.000 Folhas, dentro de caixas contendo 300 Folhas. A operação consiste em verificar se a divisão entre o tamanho de lote da entidade e as 300 caixas devolve um número fracionário. Se for fracionário, significa que uma das caixas terá menos de 300 Folhas, seguindo para um módulo *Assign* depois do módulo Decide, para fazer a atribuição dessa quantidade inferior a 300 Folhas. Todas as outras caixas saem do módulo *Separate* chamado “Separa em caixas de 300FI”, sendo atribuída a quantidade de 300 Folhas, saindo do subprocesso. Já fora do subprocesso, todo o produto P4 é bloqueado à produção até esta estar toda livre, sendo este produto P4 de menor prioridade nesta linha de produção. Para isso usa-se um módulo *Hold* que verifica se todas as filas de espera até à Laminagem estão livres:

$$(NQ(Espera\ por\ laminagem\ livre.Queue) == 0) \&\& (Lam\ Liberta\ lote == 0) \&\& (NQ(Controlo\ de\ Qualidade\ Folhas.Queue) == 0) \&\& (NQ(Processo\ de\ Soldar.Queue) == 0) \quad (14)$$

Os processos de Controlo de Qualidade de Folhas e Soldar Folhas processam todas as entidades segundo a cadência estabelecida anteriormente, multiplicada pelo tamanho de lote (Folhas).

Depois dos dois processos anteriores é atribuído o tempo atual de simulação ao atributo “Chegada Laminagem” através do módulo *Assign*.

Ao chegar ao processo de laminagem terá de ser avaliada a característica do material e também a característica do material do último lote produzido. Para isso as entidades chegam ao módulo *Hold*, que espera até que a seguinte igualdade seja verdadeira:

“Lam Liberta lote” é uma variável que é colocada a zero quando passa no módulo *Assign* “Entrada na Laminagem” e colocada com o valor 1 quando a entidade sai do processo de laminagem. É também guardado numa variável chamada “Lam_Utl_Caract_Tec_Produzida”, à saída do processo de laminagem, o valor da característica técnica do material produzido. Isto garante que o produto seguinte a produzir vai ter de esperar no módulo “Espera Setup Lam”, o tempo especificado na Tabela 2.3 mencionada anteriormente.

A produção desliga o equipamento de laminagem no final do segundo turno, só sendo ligado novamente no início do primeiro turno, o que significa que a temperatura terá arrefecido completamente possibilitando a produção do produto P4 com um tempo de *Setup* quase nulo, se o produto anterior foi, por exemplo P1. Para ultrapassar este constrangimento na modelação criou-se uma entidade distinta, com chegadas diárias, por forma a indicar que a variável “Lam_Utl_Caract_Tec_Produzida” seja igual a 3. Pode visualizar-se na figura A.VI. 7. São ainda recolhidas após a saída do processo de laminagem o tempo total de laminagem através da variável “Tempo de laminagem” e à saída do *Setup* o tempo de gasto em *Setup* através da variável “Regista tempo de setup”. É ainda registado o tempo acumulado de tempo de *Setup* através de um módulo *Assign* “Tempo de Setup Acumulado”, onde se atualiza a variável “Setup Laminagem. Tempo total(Produto em producao)” com a seguinte expressão:

$$\text{Setup Laminagem. Tempo total (Produto em producao)} + \text{TNOW-Chegada Setup Lam} \quad (16)$$

Após a laminagem o produto P4 sai do sistema através do módulo *Decide* “P4?” e antes de isso acontecer, é ainda registada a quantidade laminada de P4 e atualizada a variável *WIP* para o produto P4.

Todos os outros produtos seguem para o processo de corte, onde antes é efetuado o *Setup* com o tempo de 0,25 h.

Secção 5

Após o processo de corte, as entidades são transportadas para a secção 5 com um tempo de transporte de $6.5 + 9 * \text{BETA}(0.775, 0.928)$. É importante referir que por questões de simplificação na modelação, a separação do produto P1, P2 e P3 por caixas de 450Un ou 500Un foi efetuado após o transporte para evitar criar módulos inúteis. Seria necessário criar um subprocesso complexo para separar por caixas e imediatamente a seguir ser usado um módulo *Batch* para agregar as mesmas caixas para serem transportadas e por final separar estas com um novo módulo *Separate*. Para simplificar optou-se só por um único subprocesso chamado “Separa em Caixas de 500 Un ou 450 Un”, onde os produtos P1 e P3 vão ser separados em caixas de 450Un e o produto P2 será em caixas de 500Un. Este subprocesso é igual ao subprocesso usado anteriormente com o produto P4 para dividir o lote em caixas de 300 Folhas.

Ao sair deste subprocesso, agora com o número de entidades em sistema muito superior, os produtos P1, P2 e P3 são separados por filas de espera (PX Espera para CQ) para serem escolhidos na operação manual de controlo de qualidade de Cartões. Esta secção 5 está representada na figura A.VI. 8. Este é um processo que trabalha só num turno, pelo que para modelar este processo no Arena, optou-se por definir a capacidade desde recurso segundo um *Schedule*, com o valor de 1 das 0 Horas até as 7,5 hora e de 0 das 7,5 horas até as 15 horas, tal como está representado na Figura 4.4.

Relativamente ao processo de planeamento e ordenamento da produção o mesmo é efetuado na secção 8, que irá ser abordado mais à frente, contudo da fila de espera está continuamente a avaliar que a variável “Qnt a libertar para CQ” seja positiva:

$$Qnt\ a\ libertar\ para\ CQ\ (Produto\ em\ producao) > 0 \quad (17)$$

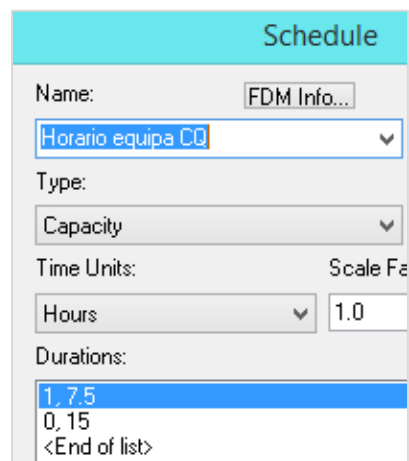


Figura 4.4 - Arena: Schedule do recurso de Controlo de qualidade.

Esta variável define a quantidade por produto que deverá ser liberta para produção. Ao serem libertas as entidades, as mesmas passam por um módulo *Assign* que faz decrescer a variável “Qnt a libertar para CQ” consoante a quantidade por caixa do produto:

$$Qnt\ a\ libertar\ para\ CQ(Produto\ em\ producao) - Quantidade\ por\ Caixa \quad (18)$$

O processo Controlo de Qualidade tem a cadência de produção definida na Tabela 4.21. Neste processo de identificação de defeitos em cada cartão, é necessária bastante experiência para se conseguir identificar defeitos existentes, principalmente defeitos provenientes do processo de Corte, Laminagem, Impressão e também as impurezas que se possam alojar durante as movimentações. Tal como tratado anteriormente, os refugos para os processos Laminagem e Corte situam-se nos 4% e 2% respetivamente. Os mesmos estão modelados no bloco *Assign* “Refugo de Processos Intermedios” onde o atributo de cada entidade, Quantidade por Caixa, sofre uma redução de 6%.

Seguidamente, os produtos escolhidos são transportados para a secção seguinte, tipicamente no final do turno. Não obstante a esta regra, existe a seguinte exceção:

- Se o processo *Chip*, exclusivo para o produto P1, tiver menos de 18.000 Un, que são aproximadamente dois turnos de produção, transporta-se o que houver disponível.

O mesmo é possível de modelar através de um módulo *Hold* chamado “Define lote a transportar” que verifica se a seguinte condição é verdadeira:

$$(CQ \text{ Fim de Turno} == 1) \text{ || } ((NC(\text{Counter Set Entram Proc Final P1}) - NC(\text{Counter Set Sai Proc Final P1}) < 18000) \ \&\& \ SAQUE(\text{Define lote a transportar.Queue, NSYM(P001)}) > 0) \quad (19)$$

A variável “CQ Fim de Turno” é atualizada através de uma entidade separada, com chegadas diárias, por forma a indicar que a variável “CQ Fim de Turno” seja igual a 1 no final do turno. Pode visualizar-se na figura A.VI. 8, na zona de modelação de suporte. A mesma é reiniciada ao valor zero no módulo *Assign* “Quantidade de final de turno em transporte” após o transporte.

Para se avaliar dinamicamente a quantidade de produto em vias de processo no processo *Chip* (Figura A.VI. 9), adicionaram-se contadores no início e no final do processo por forma a obter a diferença “NC(Counter Set Entram Proc Final P1) - NC(Counter Set Sai Proc Final P1)”.

Após serem libertas as caixas a transportar, as mesmas são juntas através do módulo *Batch* “Criar lote para transportar” que cria um lote com o que existe na fila de espera, no momento da libertação de material:

$$MX(1, NQ(\text{Define lote a transportar.Queue})) \quad (20)$$

O lote é então transportado segundo o tempo de transporte $5.5 + \text{LOGN}(2.16, 1.79)$.

Secção 7

Na secção 7 é apresentado o processo da implantação do *Chip*, que só é efetuado para o produto P1. Os produtos são separados do lote criado anteriormente, no módulo “Separa”, sendo depois encaminhadas para o módulo Decide “Produto Tem Chip?” que verifica se o produto tem *Chip*. Aqui os produtos P2 e P3 seguem para a secção seguinte, enquanto o produto P1 é encaminhado para o processo de implantação de *Chip*. É efetuada a recolha do tempo atual ao atributo “Chegada Processo Chip” e entra imediatamente num módulo Decide que verifica se o *Setup* diário ao equipamento foi efetuado. Este equipamento necessita, por regra, de ser afinado uma vez por dia, pois mesmo se houver falta de material para produzir e tiver de produzir horas mais tarde, não há necessidade de repetir o *Setup* se for no mesmo dia. Para tal é verificado no bloco Decide o seguinte:

$$(Setup\ Chip == 1) \ // (NQ(Realiza\ Setup\ Chip.Queue) > 0) \quad (21)$$

Sendo a variável “Setup Chip” atualizada externamente, como foi feito anteriormente noutros casos, avalia se existe alguma entidade na fila de espera do bloco *Hold* “Realiza Setup Chip”. O bloco *Hold*, bloqueia a entidade até o *Setup* estar completo, tendo de se verificar que o tempo de relógio do Arena atual é superior à data de chegada da secção 6 acrescido do tempo de *Setup* que é de 0,25 h (0,0166 dias):

$$TNOW >= (Chegada\ Processo\ Chip + 0.0166) \quad (22)$$

O bloco *Hold* “Aguarda Finalizacao de Setup” bloqueia as entidades que passem no bloco *Decide*, aguardando que o *Setup* no bloco *Hold* “Realiza Setup Chip” esteja completo. Analogamente aos processos anteriores, o produto P1 é processado no chip, e é reduzido a quantidade por caixa devido ao refugo de 2% no módulo *Assign* “Refugo de Processo Chip”.

Por fim é feita a recolha da quantidade de cartões poliméricos que saíram do sistema através do módulo *Record* “Sai Proc Final”. O mesmo faz a separação entre os três produtos.

A secção 7 está representada na figura A.VI. 11, da zona de modelação das estatísticas finais. É recolhido o *Lead Time*, no módulo *Record* “Regista Lead Time”, que devolve o intervalo de tempo do atributo “Chegada Contar” até ao tempo atual. O *Lead Time* é registado para cada produto.

É também incrementado o *stock* para cada produto, armazenado na variável “Inventario”, no módulo *Assign* “Update ao inventario”:

$$Inventario (Produto\ em\ producao) + Quantidade\ por\ Caixa \quad (23)$$

É também definido o *WIP* neste módulo *Assign* através da atualização da variável *WIP*:

$$WIP(Produto\ em\ producao) - Quantidade\ por\ Caixa \quad (24)$$

Por último, as primeiras entidades de cada produto a chegarem ao final da simulação, grava a data do acontecimento. Esta recolha de dados será utilizada durante a validação do modelo. É gravada na variável “Inicio de entrega_Data (Produto em produção)”, e monitorizada pela estatística “Data de inicio de entrega PX” durante todo o tempo de simulação.

Secção 8

Na última secção, a secção 8, representada na figura A.VI. 12, é efetuado o processo interno de gestão da produção, sendo gerido atualmente pelas chefias da produção consoante os níveis de *stock*. Será descrito abaixo o processo e a forma como foi modelado para representar da melhor forma o sistema real.

A modelagem inicia-se por três módulos *Create* que fazem chegar diariamente, de 15 em 15 horas, uma entidade a este subsistema, seguido de três módulos *Assign* que designam o atributo “Produto” a cada entidade, identificando separadamente os produtos P1, P2 e P3.

Na modelação optou-se por se iniciar a virtualização das entregas a cliente interno a partir do momento em que a primeira entidade de cada produto chega ao final do modelo, ou seja, ao final da secção 7. Este é o momento em que todos os recursos do sistema emitiram valores estáveis e que efetivamente o modelo de simulação começa a realizar a virtualização do fabrico, assemelhando o conceito ao sistema real. É com este desfasamento de dias desde a data de início de simulação que se irá suportar a validação do sistema, tratado no capítulo seguinte. Para tal foi criado um módulo Decide “Ja chegou a primeira entidade ao final?” que verifica se a variável “Inicia entrega a cliente(produto)” é igual a 1. Enquanto não for 1 as entidades por produto saem fora do sistema, permanecendo inalterado o stock.

Se pelo contrário a variável foi igual a 1, as entidades retiram do *stock* a quantidade diária a entregar ao cliente:

$$\text{Inventario (Produto)} - (\text{Pedido Cliente Diario (Produto)}) \quad (25)$$

Pode-se colocar a hipótese de não haver stock disponível para entrega. Neste caso, através do módulo Decide “Existe em Stock?”, as entidades são conduzidas a registar a quantidade perdida, acumulando na variável “Pedidos Perdidos_Quantidades”.

O conjunto de módulos seguinte efetua o planeamento e priorização efetuada na INCM S.A. para o processo de Controlo de Qualidade de cartões que segue os seguintes pressupostos que foram validados com a produção:

- São geradas ordens diárias de produção com a diferença: “*Stock* de segurança - stock do produto”
- Se não houver quantidade disponível para cobrir a diferença mencionada anteriormente, liberta o que houver disponível.
- Quantidade total em espera e processo do produto P1 para ser produzida no processo Chip tem de ser pelo menos de 18.000 Un, referentes aproximadamente a dois turnos de produção.

De modo a obter um modelo similar ao sistema real, criou-se três expressões através do menu *Expression* com o nome “*Raz. Inv. SS PX*” de modo a calcular em todos os instantes de simulação a razão entre o stock atual e o *stock* de segurança. Os valores do *stock* de segurança usados foram os mencionados na Tabela 2.5. Esta razão indica que sempre que o valor for inferior a 1, o stock atual é inferior ao *stock* de segurança.

As entidades são avaliadas no módulo Decide “Raz Inv. SS menor que 1? Fila de CQ Zero?” que verifica se a seguinte expressão é válida:

$$((\text{EVAL}(\text{"Raz. Inv. SS P" + Str(Produto) }) < 1) \ \&\& \ (\text{EVAL}(\text{" SAQUE(Controlo de Qualidade.Queue,NSYM(P00"+Str(Produto)+")"})) == 0) \quad (26)$$

A expressão foi simplificada para facilitar a leitura, contudo o seu objetivo é verificar se a razão entre o *stock* e o *stock* de segurança é inferior a 1 garantindo que é também verdade que a fila de espera do processo Controlo de Qualidade não contém uma ordem de produção já em espera. Como já foi dito anteriormente, isto é validado diariamente. Se for falso, a entidade sai fora do sistema, se for verdadeiro verifica se o produto é P1 para posteriormente validar se a quantidade total em espera e o processo do produto P1 é de, pelo menos, 18.000 Un. Se for menor que 18.000, segue para o módulo Decide “Pedido maior que disponível?” onde se vai validar se a quantidade necessária a produzir é superior à quantidade na fila de espera do módulo *Hold* “P1 Espera para CQ”, referido na secção 5. A quantidade a produzir é definida como o valor máximo referente à diferença atual entre o “*Stock* de segurança” - “stock do produto” e a quantidade máxima que se consegue produzir neste processo num dia. Tal é definido pela expressão abaixo:

$$\text{MX}(\ (7.5*3600) / \text{Cadencia}(\ 7, \text{Produto}), \text{Stock de segurança}(\ \text{Produto}) - \text{Inventario}(\ \text{Produto})) \quad (27)$$

Articulando com o módulo Decide “Pedido maior que disponível?”, verifica-se se é verdadeira ou falsa a seguinte comparação lógica:

$$\text{MX}(\ (7.5*3600) / \text{Cadencia}(\ 7, \text{Produto}), \text{Stock de segurança}(\ \text{Produto}) - \text{Inventario}(\ \text{Produto})) > \text{EVAL}(\text{"SAQUE(P"+Str(Produto)+" Espera para CQ.Queue,NSYM(Quantidade por Caixa))"})) \quad (28)$$

⇒ Se for verdadeira, as entidades seguem para o módulo *Assign* “Define Qnt a libertar em CQ Se Pedido maior que disponível” onde é liberta a quantidade disponível na fila de espera:

$$\text{EVAL}(\text{"SAQUE(P"+Str(Produto)+" Espera para CQ.Queue,NSYM(Quantidade por Caixa))"})) \quad (29)$$

⇒ Se for falsa Define as entidades seguem para o módulo *Assign* “Qnt a libertar em CQ” onde é liberta a quantidade referente à Equação (27)

Após estas validações lógicas as entidades saem do modelo de simulação e todo este processo repete-se diariamente.

Foram ainda modeladas as avarias do equipamento *Chip* baseadas no histórico, tratado no capítulo 0. Foi então adaptado através do menu *StateSet*, a disponibilidade do recurso “Equipa Chip” consoante o aparecimento de avarias através do menu *Failures*, evidenciado nas figuras 4.5 e 4.6.

StateSet - Advanced Process		
	Name	States
1 ▶	Estado_CHIP	4 rows
Double-click here to add a new row.		

States		
	State Name	Auto State or Failure
1	Ocupado	BUSY
2	Avaria	Avaria chip
3	Livre ou Bloqueado	IDLE
4	Inativo	INACTIVE

Figura 4.5 - Arena: Detalhe do painel *StateSet*

Failure - Advanced Process							
	Name	Type	Up Time	Up Time Units	Down Time	Down Time Units	Uptime in this State only
1 ▶	Avaria chip	Time	0.5 + LOGN(3.66, 5.6)	Days	0.01 + LOGN(1.71, 1.49)	Hours	Ocupado

Figura 4.6 - Arena: Detalhe do painel *Failure*

Foram criadas estatísticas extra relativas á performance do modelo de simulação. As mesmas estão listadas na figura A.VI. 13. Nestas incluem-se a monitorização dos níveis de *stock*, o tempo total de laminação, a quantidade de *WIP* e a data de início de entrega ao cliente para cada produto.

Tentou ainda criar-se a estatística de frequência de falhas mas após diversas tentativas, a mesma nunca chegou a ser reportada no documento final gerado pelo *software* Arena devido a algum erro intrínseco ao *software*.

4.2 Verificação e validação do modelo de simulação

Neste capítulo serão descritos os passos efetuados para verificar e validar o sistema de simulação.

Como primeiro passo todo o modelo foi revisto ao nível de possíveis erros devolvidos pelo próprio simulador e também erros ao nível má interpretação dos dados de entrada pelo *software*. Os resultados foram positivos, havendo robustez em ao nível da estabilidade do *software* face ao modelo desenvolvido.

Dado que este modelo de simulação recorre a dados de entrada que representam maioritariamente o histórico tal como aconteceu na realidade, não se espera que haja uma elevada variabilidade de replicação para replicação. Havendo no entanto variação relativamente aos dados que afetam a disponibilidade do processo de *Chip* e aos tempos de transporte entre áreas, optou-se por contemplar esta variabilidade realizando cinco replicações, sendo este um valor razoável para o sistema em que se integra.

A validação do modelo de simulação é feita usualmente com um período de aquecimento conhecido como *Warm-Up*, o que faz o simulador correr durante o tempo necessário até as variáveis estabilizarem de modo a garantir que os valores de output sejam realistas.

Neste sistema, usou-se dados exatos diretamente do histórico do sistema real, o que significa realizar um *Warm-Up* convencional neste sistema não iria devolver dados corretos, pois os dados são carregados diretamente de um ficheiro Excel e não a partir de uma estatística de chegadas vindo de um módulo *Create* que é gerido pelo *software* Arena. Sendo assim, como mencionado no capítulo anterior, realizou-se a recolha do sistema Arena do dia da chegada da primeira entidade por produto ao final do sistema, identificada como “Início de entrega_Data(Produto)”, que vai ser usada para calcular a proporção da quantidade enviada ao cliente no primeiro mês de simulação. Na tabela 4.7 é apresentado um resumo.

Nº de dias do 1º mês de simulação: 23

Tabela 4.7 - Cálculos relativos à quantidade real enviada ao cliente

Linha	Descrição	P1	P2	P3
A = (Tabela 2.5)	Quantidade a ser entregue ao cliente no 1º mês (Un)	227009	72400	11252
B	Dia da chegada da 1ª entidade ao final do modelo via <i>Arena</i> (Figura 4.7)	5	6	12
C=(23-B)	Nº de dias do 1º mês (Dias)	18	17	11
D=(C*A/23)	Quantidade entregue ao cliente no 1º mês (Un)	177659	53513	5381
E=(A - D)	Diferença (Un)	49350	18887	5871

Substituindo as quantidades do primeiro mês da Tabela 2.5, para os três produtos, pela linha “D” da Tabela 4.7, resulta nas somas da quantidade real entregue ao cliente de forma a comparar com o modelo de simulação, representado na tabela 4.8.

Tabela 4.8 - *Output* real depois de ser ajustado

Mês	P1 (Un)	P2 (Un)	P3 (Un)
Out/14	177659	53513	5381
Nov/14	170587	54219	8066
Dez/14	185522	56740	11577
Soma	533768	164472	25024

Na Tabela 4.9 é comparado o *Output* do modelo de simulação com o *Output* real depois de ser ajustado ao número de dias que a primeira entidade de cada produto chegou ao final do modelo de simulação:

Tabela 4.9 - *Output* do modelo de simulação com o *Output* real depois de ser ajustado

	<i>Output</i> do modelo de simulação (Un)	<i>Output</i> real ajustado (Un)	Diferença
P1	530886	533768	0,5%
P2	177190	164472	-7,2%
P3	37600	25024	-33,4%

Pela Tabela 4.9 observam-se as diferenças entre o sistema simulado e o sistema real, sendo consideravelmente baixo o desvio para os produtos P1 e P2. Sendo este um modelo de simulação complexo que tem capacidade adaptativa multiproduto, pode-se considerar o desvio do produto P3 não significativo.

Abaixo, nas figuras Figura 4.7 e Figura 4.8, está representada uma fração do relatório gerado pelo Arena que como dito anteriormente, teve de ser adaptado com estatísticas customizadas pois cada entidade tem uma quantidade de *WIP*, variável, que está guardada em cada atributo por entidade. Esta foi a solução para realizar a verificação e validação do modelo.

O *Lead Time* do processo foi considerado realista após reunião com elementos da INCM S.A., responsáveis do sistema real. Pode-se também observar na Figura 4.7 o valor máximo da data de início de entrega de cada produto, valor este que foi usado na Tabela 4.7. Na figura 4.7 pode-se ainda observar os tempos totais do processo de laminagem e também as quantidades de produtos em vias de fabrico (*WIP* total).

INCM						
Replications: 5		Time Units: Days				
User Specified						
Time Persistent						
Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Data de inicio de entrega P1	4.6867	0,00	4.6856	4.6872	1.0000	5.00
Data de inicio de entrega P2	5.5251	0,00	5.5251	5.5252	1.0000	6.00
Data de inicio de entrega P3	9.3137	0,35	9.1876	9.8172	1.0000	12.00
Inventario P1	144147.93	429,18	143659.98	144635.07	113315.27	171395.
Inventario P2	101229.24	250,37	101122.14	101588.89	84869.67	123263.
Inventario P3	35022.99	531,11	34257.70	35214.63	24719.17	48439.
Tempo total de Laminagem do produto P1	0.8129	0,00	0.8129	0.8131	0.00	1.70
Tempo total de Laminagem do produto P2	0.5996	0,00	0.5995	0.5997	0.00	0.89
Tempo total de Laminagem do produto P3	0.5914	0,02	0.5794	0.6093	0.00	1.58
Tempo total de Laminagem do produto P4	0.4856	0,00	0.4814	0.4886	0.00	1.51
WIP Total P1	131403.34	429,18	130916.21	131891.30	0.00	299596.
WIP Total P2	241451.47	250,37	241091.82	241558.56	0.00	355890.
WIP Total P3	13374.05	742,01	13106.44	14443.23	0.00	41200.
WIP Total P4	56126.32	280,53	55856.56	56313.41	0.00	84440.

Figura 4.7 - Arena: Relatório. Parte 1

Na Figura 4.8 estão ainda representadas as estatísticas para o tempo de *Setup* do processo de Laminagem e também o tempo total acumulado de *Setup* para todo o tempo de simulação.

INCM						
Replications: 5		Time Units: Days				
User Specified						
Usage						
None	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Lead Time P1	10.5418	0,05	10.4993	10.6056	3.5358	18.97
Lead Time P2	22.4629	0,08	22.3452	22.4980	4.5080	41.50
Lead Time P3	9.5870	1,14	9.1763	11.2283	5.5088	13.51
Tempo de Setup Laminagem P1	0.00216522	0,00	0.00216522	0.00216522	0.00	0.005533
Tempo de Setup Laminagem P2	0.00250456	0,00	0.00232982	0.00262105	0.00	0.005533
Tempo de Setup Laminagem P3	0.00276667	0,00	0.00276667	0.00276667	0.00	0.005533
Tempo de Setup Laminagem P4	0.05555556	0,01	0.04782609	0.06111111	0.00	0.20
Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Tempo acumulado de setup de Lam P1	0.04980000	0,00	0.04980000	0.04980000		
Tempo acumulado de setup de Lam P2	0.04758667	0,00	0.04426667	0.04980000		
Tempo acumulado de setup de Lam P3	0.01106667	0,00	0.01106667	0.01106667		
Tempo acumulado de setup de Lam P4	2.2000	0,18	2.0000	2.4000		

Figura 4.8 - Arena: Relatório. Parte 2

Tendência do output

Considera-se que a tendência de *Output* foi uniforme sem grandes oscilações verificadas para os produtos P1 e P2. Para o produto P3 verifica-se uma não uniformidade no output que poderá ser devido à baixa quantidade de produto a entregar ao cliente durante os três meses de simulação.

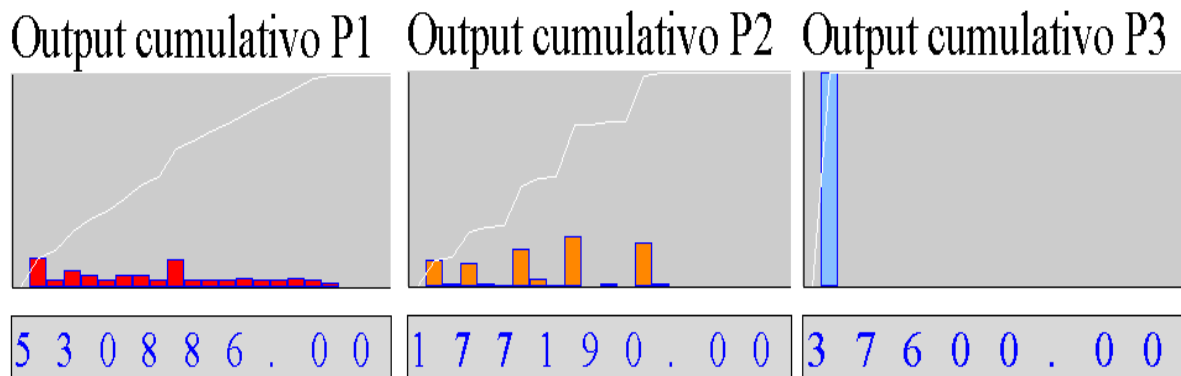


Figura 4.9 - Arena: Tendência do *Output* para os produtos P1, P2 e P3

Verifica-se nos gráficos da Figura 4.10, que os *stocks* foram uniformes com o tempo. Não existem dados históricos para realizar uma comparação mais robusta com o sistema real, no entanto após a validação com os *Key-Players* da INCM S.A., o mesmo é considerado realista face ao que foi entregue ao cliente durante os três meses em estudo. O modelo de simulação foi capaz de se adaptar às variações requisitadas pelo cliente, mantendo-se o *stock* de cada produto muito próximo dos níveis de *stock* de segurança pré-definidos.

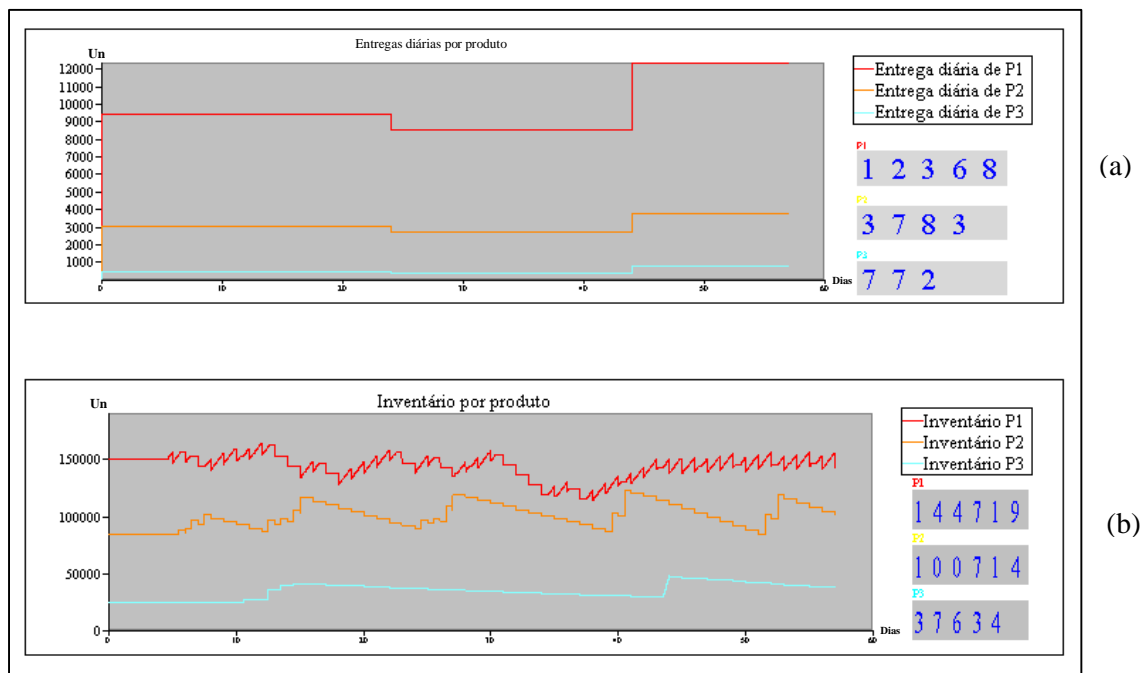


Figura 4.10 - Arena: a) Variação da quantidade diária entregue ao cliente. b) Nível de *stock*.

Foram ainda registados os parâmetros relativos às oscilações nos *stocks* para cada produto, que pertencem à mesma fonte de dados que gerou o gráfico de nível de *stock*, representado na Figura 4.10. Na tabela 4.10 estão as estatísticas resultantes.

Tabela 4.10- Parâmetros dos *stocks* do modelo de simulação

Produto	Média (Un)	Máximo (Un)	Mínimo (Un)
P1	144148	171395	113315
P2	101229	123264	84870
P3	35023	48439	24719

É possível provar que não houve quebras no fornecimento em cada um dos três produtos, tal como aconteceu no sistema real e validado com os *Key-Players* da INCM S.A..

No capítulo seguinte serão caracterizadas as oportunidades de melhoria baseadas no modelo construído.

4.3 Caracterização das oportunidades de melhoria

Após a verificação e validação do modelo de simulação é razoável usá-lo para validar melhorias que se possam efetuar no sistema. Mesmo não sendo uma forma tão eficaz como por exemplo aplicar na realidade e esperar pelos resultados da organização, é uma forma mais económica e segura de testar os efeitos de novas ou melhoradas ferramentas da produção.

Tal encontrado no capítulo 2.4, deve haver um foco na redução das quantidades de *WIP*, *Lead Time* e melhoria do sistema de gestão do planeamento da produção, neste intervalo de processos entre o processo de Contar até ao processo de implantação de *Chip*.

Através do VSM apresentado no capítulo 2.3, foi possível detetar fontes de desperdício que afetam a performance do sistema. Esta avaliação do sistema pode ser complementada com a ajuda do modelo de simulação construído, onde dados específicos, ou mesmo uma tendência, que demonstrem onde é que o sistema real necessita de atuação. Por vezes não existe recursos para recolher informação dos sistemas reais, pelo que o simulador é uma preciosa ajuda. Autores como Carlson & Yao (1992) usaram a simulação para testar vários sistemas de simulação sob uma produção *Lean*. Outros autores como Welgama & Mills (1995) ou Galbraith & Standridge (1994) demonstram como desde há muitos anos a simulação é usada para testar e um modelo real através da simulação.

Através dos resultados do simulador, evidenciados no capítulo anterior, pode-se reforçar as oportunidades que foram identificadas após implementar o VSM no capítulo 2.4.

Ao analisar a Tabela 4.11 respeitante ao tempo gasto em filas de espera pode-se constatar que os tempos de espera médios nas filas de espera para o processo de Controlo de qualidade (incluído os três produtos), são consideravelmente altos em relação aos outros processos. Tal como mencionado anteriormente, o produto P4 não será alvo de um estudo aprofundado, pelo que o tempo de espera na Laminagem não será contemplado.

Tabela 4.11 – Tempo dispendido em filas de espera para cada processo (Dias)

Processo	Média (Dias)	Tempo máximo (Dias)
Contar	1,02	3,21
CQ de folhas	0,49	1,43
Juntar / Soldar	0,04	0,64
Laminagem: P1;P2;P3	0,15	1,23
Corta	0,002	0,086
Espera para CQ de cartões: P1	3,23	11,29
Espera para CQ de cartões: P2	16,30	33,13
Espera para CQ de cartões: P3	2,20	4,18
Implantação de <i>Chip</i>	0,77	2,22

Visto ser o processo Controlo de Qualidade de Cartões o processo que gera maiores tempos de espera e possivelmente maior desperdício, os esforços serão direcionados para a gestão da produção mesmo.

Assim serão listadas abaixo as melhorias por categoria de metodologia, assim como a integração com a oportunidade identificada no capítulo 2.4:

TOC:

- Implementação de um sistema de gestão da Produção baseado na TOC DBR-MTA.
 1. *Reduzir a quantidade de WIP*
 2. *Reduzir o Lead Time*
 3. *Melhorar a gestão da produção do processo Controlo da Qualidade de cartões*

Lean:

- Redução dos tamanhos de lotes de *Input*
 1. *Reduzir a quantidade de WIP*
 2. *Reduzir o Lead Time*
- SLP – Melhoria de *layout*
 4. *Estudar a melhor configuração da nova área de fabrico para os produtos: P1; P2; Família de produto P3; P4; Família de produto P5. Garantir que contribui para a redução dos desperdícios na produção.*

Após a caracterização das oportunidades de melhoria, será no capítulo seguinte, implementa a TOC, com base no modelo de simulação.

4.4 Implementação da TOC no sistema de gestão da produção

Tal como definido no início do capítulo 4 irá ser proposto um modelo de gestão da produção direcionado para sistemas MTS sob a TOC, o que adaptando, segue em linha com um recente conceito de gestão da produção chamado MTA (Cox & Schleier, 2010).

Para implementar um sistema DBR-MTA será necessário definir o Tambor atual da produção. A através do que foi evidenciado no capítulo anterior e no capítulo 2.4, todos os indicadores apontam para o Tambor seja o processo Controlo de Qualidade de Cartões, sendo este que define o “passo” de toda a produção.

Para implementar um sistema DBR-MTA usou-se como base o modelo de simulação construído no capítulo 4.1 e alterou-se o mesmo por forma a cumprir os princípios específicos DBR-MTA tal como explicado no capítulo 3.2.

Relativamente aos níveis de *stocks*-alvo, serão usados os já definidos pela organização e mencionados na Tabela 2.6. Implementaram-se as seguintes modificações ao modelo de simulação anterior, a partir do *software* Arena:

Seguindo o modelo TOC – DBR proposto na figura A.VII. 1, a modificação começou no módulo Decide “Separa por produto para sincronizar” onde foram separados os produtos para sincronizar posteriormente num módulo *Match*.

Foi criada uma expressão através do painel *Expression* com o Nome “BUFFER MTS” que realiza o seguinte cálculo por produto:

$$MX(0, (Stock\ de\ seguranca\ (1) - Inventario\ (1)) / Stock\ de\ seguranca\ (1)) \quad (30)$$

Isto é, o valor máximo entre zero e a diferença entre o *stock* de segurança e o *stock* a dividir pelo *stock* de segurança. Esta fórmula retorna o nível de *Buffer* de 0 a 1 (ou de 0 a 100%), defendido por (Schrageheim et al., 2009).

Estando as três entidades sincronizadas, todas irão entrar no mesmo instante no módulo Decide que irá avaliar as seguintes fórmulas:

$$(Produto == 1) \ \&\& \ (BUFFER\ MTS\ (Produto) == MX(BUFFER\ MTS\ (1), BUFFER\ MTS\ (2), BUFFER\ MTS\ (3))) \quad (31)$$

$$(Produto == 2) \ \&\& \ (BUFFER\ MTS\ (Produto) == MX(BUFFER\ MTS\ (1), BUFFER\ MTS\ (2), BUFFER\ MTS\ (3))) \quad (32)$$

$$(Produto == 3) \ \&\& \ (BUFFER\ MTS\ (Produto) == MX(BUFFER\ MTS\ (1), BUFFER\ MTS\ (2), BUFFER\ MTS\ (3))) \quad (33)$$

Que, se for verdadeira, vai encaminhar o produto cujo *Buffer* seja mais elevado para a área de modelação de maior prioridade. Se for falsa, espera no módulo *Hold* “Bloqueia produtos sem prioridade”, até que seja feito o sinal que liberte a mesma.

O produto com mais prioridade segue para a fase seguinte para ser avaliado em que nível exato de *Buffer* se encaixa: entre 0 e 0,33; 0,33 e 0,66; 0,66 e 1.

Estes seguem para o primeiro módulo decide “Buffer MTS maior que 0.33 e menor que 0.66”, onde se for falso significa que está no intervalo de 0 e 0,33 e liberta das filas de espera do controlo de qualidade de cartões a seguinte quantidade:

$$(Stock\ de\ seguranca\ (Produto) - Inventario\ (Produto)) + (Pedido\ Cliente\ Diario\ (Produto)) \quad (34)$$

Se for maior que 0.33 e menor que 0.66, limita os pedidos para os produtos sem prioridade, reduzindo para uma quantidade igual à entrega diária ao cliente e aumenta define a quantidade para o produto com prioridade:

$$(Stock\ de\ seguranca\ (Produto) - Inventario\ (Produto)) + (Pedido\ Cliente\ Diario\ (Produto)) \quad (35)$$

Se for maior que 0,66, não são autorizadas ordens de produção para nenhum produto sem prioridade, havendo só ordens de produção para produtos com prioridade, com quantidade igual à anterior.

Em todas as atribuições de ordens de produção, foi adicionado um módulo *Signal* na posição seguinte para libertar os produtos sem prioridade bloqueados no módulo *Hold* “Bloqueia produtos sem prioridade”.

Para completar o sistema DBR, falta encontrar uma forma de gerir a segunda reserva antes do tambor (ou CCR), evitando que sejam fabricados produtos intermédios quando o Tambor ainda não está com necessidade de matéria-prima.

Para tal foi criado o seguinte conjunto de módulos, tal como está na Figura 4.11, que separa por produtos e bloqueiam as entidades nos blocos *Hold*, verificando as seguinte comparação lógica:

$$(Tamanho\ de\ Lote * ((Cadencia(1,1)/24 + Cadencia(2,1)/24 + Cadencia(3,1)/24 + Cadencia(4,1)/24 + Cadencia(6,1)/3600)) > SAQUE(P1\ Espera\ para\ CQ.Queue, NSYM(Quantidade\ por\ Caixa)) * (Cadencia(7,1)/3600) \quad (36)$$

Isto liberta lotes para produção se o *Lead Time* teórico, desde o processo Contar até ao processo de Controlo de Qualidade, for maior que o tempo de consumir o material em espera no processo Controlo de qualidade que são provenientes de uma ordem de produção antiga.

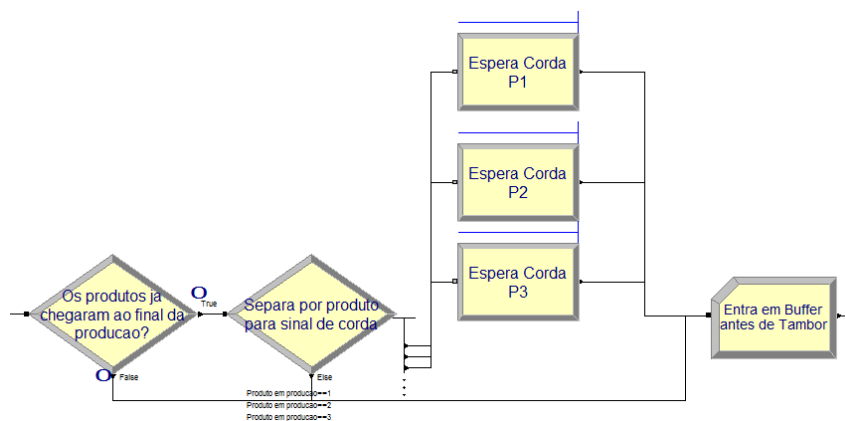


Figura 4.11 - Arena: Gestão do *Buffer* antes do CCR

Foi feita uma comparação entre o modelo original e o modelo baseado na TOC no *software* de suporte ao Arena chamado *Process analyzer*. Com este *software* é possível comparar modelos de simulação diferentes mas que partilhem variáveis e estatísticas idênticas. Com os principais indicadores já

mencionados no capítulo 4.2 foram comparados dois modelos de simulação e obtiveram-se os seguintes resultados:

Scenario Properties				Responses								
S	Name	Program File	Reps	Lead Time P1	Lead Time P2	Lead Time P3	Counter Set Sai Proc Final	Counter Set Sai Proc Final	Counter Set Sai Proc Final	Início de entrega_Data	Início de entrega_Data	Início de entrega_Data
1	TOC DBR	18 : INCM TOC.p	5	8.953	19.365	23.264	534943	171174	26264	4.000	5.000	10.000
2	Original	39 : INCM Validaçã	5	10.542	22.463	9.587	530306	177190	37600	5.000	6.000	11.200

WIP Total P1	WIP Total P2	WIP Total P3	WIP Total P4	Inventario P1	Inventario P2	Inventario P3
118925.738	137816.012	22864.447	29879.247	119734.112	84281.893	29128.767
131403.344	241451.466	13374.054	56126.321	114310.168	84869.667	24943.833

Tempo total de Laminagem do produto P1	Tempo total de Laminagem do produto P2	Tempo total de Laminagem do produto P3	Tempo acumulado de setup de Lam P1	Tempo acumulado de setup de Lam P2	Tempo acumulado de setup de Lam P3	Tempo de Setup Laminagem P1	Tempo de Setup Laminagem P2	Tempo de Setup Laminagem P3
0.770	0.415	0.644	0.054	0.033	0.006	0.0024	0.0017	0.0018
0.813	0.600	0.591	0.050	0.048	0.011	0.0022	0.0025	0.0028

Figura 4.12 – *Process Analyzer*: Resultados com o modelo original e o modelo baseado na TOC

Antes de comparar os resultados é razoável calcular o *Output* real do sistema visto que depende do número de dias até chegar a primeira entidade de cada produto ao final da produção no modelo de simulação. Para tal repete-se o mesmo exercício efetuado na Tabela 4.7. Na tabela 4.12 e tabela 4.13 são efetuados os cálculos:

Tabela 4.12 - Cálculos relativos à quantidade real enviada ao cliente com base no modelo TOC

Linha	Descrição	P1	P2	P3
A = (Tabela 2.5)	Quantidade a ser entregue ao cliente no 1º mês (Un)	227009	72400	11252
B	Dia da chegada da 1ª entidade ao final do modelo via <i>Arena</i> (Figura 4.7)	4	5	10
C=(23-B)	Nº de dias do 1º mês (Dias)	19	18	13
D=(C*A/23)	Quantidade entregue ao cliente no 1º mês (Un)	187529	56660	6359
E=(A – D)	Diferença (Un)	39480	15740	4893

Tabela 4.13 - *Output* real depois de ser ajustado com base no modelo TOC

Mês	P1 (Un)	P2 (Un)	P3 (Un)
Out/14	187529	56660	6359
Nov/14	170587	54219	8066
Dez/14	185522	56740	11577
Soma	543638	167619	26002

Os resultados estão apresentados na tabela 4.14 e têm origem a partir da Tabela 4.25. Foi colocada uma coluna de “Melhoria” onde é calculada a percentagem de melhoria, que dependendo do caso, se o resultado for positivo é porque houve melhoria assim como o inverso.

Tabela 4.14 - Comparação entre modelo original e o modelo baseado na TOC

Indicador	Modelo original	Modelo baseado na TOC (DBR-MTA)	Melhoria
<i>Output P1 (Un)</i>	533768	543638	1,8%
<i>Output P2 (Un)</i>	164472	167619	1,9%
<i>Output P3 (Un)</i>	25024	26002	3,8%
<i>Lead Time P1 (dias)</i>	10,5	9	16,7%
<i>Lead Time P2 (dias)</i>	22,4	19,4	15,5%
<i>Lead Time P3 (dias)</i>	9,6	23,3	-58,8%
WIP P1 (Un)	131403	118926	10,5%
WIP P2 (Un)	241451	137816	75,2%
WIP P3 (Un)	13374	22864	-41,5%
Média de stock de produto acabado P1 (Un)	114310	119734	4,5%
Média de stock de produto acabado P2 (Un)	84870	84282	-0,7%
Média de stock de produto acabado P3 (Un)	24944	29129	14,4%
Tempo total médio de laminagem P1(dias)	0,813	0,77	5,6%
Tempo total médio de laminagem P2(dias)	0,6	0,415	44,6%
Tempo total médio de laminagem P3(dias)	0,591	0,644	-8,2%
Tempo acumulado do Setup na laminagem P1(dias)	0,05	0,054	-7,4%
Tempo acumulado do Setup na laminagem P2(dias)	0,048	0,033	45,5%
Tempo acumulado do Setup na laminagem P3(dias)	0,011	0,006	83,3%
Tempo médio de Setup na laminagem P1(dias)	0,0022	0,0024	-8,3%
Tempo médio de Setup na laminagem P2(dias)	0,0025	0,0017	47,1%
Tempo médio de Setup na laminagem P3(dias)	0,0028	0,0018	55,6%
		Média	14,3%

Realizando uma leitura expedita da tabela acima, pode-se registrar que houve um incremento global dos indicadores na ordem dos 14,3%. De destaque surge a redução em 10% do WIP produto P1 assim como a redução do *Lead Time* de 10,5 dias para 9 dias (~17%) também no produto P1. Houve também um aumento da média do stock para o produto acabado P1, demonstrando melhor estabilidade e com um valor mais próximo do nível de *stock* de segurança definido para este produto P1. Para os restantes produtos, houve também melhorias no produto P2, no entanto para o produto P3 as melhorias não se fizeram sentir ao nível dos indicadores. Contudo o produto P3 nunca teve um nível de *stock* baixo, mantendo-se bastante estável ao longo do tempo tal como está representado no gráfico da Figura 4.13.

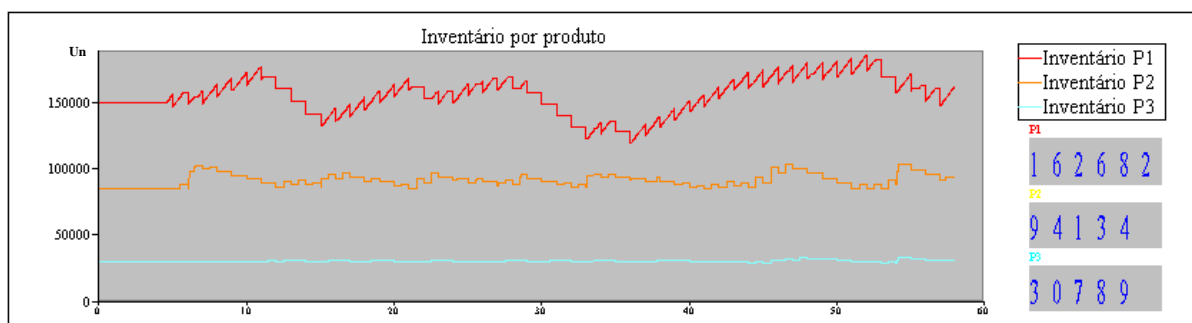


Figura 4.13 - Arena: Nível de *stock* para o modelo TOC-DBR.

O gráfico acima representado conjuntamente com a Tabela 4.15, provam que o nível de *stock* para o produto P1 no modelo de simulação com base na TOC-DBR teve um nível de *stock* mais próximo do *Stock* de segurança e valores de pico inferiores, o que prova a estabilidade da gestão da produção segundo a TOC. Na tabela 4.15 é feita uma comparação entre o modelo TOC-DBR e o Original.

Tabela 4.15 - Tabela comparativa dos níveis de *stock* entre o modelo TOC-DBR e o Original

Produto	TOC-DBR				Original			CV
	Média (Un)	Máximo (Un)	Mínimo (Un)	CV	Média (Un)	Máximo (Un)	Mínimo (Un)	CV
P1	156626	192533	119734	0,33	144148	171395	113315	0,28
P2	91645	105929	83460	0,17	101229	123264	84870	0,27
P3	30438	33104	28790	0,10	35023	48439	24719	0,48
			Média	0,20			Média	0,34

Foi ainda calculado o coeficiente de variação através da equação:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (37)$$

σ representa o desvio padrão e \bar{X} representa a média. Através do coeficiente de variação conclui-se que o modelo baseado na TOC-DBR tem também menor variabilidade para os restantes produtos que evidenciaram estabilidade ao longo dos três meses de simulação, sob um sistema de gestão da produção TOC-DBR.

Este capítulo demonstrou as melhorias alcançadas após a implementação de um sistema de gestão da produção baseado na TOC.

No capítulo seguinte será implementada uma ferramenta no âmbito *Lean* com o fim de testar a alteração do tamanho de lote de produção, com base no modelo de simulação.

4.5 Alteração do tamanho de lote

Como melhoria enquadrada na metodologia de produção *Lean*, irá ser verificado se o tamanho de lote dos produtos têm influência nos indicadores de performance e posteriormente, será importante verificar

a comparação da resposta dos indicadores, entre o modelo original e o TOC-DBR, num ambiente dinâmico.

A avaliação do tamanho de lote irá ter também um duplo resultado neste trabalho, visto que ao serem alterados os dados de *Input* para os dois modelos, será interessante fazer assim uma análise de sensibilidade.

De modo a realizar uma análise realista ao tamanho de lote, contemplando a necessidade da INCM S.A. reduzir os desperdícios, onde se enquadra WIP de todos os produtos, será necessário assumir um valor máximo e mínimo a serem testados. Partindo da tabela A.V. 1 que contém os dados de Input usados nos capítulos anteriores, observa-se empiricamente, que o valor mais frequente para o tamanho de lote (para os produtos P1, P2, e P3) é de 1000 Folhas. Seguindo um raciocínio de redução de WIP, 1000 Folhas deverá ser o valor máximo a admitir nesta abordagem.

Empiricamente escolheram-se, com um passo de 250 Folhas, os tamanhos de lote 750, 500 e 250 Folhas. Estas quantidades atingem cerca de 25% do lote máximo a correr no simulador, o que dará margem suficiente para testar a sensibilidade dos modelos de simulação Original e TOC-DBR.

De modo a recriar esta restrição, foram modificados os dois modelos de simulação, sendo colocado um submodelo imediatamente antes do processo de Contar, por forma a modelar todas as quantidades sem influenciar a data de chegada.

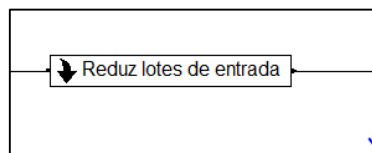


Figura 4.14 - Arena: Submodelo "Reduz lotes de entrada" criado antes do processo Contar

Foi então criado um conjunto de blocos, que simula um algoritmo muito idêntico ao já usado no modelo original, para modelar a transformação de lote de folhas para lotes de caixas de cartões.

O que foi criado antes do processo Contar está representado na Figura 4.15 e tem a função de dividir todos os lotes de entrada, consoante o valor definido na variável "Tamanho de lote variável", de modo a poder ser facilmente comparável no Software *Process Analyzer*. Se esta variável toma o valor de 500 e está a chegar ao sistema uma entidade com um tamanho de lote de 1000 Folhas, o submodelo irá duplicar as entidades, atribuindo um tamanho de lote de 500 Folhas a cada.

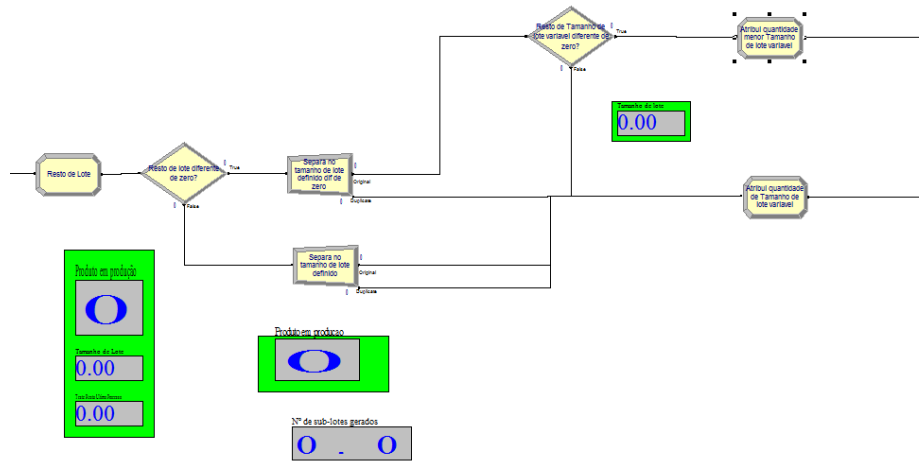


Figura 4.15 - Arena: Submodelo que divide os lotes de entrada

Foi efetuada esta modificação ao modelo Original e também ao modelo TOC-DBR. No modelo TOC-DBR o submodelo foi colocado exatamente antes da zona de gestão da segunda Reserva.

De seguida foram criados os oito cenários no *software Process Analyzer* de modo a comparar esta implementação nos modelos de simulação. Os oito cenários correspondem aos tamanhos de 1000, 750, 500 e 250 Folhas, duplicando pelos dois modelos. Está representado de seguida o *output* do *Process Analyzer*.

Scenario Properties					Control							
S	Name	Program File	Reps	Tamanho de lote variavel	WIP Total P1	WIP Total P2	WIP Total P3	Inventario P1	Inventario P2	Inventario P3		
1	Original Batch 1000	6 : INCM Original	5	1000.0000	183560.414	240676.698	14525.160	96107.499	102004.009	34175.777		
2	Original Batch 750	6 : INCM Original	5	750.0000	188090.050	240419.380	13657.520	76199.510	99505.065	34275.607		
3	Original Batch 500	6 : INCM Original	5	500.0000	178632.043	229519.343	14753.031	88113.937	107596.827	33568.043		
4	Original Batch 250	6 : INCM Original	5	250.0000	181262.907	234192.907	13638.300	78821.781	102923.264	33898.798		
5	TOC Batch 1000	2 : INCM TOC c r	5	1000.0000	169749.094	138788.789	24447.187	105802.183	85513.987	29235.508		
6	TOC Batch 750	2 : INCM TOC c r	5	750.0000	170409.777	140290.430	22031.416	88792.761	83570.566	27653.571		
7	TOC Batch 500	2 : INCM TOC c r	5	500.0000	168262.470	127441.319	24603.747	98483.510	87156.230	28321.461		
8	TOC Batch 250	2 : INCM TOC c r	5	250.0000	163691.748	123491.839	21353.685	89512.206	85227.642	27808.263		

Responses												
	Counter Set Sai Proc Fina	Counter Set Sai Proc Fina	Counter Set Sai Proc Fina	Lead Time P1	Lead Time P2	Lead Time P3	Tempo de Setup Laminagem P1	Tempo de Setup Laminagem P2	Tempo de Setup Laminagem P3	Tempo total de Laminagem do produto P1	Tempo total de Laminagem do produto P2	Tempo total de Laminagem do produto P3
1	478225	212909	37600	15.847	25.316	11.353	0.0022	0.0008	0.0006	2.517	2.489	1.385
2	466606	174840	37600	16.252	21.675	10.006	0.0009	0.0003	0.0003	2.239	2.232	1.128
3	494316	174840	37600	15.431	18.059	11.706	0.0008	0.0000	0.0022	2.076	2.062	0.831
4	471794	196677	37600	15.486	21.988	9.992	0.0003	0.0001	0.0005	1.996	1.989	0.711
5	520812	286229	20172	14.653	19.588	27.883	0.0007	0.0028	0.0018	3.126	1.306	2.574
6	516920	265079	32355	14.701	18.543	28.048	0.0004	0.0021	0.0007	2.827	0.729	2.447
7	520812	302585	27439	14.493	16.223	27.251	0.0003	0.0031	0.0018	2.840	0.637	2.435
8	526194	289519	36857	14.032	15.172	26.538	0.0002	0.0018	0.0004	2.722	0.447	2.349

	Tempo total de Laminagem do produto P3	Tempo de Setup Laminagem P1	Tempo de Setup Laminagem P2	Tempo de Setup Laminagem P3	Inicio de entrega_Data(1)	Inicio de entrega_Data(2)	Inicio de entrega_Data(3)
1	1.385	0.0022	0.0008	0.0006	4.000	5.000	11.000
2	1.128	0.0009	0.0003	0.0003	1.000	4.000	9.000
3	0.831	0.0008	0.0000	0.0022	3.000	3.000	10.000
4	0.711	0.0003	0.0001	0.0005	1.000	3.000	8.000
5	2.574	0.0007	0.0028	0.0018	4.000	5.000	11.000
6	2.447	0.0004	0.0021	0.0007	1.000	4.000	9.000
7	2.435	0.0003	0.0031	0.0018	3.000	3.000	9.000
8	2.349	0.0002	0.0018	0.0004	1.000	3.000	8.200

Figura 4.16 - *Process Analyzer*: *Output* para a análise de tamanho de lote

Os resultados apresentados na figura anterior não foram expressivos na globalidade, no entanto em quase todos os indicadores foi visível uma melhoria dos resultados. Centralizando uma análise nas oportunidades encontradas no capítulo 2.4, será exibido na figura 4.17 um gráfico de comparação para o *Lead Time* e para o *WIP*, onde é contemplado o modelo de simulação usado e também os produtos.

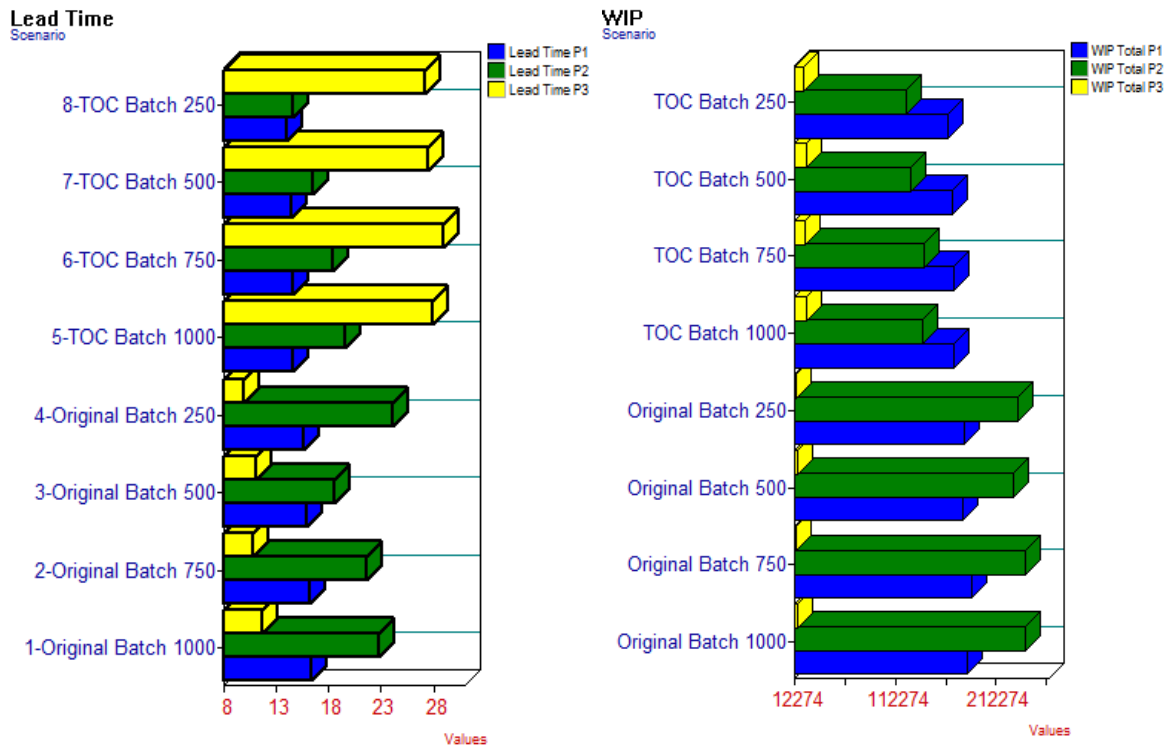


Figura 4.17 - *Process Analyzer*: resposta do *Lead Time* e *WIP* face aos *Inputs*

Aos resultados demonstrados, regista-se que não há grande impacto na alteração no *Lead Time* e *WIP* do tamanho de lote relativamente ao produto P1 e P3. Pelo contrário, o produto P2 demonstra resposta à variação deste dado de *Input*, revelando uma redução de *WIP* em ambos os modelos de simulação.

Houve uma redução de *Lead Time* no produto P2 para o modelo de simulação Original de 25,3 (1000 Folhas) para 18,1 (500 Folhas) dias, o que representa uma redução de 15,1%. Analogamente para o mesmo produto mas no modelo TOC-DBR uma redução de 19,6 (1000 Folhas) para 15,2 (250 Folhas) dias, o que representa uma redução de 29,1% no *Lead Time*.

Relativamente aos outros indicadores, após uma análise empírica, há que destacar a melhoria observada dos indicadores, na generalidade, para todos os produtos.

Visto haver uma melhoria da maioria dos indicadores até ao tamanho de lote de 500 Folhas, não sendo replicado para o tamanho de lote de 250 Folhas, conclui-se que o tamanho de lote de 500 Folhas poderá ser uma escolha acertada a optar em produções futuras.

Para melhor evidenciar o impacto positivo no sistema global, aplicando as ferramentas Lean, foi efetuado um VSM Futuro, com base nos resultados anteriores. Para tal serão utilizadas as seguintes métricas e melhorias, já conhecidos para o produto P1:

Output P1 = + 1,8 %

Lead Time P1 = + 16,7 %

WIP P1 = + 10,5 %

O mesmo pode ser observado na figura A.VIII.1.

No capítulo seguinte será implementa uma ferramenta no âmbito *Lean*, de modo a analisar o *layout* de produção.

4.6 SLP – Melhoria de *layout*

Neste capítulo será abordada a metodologia SLP, face á oportunidade encontrada no capítulo 2.4, na medida de definir a melhor configuração da nova área de fabrico para os produtos: P1; P2; Família de produto P3; P4 e Família de produto P5.

Análise à configuração total

Numa primeira fase foi atribuído ao *layout* conceptual a definição de blocos que representam cada departamento de processo, sendo o mesmo representado na Figura 4.18. Este método permite simplificar e tornar usável a informação disponível para que posteriormente seja possível criar alternativas de *layout* recorrendo a *software* específico.

A definição de blocos-departamentos indica, única e exclusivamente um equipamento ou zona de processo, contemplando: zonas de passagem, zonas de aprovisionamento de material em vias de processo, equipamento de arrumação e zonas de matérias-primas.

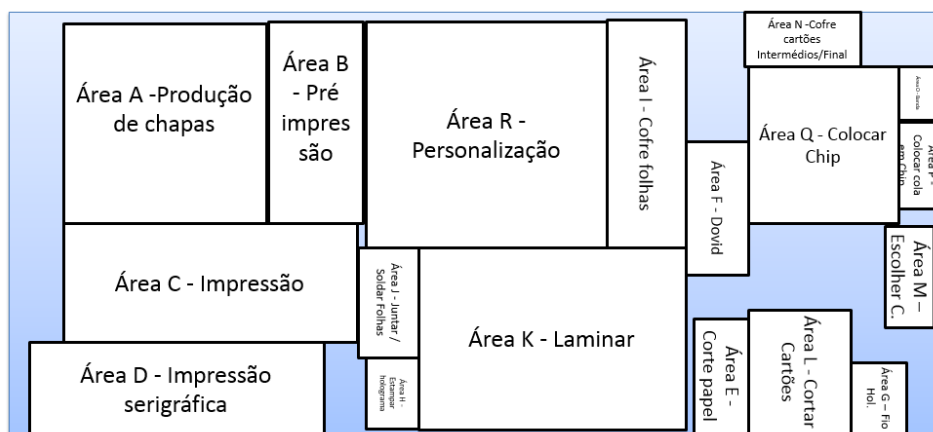


Figura 4.18 - *Layout* conceptual

Através do *software* AutoCad foram identificadas e registadas as posições de cada departamento em relação à origem, sendo o mesmo apresentado na Tabela 4.16. É considerada a posição verdadeira de um departamento como o ponto central do mesmo, chamado “centroide”. Foram também registadas as áreas respetivas, contemplando zonas de passagem de pessoas e cargas no perímetro de cada departamento, tal como referido anteriormente.

Tabela 4.16 – Dados retirados através do *software* AutoCad para cada departamento

Departamento	Área (m ²)	Pos X (m)	Pos Y (m)	
A	Produção de chapas	116,88	11,9	20,6
B	Pré impressão	67,6	21,45	18,86
C	Impressão	99,7	14,94	10,46
D	Camada Extra	152	10,2	3,6
E	Corte de Papel	31,2	45,5	4,17
F	Dovid	22,8	47,12	14,3
G	FioH	13,5	56,15	2,7
H	Estampar holograma	13,3	26,92	2,05
I	Contar / Cofre folhas	70,83	41,9	18,9
J	Juntar / Soldar Folhas	35,86	26,23	8
K	Laminar	190	36,3	5,9
L	Cortar Cartões	46,9	51,6	4,13
M	Controlo de qualidade de cartões	18,6	57,7	9,2
N	Cofre cartões Intermédio/Final	34,8	51,4	24,4
O	Banda magnética ou de Personalização	4,13	59	21
P	Colocar cola em Chip	13,15	58,3	16,15
Q	Colocar Chip	76,8	52,9	17,5
R	PER - Personalização	210	32,27	18,9

Nesta fase de pesquisa é necessário quantificar o produto que irá gerar o fluxo no *layout* a definir. Foram aceites as médias presentes na Tabela 2.1, que mesmo que não represente exatamente as quantidades a produzir no futuro, consegue devolver um volume mínimo espectável.

Neste este estudo de *layout* foi contemplada a família de produtos P5 assim como o produto P3 que sendo semelhante uma família de produtos idêntica, mas com mínima variação no método de produção, foi acumulada ao produto P3 para fins de simplificação. Daqui para a frente sempre que for mencionado o produto P3, está incluída toda a família de produtos idênticos.

Foram identificados os fluxos de produção e separados entre pares de departamentos. Na Tabela 4.17 está o resumo das referências que representam cada produto intermédio consoante as suas fases de fabrico, podendo abranger desde dois processos até dezasseis processos. Este passo é de extrema importância pois define a sequência de produção para cada referência ao qual corresponde um quantidade de produção, tendo sido o mesmo validado com várias hierarquias da INCM S.A..

Com a informação proveniente da Tabela 4.17 foi avaliada a frequência de repetição para cada par de departamentos e multiplicada respetivamente pela quantidade mensal de produção estimada para cada produto, que se encontra na Tabela 4.18. Na Tabela 4.18 encontra-se ainda o tamanho de lote médio considerado na generalidade dos produtos que foi recolhido por observação e validado pela INCM S.A..

Tabela 4.17 - Sequências de produção para cada referência e respectiva quantidade de produção mensal

Referência	Descrição da referência	Par de departamentos														Un / Mês		
P1.1	Dovid	FI																223729
P1.2	Frente	AB	BC	CD	DE	EI												223729
P1.3	Verso	AB	BC	CE	EI													223729
P1.4	Fio H	GI																223729
P1.5	Chip Cola	NP	PQ	QN														223729
P1.6	Laminagem - PER	IJ	JK	KL	LN	NM	MN	NQ	QN									223729
P2.1	Frente	AB	BC	CE	EI													65694
P2.2	Verso	AB	BC	CE	EI													65694
P2.3	Laminagem - Cliente	IJ	JK	KL	LN	NM	MN											65694
P3.1	Frente	AB	BC	CD	DI													66138
P3.2	Verso	AB	BC	CI														66138
P3.3	Laminagem - Cliente	IJ	JK	KL	LN	NM	MN	NH	HN	NM	MN							66138
P4.1	PB	DI	IJ	JK	KI	IC												43181
P4.2	G	DI																43181
P5.1	Frente	AB	BE	EC	CI	ID	DI											169656
P5.2	Verso	AB	BE	EC	CI													169656
P5.3	Chip Cola	NP	PQ	QN														169656
P5.4	Laminagem - Cliente	IJ	JK	KE	EN	NO	ON	NM	MN	NO	ON	NM	MN	NQ	QN	NR		169656

Tabela 4.18 – Frequência, somatório de pares de departamentos e tamanho de lote médio

Par de departamentos	Frequência	Soma de Un/Mês	Tamanho de Lote médio (Un)
AB	8	1050432	100000
BC	6	711121	100000
BE	2	339311	40000
CD	4	579733	40000
CE	2	131387	40000
CI	2	339311	10000
DI	6	557948	40000
DE	2	447458	40000
EC	2	339311	40000
EI	4	578845	40000
EL	1	66138	9000
FI	1	223729	9000
GI	1	65694	9000
HN	1	66138	9000
IC	1	43181	40000
ID	2	339311	10000
IJ	5	568397	9000
JK	5	568397	9000
KI	1	43181	9000
KL	4	525216	9000
LE	1	66138	9000
LN	4	525216	9000
MN	6	761010	9000
NH	1	66138	9000
NM	6	761010	9000
NO	2	339311	9000
NP	2	393385	9000
NR	1	169656	9000
NQ	2	393385	9000
ON	2	339311	9000
PQ	2	393385	9000
QN	4	786769	9000

Para quantificar os fluxos entre departamentos foi construída a carta De-Para, que se encontra na Tabela 4.19 e que contempla os dados obtidos na Tabela 4.18 relativamente aos fluxos diretos e inversos, tal que por exemplo, entre o par de departamentos “AB” está contemplado o fluxo de “A” para “B” e de “B” para “A”.

Tabela 4.19 - Carta De-Para

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	-	1050432	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	-	711121	0	339311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	-	579733	131387	0	0	0	339311	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	-	447458	0	0	0	557948	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	339311	0	-	0	0	0	578845	0	0	66138	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	-	0	0	223729	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	-	0	65694	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	66138	0	0	0	0
I	0	0	43181	339311	0	0	0	0	-	568397	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	568397	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	43181	0	-	525216	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	66138	0	0	0	0	0	0	-	0	525216	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	761010	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	66138	0	0	0	0	0	761010	-	339311	393385	393385	169656
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	339311	-	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	393385	0
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	786769	0	0	-	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

Posteriormente foi construída a carta de fluxos que se apresenta na Tabela 4.20. Nesta carta há uma “união” dos fluxos que partilhem os mesmos departamentos.

Tabela 4.20 - Carta de fluxos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	-	1050432	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B		-	711121	0	339311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C			-	579733	470699	0	0	0	382492	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D				-	447458	0	0	0	897260	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E					-	0	0	0	578845	0	0	132276	0	0	0	0	0	0
F						-	0	0	223729	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G							-	0	65694	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H								-	0	0	0	0	0	132276	0	0	0	0
I									-	568397	43181	0	0	0	0	0	0	0
J										-	568397	0	0	0	0	0	0	0
K											-	525216	0	0	0	0	0	0
L												-	0	525216	0	0	0	0
M													-	1522019	0	0	0	0
N														-	678623	393385	1180154	169656
O															-	0	0	0
P																-	393385	0
Q																	-	0
R																		-

Abaixo está a Tabela 4.21 com a informação da carta de Fluxos, ordenada por ordem decrescente. Foram categorizados os tipos de relação comparando a diferença entre pares, onde a maior diferença entre os dados representa a alteração do mesmo, representados num gráfico de Pareto (Figura 4.19).

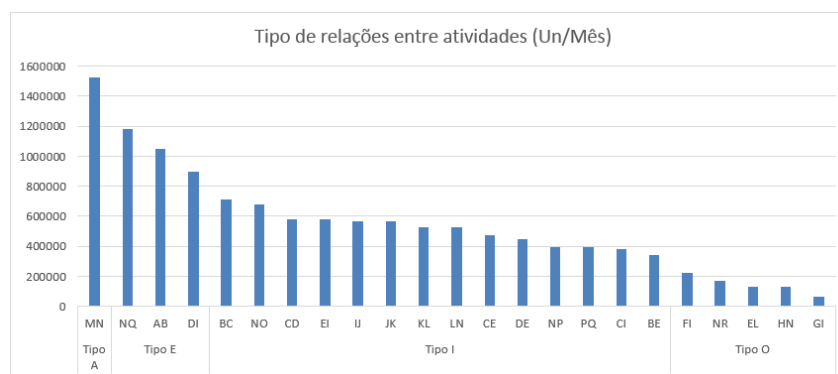


Figura 4.19 - Gráfico de Pareto relativo ao tipo de relações entre atividades

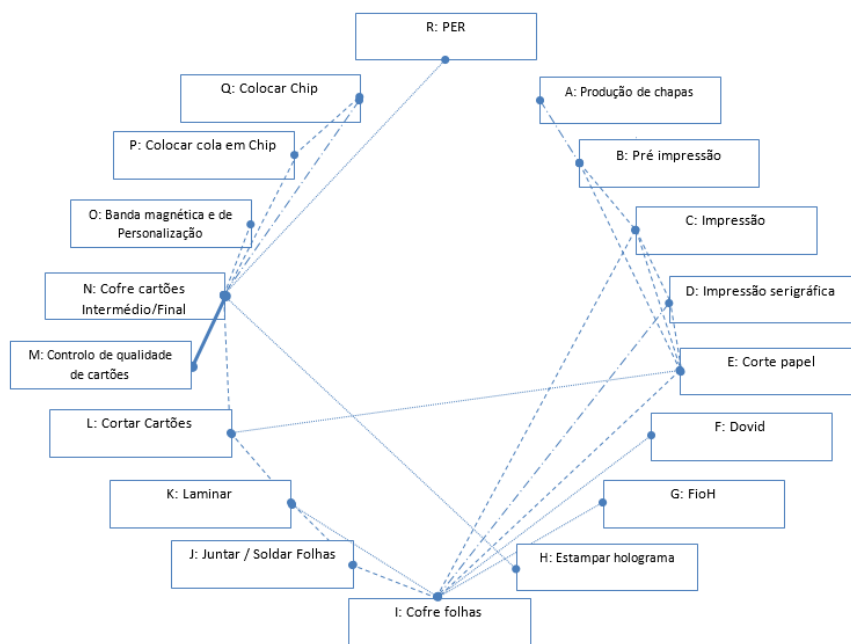


Figura 4.20 - Representação gráfica do diagrama de relações

Recorrendo às posições dos centroides X e Y de cada departamento foi construída a matriz de distâncias para o *layout* atual. Foi feito o cálculo através da equação (3) e estão representadas na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Distâncias entre departamentos para análise SLP (m)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	0	11,29	13,18	18,7	50,03	41,52	62,15	33,57	31,7	26,93	39,1	56,17	57,2	43,3	47,5	50,85	44,1	22,07
B	11,29	0	14,91	26,51	38,74	30,23	50,86	22,28	20,49	15,64	27,81	44,88	45,91	35,49	39,69	39,56	32,81	10,86
C	13,18	14,91	0	11,6	36,85	36,02	48,97	20,39	35,4	13,75	25,92	42,99	44,02	50,4	54,6	49,05	45	25,77
D	18,7	26,51	11,6	0	35,87	47,62	46,85	18,27	47	20,43	28,4	41,93	53,1	62	66,2	60,65	56,6	37,37
E	50,03	38,74	36,85	35,87	0	11,75	12,12	20,7	18,33	23,1	10,93	6,14	17,23	26,13	30,33	24,78	20,73	27,96
F	41,52	30,23	36,02	47,62	11,75	0	20,63	32,45	9,82	27,19	19,22	14,65	15,68	14,38	18,58	13,03	8,98	19,45
G	62,15	50,86	48,97	46,85	12,12	20,63	0	29,88	30,45	35,22	23,05	5,98	8,05	26,45	21,15	15,6	18,05	40,08
H	33,57	22,28	20,39	18,27	20,7	32,45	29,88	0	31,83	6,64	13,23	26,76	37,93	46,83	51,03	45,48	41,43	22,2
I	31,7	20,49	35,4	47	18,33	9,82	30,45	31,83	0	26,57	18,6	24,47	25,5	15	19,2	19,15	12,4	9,63
J	26,93	15,64	13,75	20,43	23,1	27,19	35,22	6,64	26,57	0	12,17	29,24	32,67	41,57	45,77	40,22	36,17	16,94
K	39,1	27,81	25,92	28,4	10,93	19,22	23,05	13,23	18,6	12,17	0	17,07	24,7	33,6	37,8	32,25	28,2	17,03
L	56,17	44,88	42,99	41,93	6,14	14,65	5,98	26,76	24,47	29,24	17,07	0	11,17	20,47	24,27	18,72	14,67	34,1
M	57,2	45,91	44,02	53,1	17,23	15,68	8,05	37,93	25,5	32,67	24,7	11,17	0	21,5	13,1	7,55	13,1	35,13
N	43,3	35,49	50,4	62	26,13	14,38	26,45	46,83	15	41,57	33,6	20,47	21,5	0	11	15,15	8,4	24,63
O	47,5	39,69	54,6	66,2	30,33	18,58	21,15	51,03	19,2	45,77	37,8	24,27	13,1	11	0	5,55	9,6	28,83
P	50,85	39,56	49,05	60,65	24,78	13,03	15,6	45,48	19,15	40,22	32,25	18,72	7,55	15,15	5,55	0	6,75	28,78
Q	44,1	32,81	45	56,6	20,73	8,98	18,05	41,43	12,4	36,17	28,2	14,67	13,1	8,4	9,6	6,75	0	22,03
R	22,07	10,86	25,77	37,37	27,96	19,45	40,08	22,2	9,63	16,94	17,03	34,1	35,13	24,63	28,83	28,78	22,03	0

Cálculo do indicador de distâncias RDS

Através da equação (2) é calculada a matriz apresentada na Tabela 4.24e respetivo valor do RDS (m).

Tabela 4.24 - Matriz RDS (m)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	-	56,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B		-	29,82	0	77,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C			-	23,2	73,7	0	-489,7	0	70,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D				-	71,74	0	0	0	235	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E					-	0	-121,2	0	36,66	0	0	6,14	0	0	0	0	0	0
F						-	0	0	9,82	-271,9	0	-146,5	0	0	0	0	0	0
G							-	0	30,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H								-	0	0	0	0	0	46,83	0	0	0	0
I									-	53,14	18,6	0	0	0	0	0	0	0
J										-	24,34	0	0	0	0	0	0	0
K											-	34,14	0	0	0	0	0	0
L												-	0	40,94	0	0	0	0
M													-	215	0	0	0	0
N														-	22	30,3	42	24,63
O															-	0	0	0
P																-	13,5	0
Q																	-	0
R																		-

$RDS = 257 m$

Cálculo do índice R-Score

De seguida foi efetuado o cálculo do *R-Score* que resulta da Equação (4), e consiste na multiplicação entre as distâncias calculadas na Tabela 4.24 e as ponderações provenientes da Tabela 4.22 pela mesma ordem (crescente ou decrescente) para o UB (*upper bound*), equação (5), e por ordem inversa, Equação (6), para o LB (*lower bound*). Os cálculos resultantes estão na Tabela A.VII. 1. Abaixo estão os cálculos do *R-Score*.

$$R - Score = 1 - \frac{RDS - LB}{UB - LB} \Leftrightarrow$$

$$R - Score = 1 - \frac{257 - (-1478)}{3068 - (-1478)} \Leftrightarrow$$

$$R - Score = 0,62$$

Número médio de lotes entre departamentos:

De modo a poder-se calcular a distância média percorrida, é necessário primeiro calcular a matriz do número médio de lote transportado entre cada par de departamento, para tal usa-se a equação (8), no que resulta a Tabela 4.25.

Tabela 4.25 - Número médio de lotes

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	-	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B		-	7	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C			-	14	3	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D				-	11	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E					-	0	0	0	14	0	0	7	0	0	0	0	0	0
F						-	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G							-	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H								-	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
I									-	63	0	0	0	0	0	0	0	0
J										-	63	0	0	0	0	0	0	0
K											-	58	0	0	0	0	0	0
L												-	0	58	0	0	0	0
M													-	85	0	0	0	0
N														-	38	44	44	19
O															-	0	0	0
P																-	44	0
Q																	-	0
R																		-

Por fim, a partir da equação (7) é construída a matriz das distâncias médias totais percorridas, representada na Tabela 4.26:

Tabela 4.26 – Matriz da distância média total percorrida (m)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	0	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	106	0	329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	168	121	0	0	0	1201	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	401	0	0	0	656	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	313	0	0	0	0	0	265	0	0	45	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	244	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344	0	0	0	0
I	0	0	38	1595	0	0	0	0	0	1678	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	769	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	0	996	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	1195	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1818	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	344	0	0	0	0	1818	0	415	662	367	464
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	415	0	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295	0
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	734	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

E o somatório da equação (7) resulta em :

$$\text{Distância média total percorrida} = 18271 \text{ m}$$

Sendo as unidades dos fluxos de deslocação baseadas em quantidades mensais, pode-se admitir que a distância média total percorrida enquadra-se num espaço temporal de 1 mês. Este valor é contudo proveniente de dados com elevada variabilidade, pelo de deve apenas ser considerado para efeitos de comparação entre configurações SLP.

Na Tabela 4.27, estão resumidos os resultados para uma melhor percepção dos resultados.

Tabela 4.27 - Resumo da metodologia SLP aplicada à configuração atual

	Adjacência	RDS (m)	UB	LB	R-Score	Distância média total percorrida (m)
Análise SLP – Todos os departamentos	0,39	257	3068	-1478	0,69	18271

Pode ser observado que a adjacência está bastante afastada do valor 1, logo é um resultado não satisfatório, logo indica que existem melhorias a efetuar na localização dos departamentos.

Blocplan – Restrição em N

O próximo passo de melhoria de *layout* consiste na geração de *Layouts* alternativos, a partir dos mesmos dados fonte usados no SLP e como resultado deveremos ter indicadores iguais ao SLP, tais como a Adjacência, o RDS, o UB E LB e o R-SCORE. Para tal escolheu-se o *software Blocplan* que é indicado por Wilsten J & Shayan (2007), como uma ótima solução para a geração otimizada de *layouts*.

Através do *software Blocplan* são gerados *Layouts* com as melhores alocações de departamentos, obtendo-se como resultado o melhor fluxo possível e uma menor distância na deslocação de materiais.

Como *Input* deste *software* é usado o diagrama de relações determinado anteriormente, que alimenta a informação relativa ao conjunto de produtos e materiais que são deslocados entre os vários pares de departamentos. É ainda usado como *Input* a área necessária a ser alocada a cada departamento. Todos estes dados podem ser encontrados na secção anterior. Está na Figura 4.21a e na Figura 4.21b duas imagens do *software* com os dados inseridos:

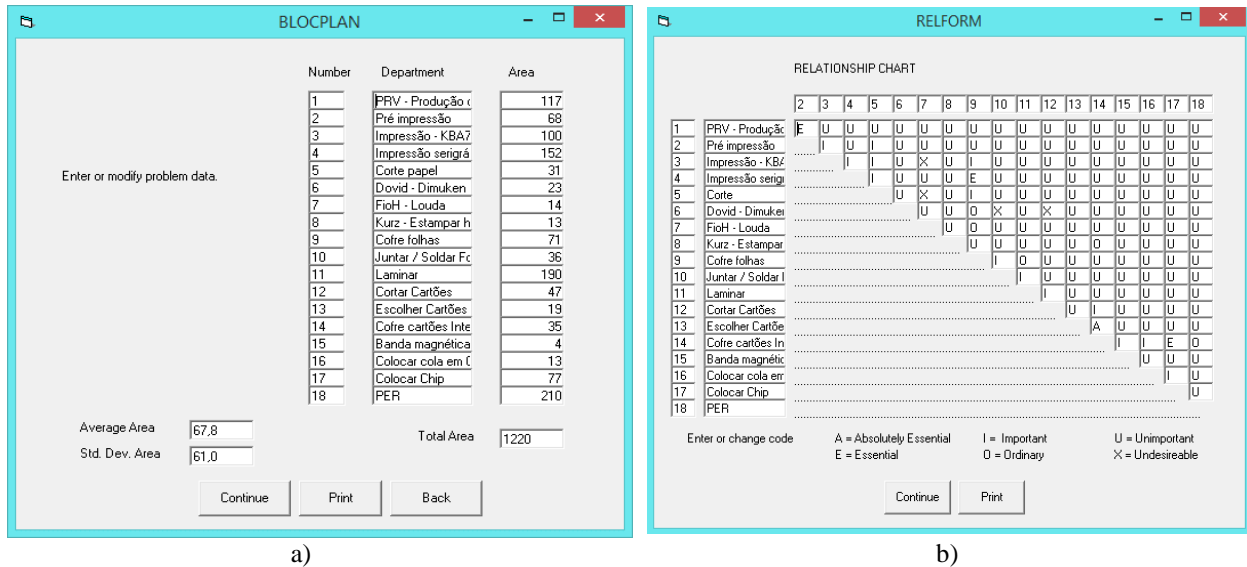


Figura 4.21 – *Bloctplan*: a) Departamentos. b) Relações entre departamentos

De modo a adaptar às restrições físicas do espaço que irá receber cada um dos departamentos, foi contemplada a localização fixa de um departamento. Esta escolha foi feita a partir da existência de um cofre que já existe, sendo bastante dispendioso alterar a localização do mesmo. Na Tabela 4.28 está representado o departamento em questão:

Tabela 4.28 - Dados de *Input* no *Software Bloctplan* para a análise global

Departamento com restrição	Atividade
N	Cofre cartões Intermédios/Final

Passamos agora aos resultados obtidos com o *Bloctplan*. De todos os *layouts* gerados foram selecionadas duas soluções com resultados bastantes satisfatórios. Na Figura 4.22 está a primeira solução.

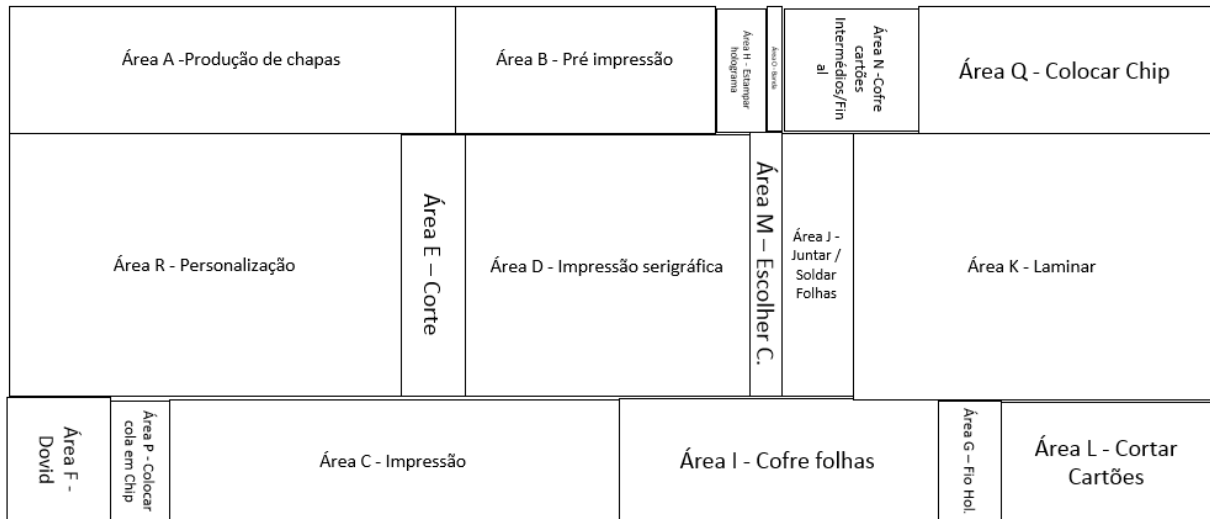


Figura 4.22 - *Blocplan* primeira solução gerada

O *software Blocplan* modela as áreas de cada departamento a partir dos valores de *Input* do utilizador, no entanto não é possível colocar como *Input* no *Blocplan* a razão entre os lados de cada departamento. Tal como se pode ver na configuração acima, alguns departamentos ficam com uma geometria impossível de realizar na prática. Para colmatar esta limitação do *software* foram reajustadas as localizações dos departamentos, evitando ao máximo a remoção da adjacência/distância, por forma a ser visualizada da melhor forma a razão entre os lados, tal como se pode observar na Figura 4.23. Desta forma é facilmente possível reunir em equipa com os responsáveis de cada departamento e avaliar a possibilidade de realocar os equipamentos.

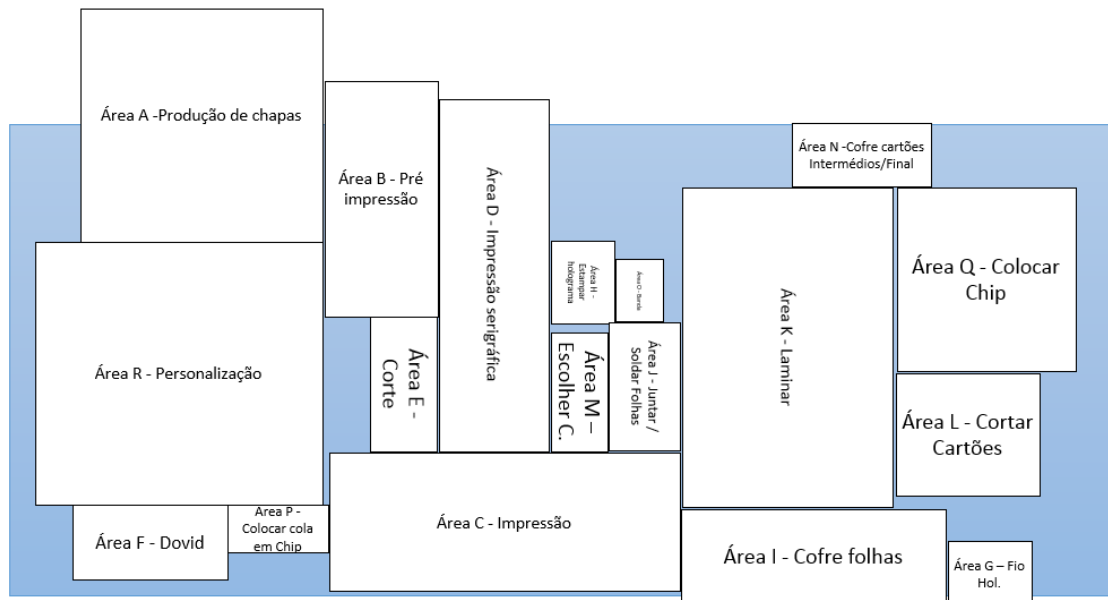


Figura 4.23 - Configuração da primeira solução ajustada à razão entre lados dos departamentos.

Na Tabela 4.29 está um quadro resumo dos resultados obtidos pelo *Blocplan* para primeira configuração.

Tabela 4.29 - Resultados obtidos pelo *Blocplan* para a primeira solução

	Adjacência	RDS (m)	UB	LB	R-Score	Distância média total percorrida (m)
Primeira solução <i>Blocplan</i> – restrição N	0,78	-383,44	1377,06	-543,68	0,92	-

Sendo a Distância média total percorrida um valor não calculado pelo *Blocplan*, o mesmo foi calculado separadamente. Para tal recorreu-se às posições X e Y que resultaram do *Blocplan* para esta primeira solução e construiu-se a matriz de distâncias, representadas na Tabela A.VII.2. A matriz do número médio de lotes entre departamentos manteve-se igual pois não foram adicionados nem removidos nenhum par de departamentos. Está na Tabela A.VII. 3 a matriz das distâncias percorrida obtida.

A partir do somatório da equação (7), a distância média total percorrida é então 16598 m.

Foi recolhida também uma segunda solução do *Blocplan* que teve resultados bastante aceitáveis. Na Figura 4.24 está a configuração e resultados obtidos.

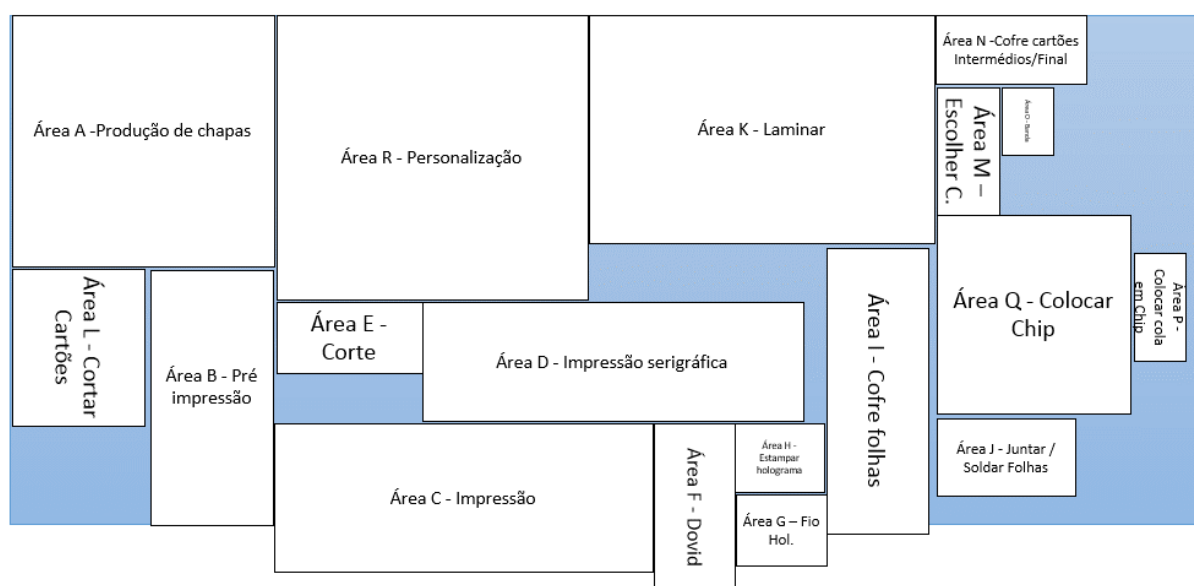


Figura 4.24 – Layout da segunda solução ajustada à razão entre lados dos departamentos.

Construiu-se da mesma forma a matriz de distâncias, representadas na Tabela A.IX 2. A matriz do número médio de lotes entre departamentos também manteve-se igual pois não foram adicionados nem removidos nenhum par de departamentos. Está na Tabela A.IX 3 a matriz distâncias obtida.

A Distância média total percorrida é então 15768 m.

Na Tabela 4.30 está um quadro resumo dos dois resultados obtidos pelo *Blocplan* para segunda configuração alternativa.

Tabela 4.30 - Resumo das duas melhores soluções pelo *software Blocplan*

	Adjacência	RDS (m)	UB	LB	R-Score	Distância média total percorrida (m)	Diferença de distância com o original (%)
Análise SLP – Todos os departamentos	0,39	257	3068	-1478	0,69	18271 m	-
Primeira solução Blocplan – restrição N	0,78	-383,44	1377,06	-543,68	0,92	16598 m	9,2 %
Segunda solução Blocplan – restrição N	0,76	33,92	1486,46	-421,8	0,76	15768 m	13,7 %

Pode visualizar-se que em ambas as soluções geram resultados muito positivos, onde a adjacência foi aproximadamente duplicada e o valor de RDS reduziu bastante. Os valores de *R-Score*, também foram muito favoráveis, obtendo a “análise 1” um resultado perto do valor 1. Conclui-se ainda que a diferença da distância média total percorrida foi reduzida em 9,2% e 13,7%.

Esta proposta foi discutida em várias reuniões com os *Key-Players* da INCM S.A., e chegou-se à conclusão que as duas soluções juntavam processos muito distintos, criando um fluxo não contínuo de produção bastante diferente do que foi recolhido e documentado na Tabela 4.17, dificultando a alocação de WIP.

Para além do motivo anterior, estas configurações alternativas iriam obrigar a mistura de processos de naturezas muito diferentes, podendo provocar problemas de qualidade nos processos de impressão, sendo estes extremamente sensíveis a partículas e outros contaminantes.

Não obstante de limitar este estudo, optou-se por avaliar uma fração do *layout* conceptual proposto pela INCM S.A., já documentado na Figura 4.18, respeitante exclusivamente aos departamentos E - F - G - L - M - N - O - P - Q.

Análise à configuração específica

Sendo esta análise, uma repetição da mesma metodologia estudada anteriormente, a mesma será demonstrada de uma forma mais expedita. Na Figura 4.25 esta representado o *layout* conceptual, adaptado exclusivamente aos departamentos E - F - G - L - M - N - O - P - Q. Dado existirem departamentos nesta área que partilham uma sequência intermédia com o *layout* global, definiu-se um departamento “H”, com a função de representar a o corredor de saída desta área para a restante.

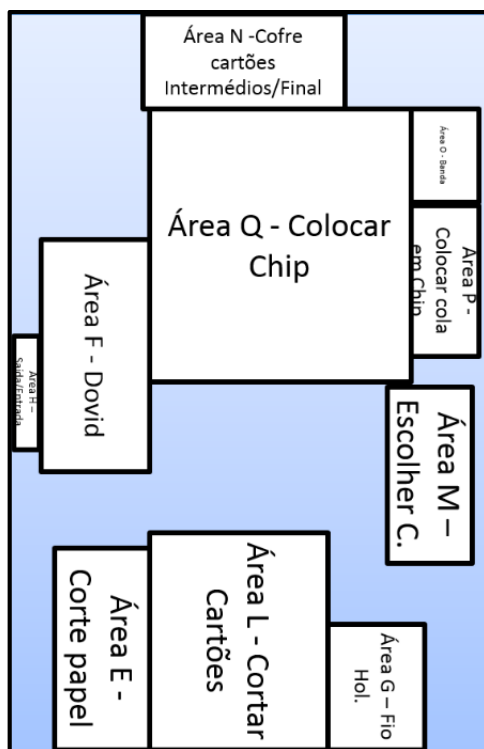


Figura 4.25 - Layout conceptual para a análise específica

Através do programa AutoCad foram identificadas e registadas as posições de cada departamento em relação à origem. A mesma encontra-se na Tabela A.X 1.

Na Tabela 4.31 baixo está a com o resumo das referências que representam cada produto intermédio consoante as suas fases de fabrico.

Tabela 4.31 - Sequências de produção para cada referência e respetiva quantidade de produção mensal

Ref	Descrição da referência	Par de departamentos												Un / Mês	
P1.1	Dovid	FH													223729
P1.2	Frente	HE	EH												223729
P1.3	Verso	HE	EH												223729
P1.4	Fio H	GH													223729
P1.5	Chip Cola	NP	PQ	QN											223729
P1.6	Laminagem<->PER	HL	LN	NM	MN	NQ	QN								223729
P2.1	Frente	HE	EH												65694
P2.2	Verso	HE	EH												65694
P2.3	Laminagem<->Expedição	HL	LN	NM	MN										65694
P3.1	Frente	HE	EH												66138
P3.2	Verso	HE	EH												66138
P3.3	Laminagem<->Expedição	HL	LE	EL	LN	NM	MN								66138
P5.1	Frente	HE	EH												169656
P5.2	Verso	HE	EH												169656
P5.3	Chip Cola	NP	PQ	QN											169656
P5.4	Laminagem<->Expedição	HL	LN	NO	ON	NM	MN	NO	ON	NM	MN	NQ	QN	NH	169656

Com a informação anterior foi determinada a frequência por pares de departamentos

Tabela 4.32 - Frequência, somatório de pares de departamentos e tamanho de lote médio

Par de departamentos	Frequência	Soma de Un/Mês	Tamanho de Lote médio (Un)
EH	8	1050432	40000
EL	1	66138	9000
FH	1	223729	9000
GH	1	289423	9000
HE	8	1050432	40000
HL	4	525216	9000
LE	1	66138	9000
LN	4	525216	9000
MN	5	761010	9000
NM	5	761010	9000
NO	2	339311	9000
NP	2	393385	9000
NQ	1	169656	9000
ON	2	339311	9000
PQ	2	393385	9000
QN	3	617114	9000

Tal como anteriormente, com a informação da carta de Fluxos, ordenada por ordem decrescente. Foram categorizados os tipos de relação comparando a diferença entre pares, tal como estão representados na tabela seguinte:

Tabela 4.33 - Tipo de relação

Relação	Par de departamentos	Un/mês
Tipo A	EH	2100864
Tipo E	MN	1522019
Tipo I	NQ	786769
	NO	678623
Tipo O	HL	525216
	LN	525216
	NP	393385
	PQ	393385
	GH	289423
	FH	223729
	EL	132276

De seguida foi construída a Carta De-Para e a carta de fluxos disponíveis na tabela Tabela A.X 2 e

Tabela A.X 3. Estas cartas resultam na Matriz de relações representada na Tabela 4.34:

Tabela 4.34 - Matriz de Relações

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	A (10)	O (1)	0	0	0	0	0
F		-	0	O (1)	0	0	0	0	0	0
G			-	O (1)	0	0	0	0	0	0
H				-	O (1)	0	0	0	0	0
L					-	0	O (1)	0	0	0
M						-	E (5)	0	0	0
N							-	I (2)	O (1)	I (2)
O								-	0	0
P									-	O (1)
Q										-

É então calculado o valor atual da adjacência, onde foram identificados os pares de departamentos com valor positivo: EL; FH; PQ; NQ.

$$Ajd. Score = \frac{1 + 1 + 1 + 2}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 2 + 5 + 10} = 0,19$$

Recorrendo às posições dos centroides X e Y de cada departamento, disponível na Tabela A.X 4, foi construída a matriz de distâncias para o *layout* específico. Aplicando o cálculo através da equação (3), resulta na matriz das distâncias RDS, presente na A.X SLP – Análise específica (Cont.)

Tabela A.X 5, que resultou numa distância RDS de:

$$RDS = 378 \text{ m}$$

Através das equações (4), (5) e (6) foram calculados os UB e LB, disponíveis na Tabela A.X 6, resultando no seguinte R-Score:

$$R - Score = 1 - \frac{RDS - LB}{UB - LB} \Leftrightarrow$$

$$R - Score = 1 - \frac{378 - 158,8}{653,9 - 158,8} \Leftrightarrow$$

$$R - Score = 0,56$$

De modo a calcular-se a distância média percorrida, foi calculado primeiro o número médio de lotes entre departamentos através da equação (8), presente na A.X SLP – Análise específica (Cont.)

Tabela A.X 7.

Foi então calculada a matriz distância média total percorrida através da equação (7), representada na Tabela A.X 8, que resulta num somatório de:

$$Distância média total percorrida = 9413 \text{ m}$$

Na Tabela 4.35 baixo foi feita uma síntese da análise realizada anteriormente.

Tabela 4.35 - Quadro resumo para a análise SLP: Exclusiva (E ; F ; G ; L ; M ; N ; O ; P ; Q)

	Adjacência	RDS (m)	UB	LB	R-Score	Distância média total percorrida (m)
Análise SLP : E - F - G - L - M - N - O - P - Q	0,19	378	653,9	158,8	0,56	9413

Blocplan – Análise com restrições em H – N

Para agilizar esta análise foram usados neste estudo a área e departamentos em causa, assim como contemplar a restrição do cofre de cartões intermédios que já está estruturalmente preparado.

Sendo estes processos não sequenciais, que exigem a necessidade de deslocações ao resto da configuração total, foi adicionado um departamento fictício, localizado perto do corredor principal, chamado departamento “H – Saída para outros processos”, apresentados na Tabela 4.36.

Tabela 4.36 - Dados de Input no Software *Blocplan* para a análise específica

Departamento com restrição	Atividade
H	Saída para processos intermédios
N	Cofre cartões Intermédios/Final

Na Figura A.X 1 está uma representação visual dos departamentos com restrição.

Como *input* deste *software* é usado o diagrama de relações determinado anteriormente, que alimenta a informação relativa ao conjunto de produtos e materiais que são deslocados entre os vários pares de departamentos. É ainda usado como Input a área necessária a ser alocada a cada departamento. Todos estes dados podem ser encontrados na secção anterior. Está na Figura 4.26a e na Figura 4.26b, duas imagens do *software* com os dados inseridos:



Figura 4.26 – *Blocplan* análise específica: a) Departamentos. b) Relações entre departamentos.

Serão abaixo apresentados os resultados obtidos com o *Blocplan*.

De todos os *Layouts* gerados foram seleccionados dois com índices bastantes satisfatórios. Na Figura 4.27 está a primeira solução devolvida pelo *software Blocplan*. A representação gráfica foi ajustada relativamente às proporções de cada departamento.

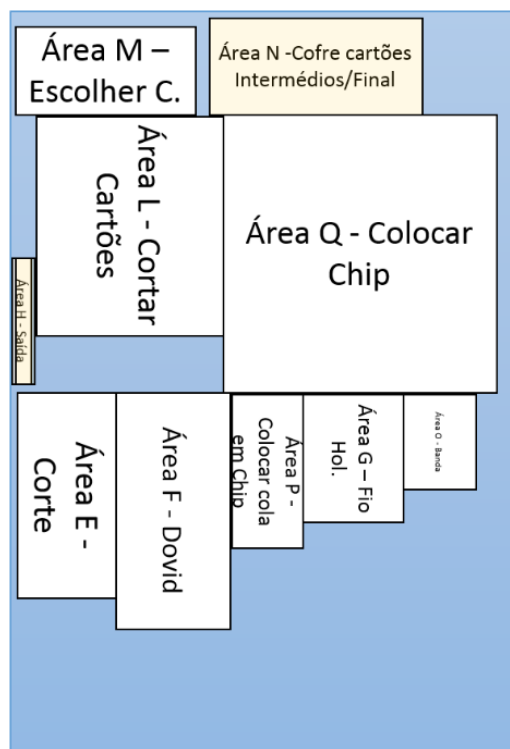


Figura 4.27 - Blochplan para a análise específica: Primeira configuração obtida.

Tal como na análise anterior, foi determinada nesta primeira solução a distância média total percorrida. Representado na Tabela A.X 9 está a matriz das distâncias e na Tabela A.X 10 está matriz distâncias percorridas. O resultado final da distância média total percorrida, juntamente com os resultados do Blochplan estão representados na Tabela 4.37.

Tabela 4.37 - Blochplan: Resultados para a 1ª solução da análise E - F - G - L - M - N - O - P - Q

	Adjacência	RDS (m)	UB	LB	R-Score	Distância média total percorrida (m)
Primeira solução Blochplan: E - F - G - L - M - N - O - P - Q Com restrições em H - N	0,81	255,5	572,97	155,75	0,76	6509 m

Foi ainda obtida uma segunda alternativa nesta análise específica que se encontra representada na Figura 4.28.

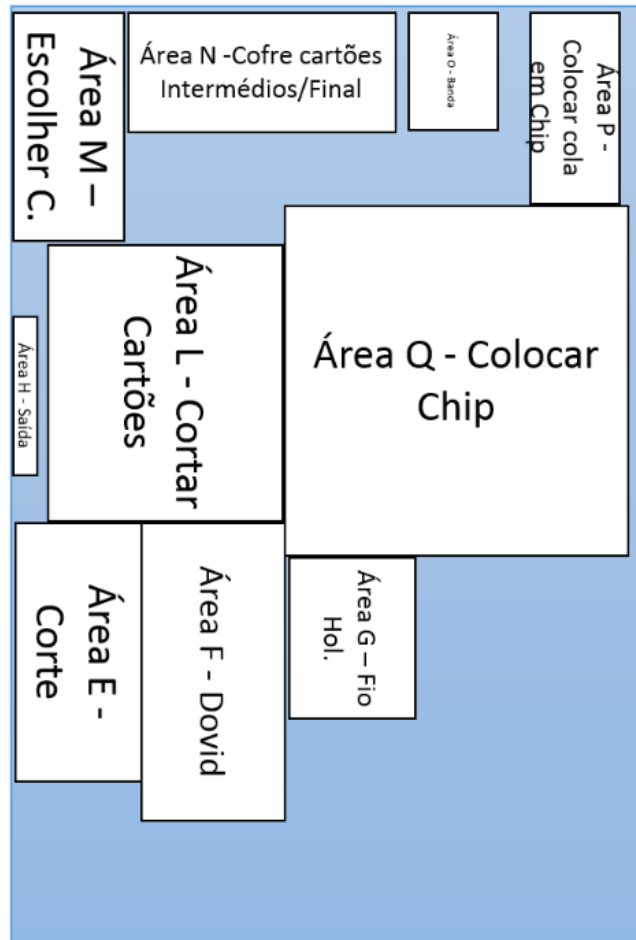


Figura 4.28 - *Blochplan* para a análise específica: Segunda solução obtida.

Analogamente á solução anterior, nesta segunda solução foi também determinada a distância média total percorrida. Na A.X SLP – Análise específica (Cont)

Tabela A.X 11 está a matriz das distâncias e na Tabela A.X 12 está matriz distâncias percorridas. O resultado final da distância média total percorrida, juntamente com os resultados da segunda configuração do *Blochplan* estão representados na Tabela 4.38.

Tabela 4.38 - Blochplan: Resultados para a 2ª solução da análise E - F - G - L - M - N - O - P - Q

	Adjacência	RDS (m)	UB	LB	R-Score	Distância média total percorrida (m)
Segunda solução Blochplan: E - F - G - L - M - N - O - P - Q Com restrições em H - N	0,88	225,62	544,26	169,79	0,85	5298 m

Está representado na Tabela 4.39 uma síntese das duas soluções do *Blochplan* comparativamente com a análise SLP. Esta síntese contempla a diferença entre distância média total percorrida do *layout* original, caracterizado pelo SLP, com as duas alternativas resultantes do *Blochplan*.

Tabela 4.39 - Quadro resumo para a análise específica

	Adjacência	RDS (m)	UB	LB	R-Score	Distância média total percorrida (m)	Diferença SLP – Alternativa (%)
Análise SLP : E - F - G - L - M - N - O - P - Q	0,19	378	653,9	158,8	0,56	9413 m	
Primeira solução: E - F - G - L - M - N - O - P - Q Com restrições em H - N	0,81	255,5	572,97	155,75	0,76	6509 m	30,9 %
Segunda solução Blocplan: E - F - G - L - M - N - O - P - Q Com restrições em H - N	0,88	225,62	544,26	169,79	0,85	5298 m	43,7 %

Neste quadro pode-se observar que o nível de adjacência subiu de 0,19 para 0,81 e 0,88, revelando que é possível aproximar os departamentos e obter uma melhoria de fluxo. A melhoria revelou-se igualmente para os indicadores RDS e Distância média total percorrida que foram reduzidos de uma forma expressiva.

Assim ficam concluídas as análises SLP e também a proposta sugerida. No capítulo seguinte serão feitas as conclusões finais à dissertação e propostas recomendações futuras.

5. Conclusões e recomendações

Nesta dissertação foi possível implementar soluções de melhoria contínua através das ferramentas *Lean* e da TOC. No presente trabalho destaca-se a metodologia de implementação de ferramentas de melhoria contínua, em especial a TOC, a qual não é frequentemente aplicada no setor público ou nas indústrias gráficas. Foram evidenciadas soluções para as oportunidades de melhoria referidas no capítulo 2.4.

Ficou demonstrado nesta dissertação que em ambientes de produção MTS é possível implementar um modelo de gestão da produção baseado na TOC, que adicione valor acrescentado à organização. Neste trabalho foi possível demonstrar, a partir de um sistema de simulação, a reprodução das mesmas tendências de *output* de um sistema real e com essa base poder aplicar um sistema de gestão da produção dinâmico baseado na TOC. Através dos resultados obtidos por simulação pode concluir-se que, através da implementação de um sistema DBR-MTA é possível reduzir aproximadamente em 15% a globalidade dos indicadores de desperdícios do sistema produtivo de produtos laminados da INCM S.A.. Destaque ainda para o produto P1, de elevada importância para a organização, a redução em 10% do WIP assim como a redução do *Lead Time* de 10,5 dias para 9 dias (~17%). Através da implementação de um sistema DBR-MTA foi ainda possível demonstrar uma maior eficiência da gestão da produção, mantendo durante o tempo de simulação, um nível de *stock* mais próximo do *stock* de segurança e valores mínimos e máximos com menor variabilidade, o que demonstra a estabilidade da gestão da produção segundo a TOC.

Foi igualmente possível realizar nesta dissertação um estudo de comparação do tamanho de lote, contemplando o sistema atual e a proposta baseada na TOC. Alcançaram-se resultados satisfatórios para todos os produtos, destacando-se o produto P2, com 15,1% de redução do *Lead Time* no sistema atual e 29,1% no sistema TOC-DBR. Assim esta dissertação suporta a redução do tamanho de lote 1000 Folhas para 500 Folhas em todas as produções.

Uma das principais aprendizagens deste trabalho, reside na importância do conhecimento do *software* Arena e do sistema que se pretende simular. De modo a obter-se um modelo robusto, que represente o sistema real e permita, assim, a tomada de decisões, deverá ser adotado no futuro pela organização, um suporte à simulação de modo a servir de ferramenta diária aos *Key-Players*. A facilidade que existe em testar diferentes melhorias a adotar no sistema produtivo, podem ser rapidamente avaliadas através da simulação, de uma forma robusta e factualmente suportada.

Este trabalho serve também de referência para a aplicabilidade da ferramenta VSM, não só como uma ferramenta de suporte e planeamento em ações de melhoria contínua em organizações, mas também em trabalhos no âmbito científico. A ferramenta VSM atuou na direção inicial a tomar neste trabalho,

prevalecendo as principais necessidades da organização e por outro lado também realizou um trabalho sinérgico com a TOC, agilizando na mesma direção, o objetivo comum de melhorar o sistema global.

A ferramenta VSM, foi ainda usada para representar os resultados obtidos através do modelo de simulação sob a TOC, facilitando a observação das melhorias a obter quando comparado com o sistema de produção original.

Por último, com a avaliação da configuração do espaço de produção, através da ferramenta SLP, alcançou-se a redução em 43,7 % da distância média total percorrida para o estudo da área específica e 13,7% para o estudo da área total, comparativamente à configuração inicialmente proposta pela INCM S.A.. Esta proposta aumenta ainda a adjacência entre departamentos, o que reduz o número de movimentações e, conseqüentemente, é menor a quantidade de WIP na área de produção e maior a produtividade geral. Conclui-se que a ferramenta SLP ajuda à gestão do planeamento de uma alteração de espaço fabril quando existe possibilidade de reajustar quase todos os departamentos, como era o caso.

Convém mencionar que desde o início da fase de pesquisa não foram encontrados casos de estudo que documentem a implementação de SLP em áreas de produção gráficas pelo que este estudo traz não só a componente de implementação SLP numa área industrial mas também uma nova componente de inovação relativa ao tipo de indústria onde é aplicada.

Trabalhos futuros

Verificou-se que dada a complexidade do sistema, deverão ser feitos mais estudos detalhados, contemplando num sistema de simulação os processos de impressão da INCM S.A, de modo a ter uma análise *Door-to-Door*, assim como a incorporação de mais produtos.

Deve ser realizado um estudo com um modelo de simulação deste sistema que contemple detalhadamente os recursos usados, possibilitando a partilha entre processos. Este é um trabalho exaustivo, não só na perspectiva de recolha de dados mas também na correlação da atual produção em ambiente MTS com multiprodutos.

Preconiza-se, por fim, o desenvolvimento de um estudo de O.E.E (*Overall Equipment Efficiency – Eficiência Geral do Equipamento*) que poderia ser incluído na ferramenta VSM, pois é uma matéria que geralmente está associada à ferramenta TPM – *Total Productive Maintenance*. Para tal, seria necessário realizar uma recolha exaustiva de dados junto de cada processo, dados estes que não estavam disponíveis no sistema.

Referências

- Altiok, T., & Melamed, B. (2010). *Simulation modeling and analysis with Arena*. (Academic Press Inc, Ed.).
- Belvedere, V., & Bocconi, L. (2005). Implementing a pull system in batch/mix process industry through theory of constraints: A case-study. *Human Systems Management*, 24(I), 3–12.
- Buzaglo, D. D. (2011). *Optimização do Sistema de Distribuição Hospitalar - O Caso do Armazém Central do Hospital Santa Maria (Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial)*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
- Carlson, J. G., & Yao, A. C. (1992). Mixed model assembly simulation. *International Journal of Production Economics*, 26(1), 161–167.
- Chan, K. C., & Tansri, H. (1994). A study of genetic crossover operations on the facilities layout problem. *Computers & Industrial Engineering*, 26(3), 537–550.
- Chang, Y.-C., & Huang, W.-T. (2013). An enhanced model for SDBR in a random reentrant flow shop environment. *International Journal of Production Research*, (February 2014), 1–19. <http://doi.org/10.1080/00207543.2013.848491>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management. Strategy, planning & operation*. Springer.
- Chou, Y.-C., Lu, C.-H., & Tang, Y.-Y. (2012). Identifying inventory problems in the aerospace industry using the theory of constraints. *International Journal of Production Research*, 50(16), 4686–4698.
- Cooper, K., Keif, M. G., & Macro, K. L. (2007). *Lean printing: Pathway to success*. (Printing Industries Press - GATFPRESS, Ed.).
- Cox, J., & Schleier, J. (2010). *Theory of Constraints Handbook*. (McGraw-Hill Education, Ed.) (1ª edição).
- Creasy, T. (2013). Combining lean, Six Sigma and theory of constraints creates a process improvement powerhouse. *ASQ Quality Progress*, 46(6), 26–32.
- de Souza, L. (2009). Trends and approaches in lean healthcare. *Leadership in Health Services*, 22(2), 121–139.
- Dettmer, H. (2001). Beyond Lean manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for higher performance (Public Article). Retrieved April 13, 2015, from <http://goalsys.com/books/documents/TOCandLeanPaper-rev.1.pdf>
- Faust, C. (2003). Think Lean (Public Article). Retrieved July 10, 2015, from <http://pffc-online.com/ar/1573-paper-think-lean>
- Flynn, B. B., Sakakibara, S., & Schroeder, R. G. (1995). Relationship between JIT and TQM: Practices and Performance. *The Academy of Management Journal*, 38(5), 1325–1360.
- FU, M. C., & KAKU, B. K. (1995). Minimizing work-in-process and material handling in the facilities layout problem. *IIE Transactions*, 29(1), 29–36.
- Galbraith, L., & Standridge, C. R. (1994). Analysis in manufacturing systems simulation: a case study. *Simulation*, 63(6), 369–376.
- Ghorbani, M., Arabzad, S. M., Shirouyehzad, H., & Shahin, A. (2014). Developing a logical model for cellular manufacturing systems by theory of constraints thinking process approach. *Int. J. Logistics Systems and Management*, 18(2), 270–282.
- Gjeldum, N., Veža, I., & Bilić, B. (2011). Simulation of production process reorganized with value stream mapping. *Tehnički Vjesnik*, 18(3), 341–347.
- Greenwood, A., & Beaverstock, M. (2011). Simulation education-seven reasons for change. In *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter* (pp. 20–28). Phoenix, AZ.

- Gregušová, M., Schindlerová, V., Šajdlerová, I., Mohyla, P., & Kedroň, J. (2015). Practical Application of Simulation of Business Processes. *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic and Management Engineering*, 9(2), 495–500.
- Gupta, M. C., & Boyd, L. H. (2008). Theory of constraints: a theory for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 28(10), 991–1012.
- Gupta, M. C., Sahi, G. K., & Chahal, H. (2013). Improving market orientation: the theory of constraints-based framework. *Journal of Strategic Marketing*, 21(4), 305–322.
- Haghiri, Y., & Tarantino, T. (2002). *Smart Card Manufacturing - A Practical Guide*. (Wiley, Ed.).
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46–64.
- Hurley, S. F., & Clay Whybark, D. (1999). Inventory and capacity trade-offs in a manufacturing cell. *International Journal of Production Economics*, 59(1), 203–212. [http://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00101-7](http://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00101-7)
- Imprensa Nacional - Casa Moeda (INCM) S.A. (2015). Relatório de Gestão 2014 - O Valor da Segurança (Artigo Público). Retrieved May 4, 2015, from https://www.incm.pt/portal/arquivo/incm/relatorio_gestao_2014.pdf
- Kelton, W. D., & Law, A. M. (2007). *Simulation modeling and analysis*. (McGraw-Hill, Ed.) (4ª edição).
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sturrock, D. T. (2007). *Simulation with Arena*. McGraw-Hill Higher Education. Retrieved from <http://books.google.ch/books?id=DeymQgAACAAJ>
- Kerns, F. (1999). Strategic facility planning (SFP). *Work Study*, 48(5), 176–181.
- Khaswala, Z. N., & Irani, S. A. (2001). Value Network Mapping (VNM): Visualization and Analysis of Multiple Flows in Value Stream Maps. In *Proceedings of the Lean Management Solutions Conference*. St. Louis.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2010). *Operations Management - Processes and Supply Chains*. (Prentice Hall, Ed.) (9ª edição).
- Laguna, M., & Marklund, J. (2013). *Business process modeling, simulation and design*. (CRC Press, Ed.) (2ª edição).
- Lee, J. H., Chang, J. G., Tsai, C. H., & Li, R. K. (2010). Research on enhancement of TOC Simplified Drum-Buffer-Rope system using novel generic procedures. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 3747–3754. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.11.049>
- MacKelprang, A. W., & Nair, A. (2010). Relationship between just-in-time manufacturing practices and performance: A meta-analytic investigation. *Journal of Operations Management*, 28(4), 283–302.
- Mankiw, N. (2014). *Principles of macroeconomics*. Cengage Learning.
- Martin, S. E. (2004). *Modifications to the Systematic Layout Planning Procedure to Allow Departmental Division and Irregularly Shaped Subdepartments (Science Master thesis)*. Faculty of the Fritz J. and Dolores H. Russ, College of Engineering and Technology of Ohio University, USA.
- McMullen, T. B. (1998). *Introduction to the Theory of Constraints (TOC) Management System*. (CRC Press, Ed.).
- Mishra, O. P., Kumar, V., & Garg, D. (2013). JIT supply chain; an investigation through general system theory. *Management Science Letters*, 3(3), 743–752.
- Miyake, D. I. (2006). The shift from belt conveyor line to work-cell based assembly systems to cope with increasing demand variation in Japanese industries. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 6(4), 419–439.
- Monden, Y. (1983). *Toyota production system: practical approach to production management*. Engineering & Management Press.
- Monden, Y. (2011). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*. (T. & F. G. CRC Press, Ed.) (4th edit).

- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of six sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329–346.
- Motwani, J. (2003). A business process change framework for examining lean manufacturing: a case study. *Industrial Management & Data Systems*, 103(5), 339–346.
- Muther, R. (1973). *Systematic layout planning*. Cahners books.
- Narasimhan, R., Swink, M., & Kim, S. W. (2006). Disentangling leanness and agility: An empirical investigation. *Journal of Operations Management*, 24(5), 440–457.
- Ohno, T. (1997). *O Sistema Toyota de Produção Além Da Produção*. (Bookman, Ed.).
- Olhager, J. (2010). The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. *Computers in Industry*, 61(9), 863–868.
- Pedersen, E. R. G., & Huniche, M. (2011). Determinants of lean success and failure in the Danish public sector: A negotiated order perspective. *International Journal of Public Sector Management*, 24(5), 403–420.
- Quintaneiro, S. I. N. (2014). *Uma perspectiva Lean Seis Sigma na Melhoria Contínua de um Sistema Logístico de Produção (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Rhee, S.-H., Cho, N. W., & Bae, H. (2010). Increasing the efficiency of business processes using a theory of constraints. *Information Systems Frontiers*, 12(4), 443–455.
- Rothenberg, S., & Cost, F. (2004). *Lean Manufacturing in Small- and Medium- Sized Printers (Research Monograph)*.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício: manual de trabalho de uma ferramenta enxuta*. (Lean Institute Brasil, Ed.).
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). *The handbook of logistics & distribution management*. (Kogan Page Limited, Ed.) (4th ed.).
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students*. Harlow: Pearson Education.
- Schönsleben, P. (2007). *Integral logistics management: Operations and supply chain management in comprehensive value-added networks*. CRC Press.
- Schrageheim, E. (2002). Make-to-Stock under Drum-Buffer-Rope and Buffer Management Methodology. In *International Conference Proceedings, APICS - The Educational Society for Resource Management* (pp. 1–5). Tennessee.
- Schrageheim, E., Dettmer, H. W., & Patterson, J. W. (2009). *Supply chain management at warp speed: Integrating the system from end to end*. (CRC Press, Ed.).
- Schrageheim, E., & Ronen, B. (1990). Drum-buffer-rope shop floor control. *Production and Inventory Management Journal*, 31(3), 18–22.
- Schrageheim, E., & Ronen, B. (1991). Buffer management: a diagnostic tool for production control. *Production and Inventory Management Journal*, 32(2), 74–79.
- Schuh, G., Potente, T., & Fuchs, S. (2012). Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. In Hoda ElMaraghy (Ed.), *Shifting Bottlenecks in Production Control (chapter)* (pp. 505–511).
- Serrano Lasa, I., Castro, R. De, & Laburu, C. O. (2009). Extent of the use of Lean concepts proposed for a value stream mapping application. *Production Planning & Control*, 20(1), 82–98.
- Simatupang, T. M., Hurley, S. F., & Evans, a. N. (1997). Revitalizing TQM efforts: a self-reflective diagnosis based on the theory of constraints. *Management Decision*, 35(10), 746–752.
- Şimşit, Z. T., Günay, N. S., & Vayvay, Ö. (2014). Theory of Constraints: A Literature Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 150, 930–936.

- Souza, F. B. De. (2014). Produzindo para disponibilidade : uma aplicação da Teoria das Restrições em ambientes de produção para estoque, 65–76.
- Spens, K. M., & Kovács, G. (2006). A content analysis of research approaches in logistics research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(5), 374–390.
- Sproull, B. (2012). *The ultimate improvement cycle: maximizing profits through the integration of lean, six sigma, and the theory of constraints*.
- Stecke, K. E., Yin, Y., Kaku, I., & Murase, Y. (2012). Seru: the organizational extension of JIT for a super-talent factory. *International Journal of Strategic Decision Sciences (IJSDS)*, 3(1), 106–119.
- Swain, J. J. (2013). Simulation software survey - Simulation: a better reality? (Public Article). Retrieved May 20, 2015, from <https://www.informs.org/ORMS-Today/Public-Articles/October-Volume-40-Number-5/Simulation-Software-Survey-Simulation-a-better-reality>
- Tanhaei, F., Nahavandi, N., & Motlagh, S. D. A. (2015). Improving for Drum_Buffer_Rope material flow management with attention to second bottlenecks and free goods in a job shop environment. In *11th International Industrial Engineering Conference*. Quebec.
- Tenera, A. (2006). *Contribuição para a Melhoria da Gestão da Incerteza na Duração dos Projectos através da Teoria das Restrições (Dissertação para obtenção do Grau de Doutor)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning*. (Wiley, Ed.) (4th ed.).
- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2008). Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. *Produção*, 18(3), 609–624.
- Umble, M., Umble, E., & Murakami, S. (2006). Implementing theory of constraints in a traditional Japanese manufacturing environment: The case of Hitachi Tool Engineering. *International Journal of Production Research*, 44(10), 1863–1880.
- Villa, A., & Taurino, T. (2013). From JIT to Seru, for a production as lean as possible. *Procedia Engineering*, 63, 956–965.
- Wang, J., Liu, H., Qu, P., & Yin, Y. (2013). Design and Operations of Seru Manufacturing: Case Study. In *Proceedings of the 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET)*. Novi Sad.
- Watson, K. J., Blackstone, J. H., & Gardiner, S. C. (2007). The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. *Journal of Operations Management*, 25(2), 387–402.
- Welgama, P. S., & Mills, R. G. J. (1995). Use of simulation in the design of a JIT system. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(9), 245–260.
- Werkema, C. (2004). *Criando a cultura seis sigma (Volume I da Série Seis Sigma)*. (Werkema Editora, Ed.).
- Wilsten J, P., & Shayan, E. (2007). Layout Design of a Furniture Production Line Using Formal Methods. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(1), 81–96.
- Wiyaratn, W., & Watanapa, A. (2010). Improvement plant layout using systematic layout planning (SLP) for increased productivity. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 4(12), 309–313.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2010). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. (Simon and Schuster, Ed.).
- Yang, T., Su, C.-T., & Hsu, Y.-R. (2000). Systematic layout planning : A study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(11), 1359–1371.

Anexos

A.I Fluxo de processo para os produtos P1, P2, P3, P4 e P5

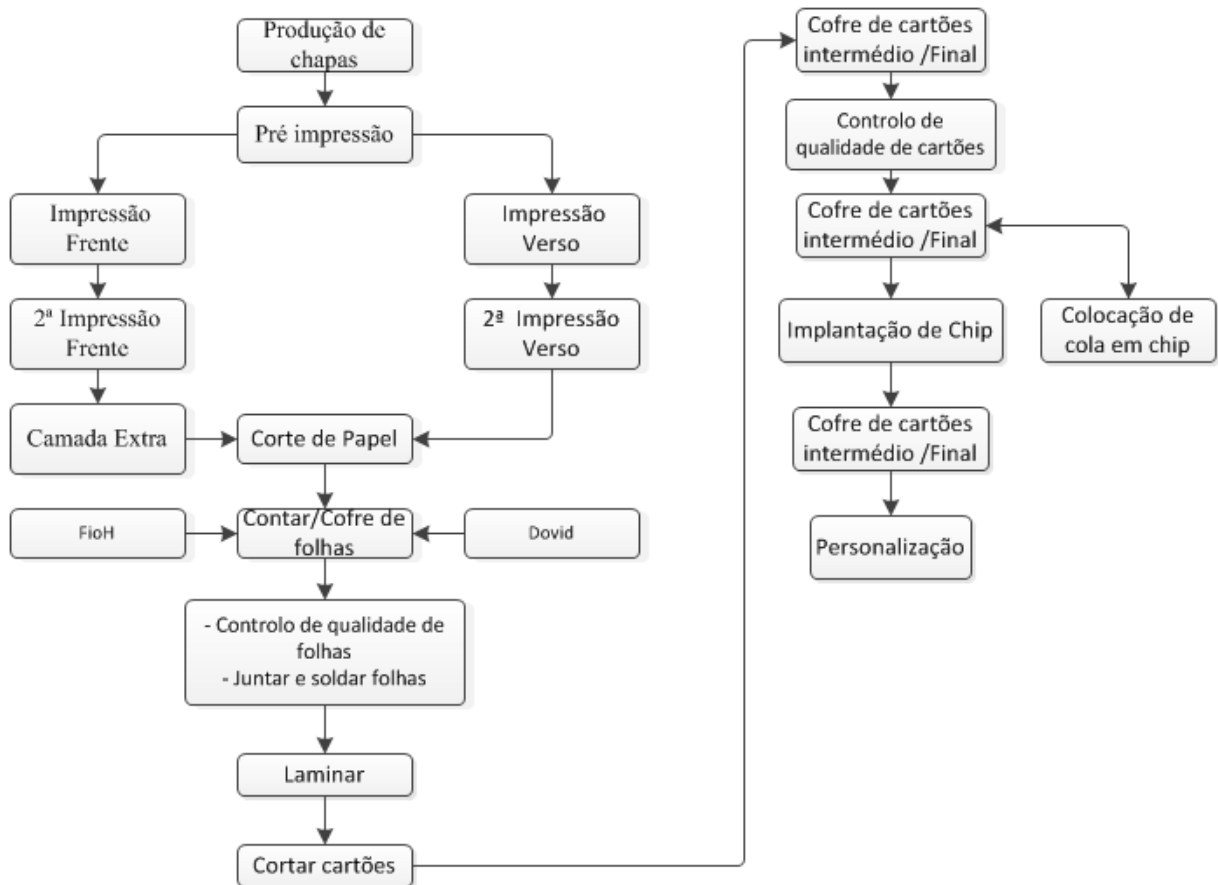


Figura A.I. 1 - Fluxo de processo para o produto P1

A.I Fluxo de processo para os produtos P1, P2, P3, P4 e P5 (Cont.)

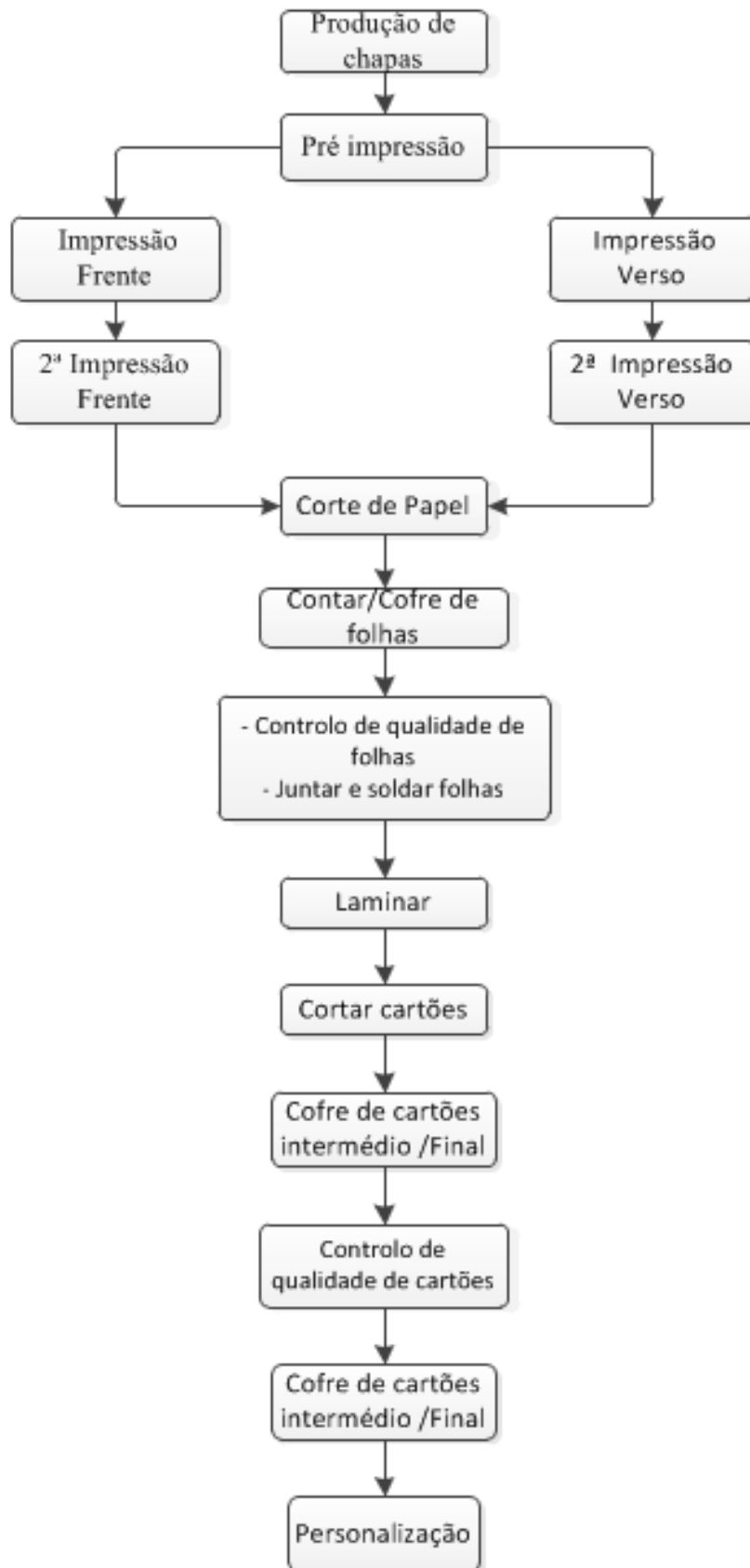


Figura A.I. 2 - Fluxo de processo para o produto P2

A.I Fluxo de processo para os produtos P1, P2, P3, P4 e P5 (Cont.)

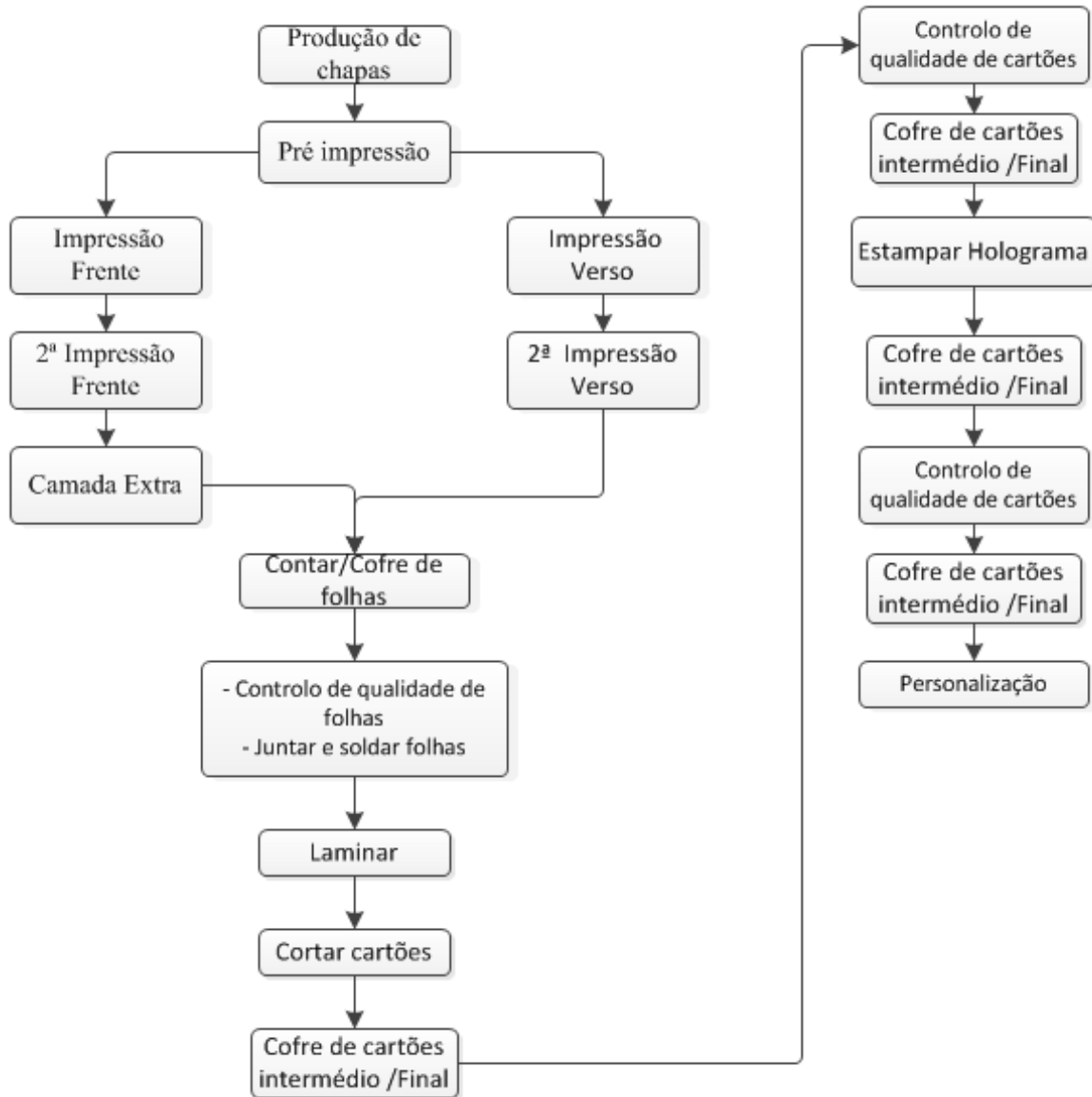


Figura A.I. 3 - Fluxo de processo para o produto P3

A.I Fluxo de processo para os produtos P1, P2, P3, P4 e P5 (Cont.)

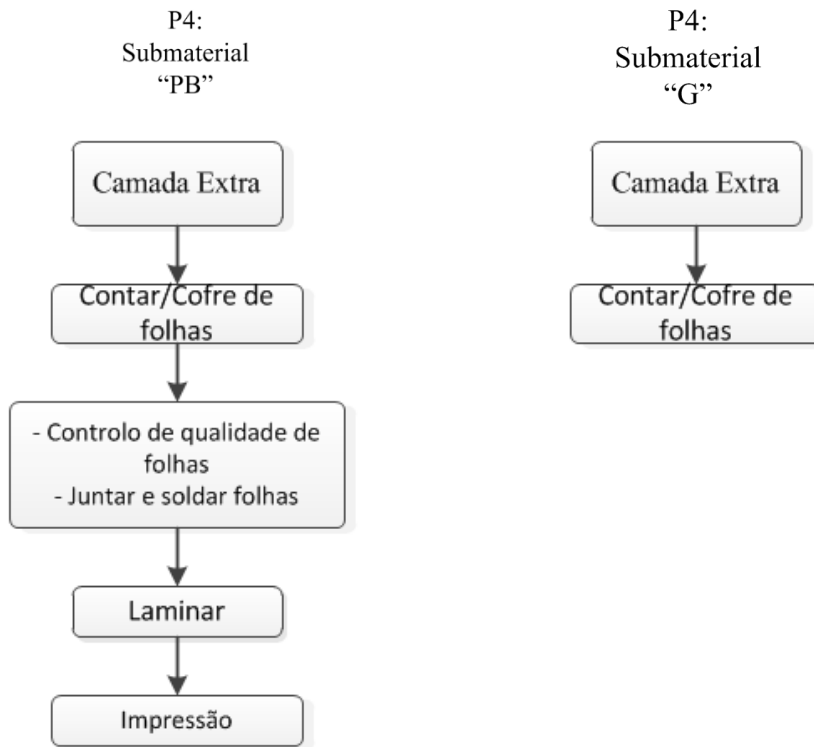


Figura A.I. 4 - Fluxo de processo para o produto P4

A.I Fluxo de processo para os produtos P1, P2, P3, P4 e P5 (Cont.)

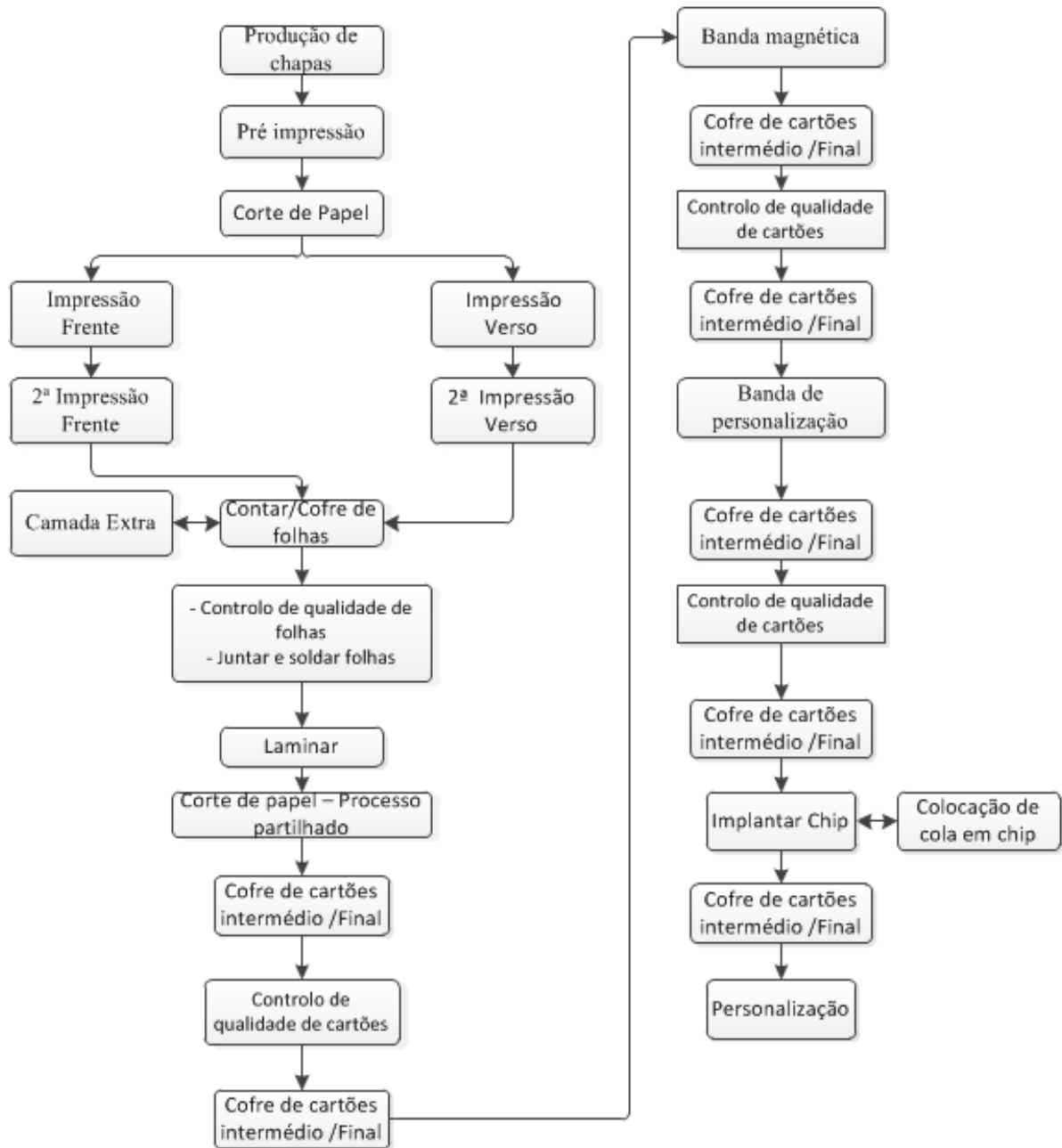


Figura A.I. 5 - Fluxo de processo para o produto P1

A.II Dados relativos à descrição do sistema

Tabela A.II. 1 – Dados de entrada de lotes de produção no processo Contar

P1	Tamanho de lote	Data	P2	Tamanho de lote	Data	P3	Tamanho de lote	Data	P4	Tamanho de lote	Data
	1000	01/10/2014		1000	01/10/2014		1000	07/10/2014		10555	10/10/2014
	1000	02/10/2014		1000	06/10/2014		1000	14/11/2014		10550	12/12/2014
	1000	03/10/2014		1000	06/10/2014		1000	27/11/2014			
	1000	06/10/2014		1000	09/10/2014		10	12/12/2014			
	1000	13/10/2014		1000	10/10/2014						
	1000	14/10/2014		1000	13/10/2014						
	1000	16/10/2014		1000	15/10/2014						
	1000	20/10/2014		264	22/10/2014						
	1000	27/10/2014		736	22/10/2014						
	1000	29/10/2014		1000	22/10/2014						
	1000	30/10/2014		1000	24/10/2014						
	2000	10/11/2014		1000	27/10/2014						
	1000	10/11/2014		1000	28/10/2014						
	1000	12/11/2014		1000	30/10/2014						
	2000	12/11/2014		1000	31/10/2014						
	1000	17/11/2014		1000	03/11/2014						
	1000	17/11/2014		1000	04/11/2014						
	1000	18/11/2014		2000	06/11/2014						
	1000	19/11/2014		1000	07/11/2014						
	1000	19/11/2014									
	1000	21/11/2014									
	1000	24/11/2014									
	1000	25/11/2014									

Tabela A.II. 2 - Tempo entre falhas e duração das mesmas de outubro a dezembro de 2014

Data	Tempo entre falhas	Duração entre falhas
01/10/2014	-	-
02/10/2014	2	2,2
03/10/2014	2	3,0
03/10/2014	1	1,3
06/10/2014	2	0,3
10/10/2014	5	3,5
11/10/2014	1	0,4
20/10/2014	6	1,4
20/10/2014	1	1,3
21/10/2014	2	0,9
10/11/2014	15	1,7
10/11/2014	1	1,4
11/11/2014	2	3,2
21/11/2014	9	0,5
09/12/2014	13	1,4
10/12/2014	2	0,6
12/12/2014	3	3,6

A.IV Documento de suporte aos princípios e ferramentas Lean

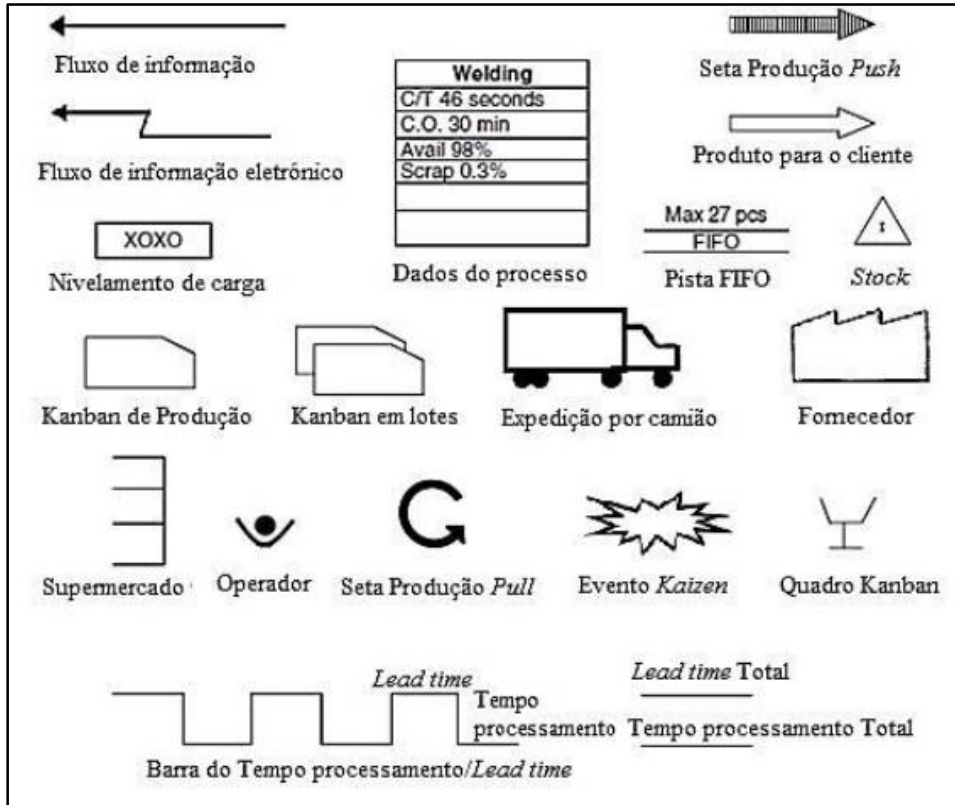


Figura A.IV. 1 Simbologia usada na construção do VSM. [Fonte: Quintaneiro (2014)]

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo

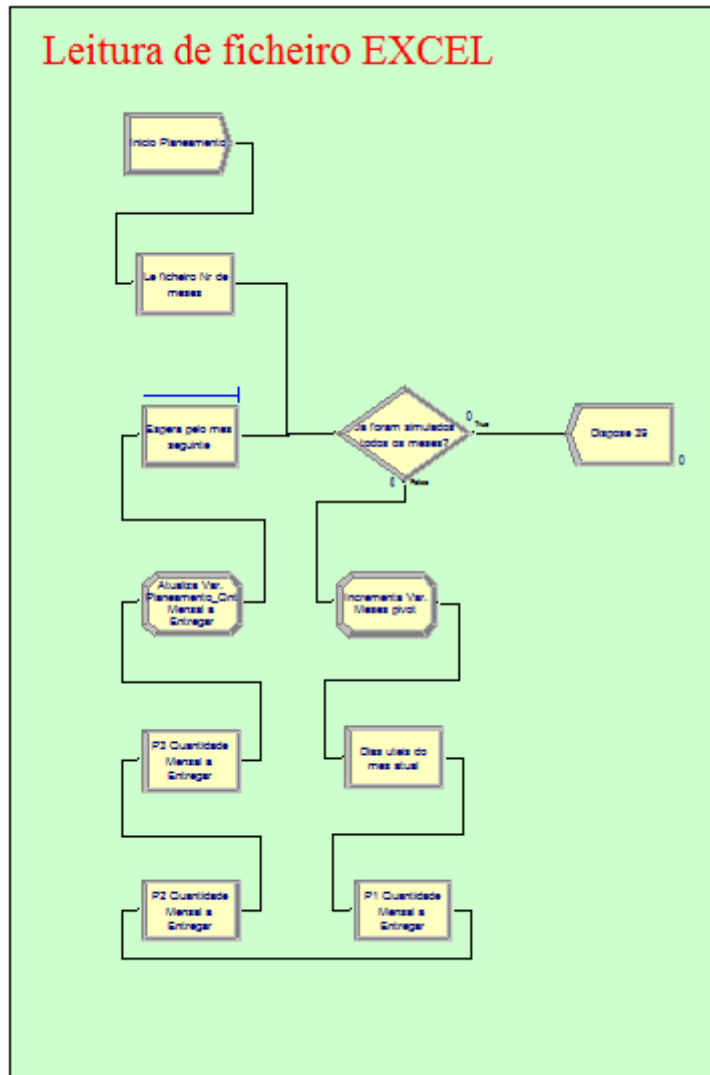


Figura A.VI. 1 – Arena: Secção 1 de Leitura dos Inputs do Arena

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo(Cont.)

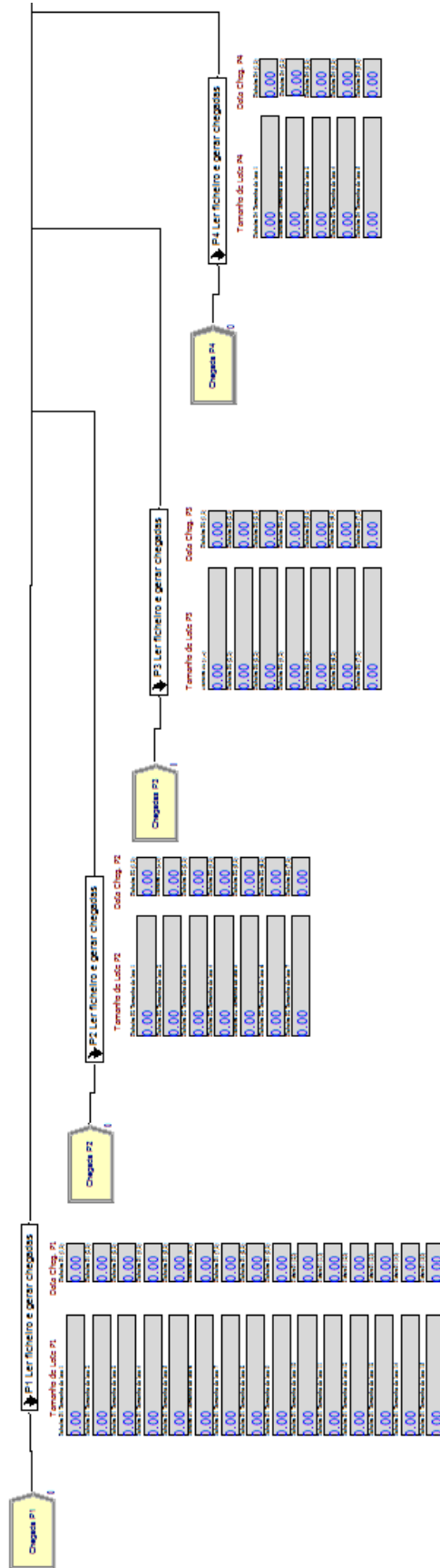


Figura A. VI. 2 – Arena: secção 2 do modelo de simulação

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo (Cont.)

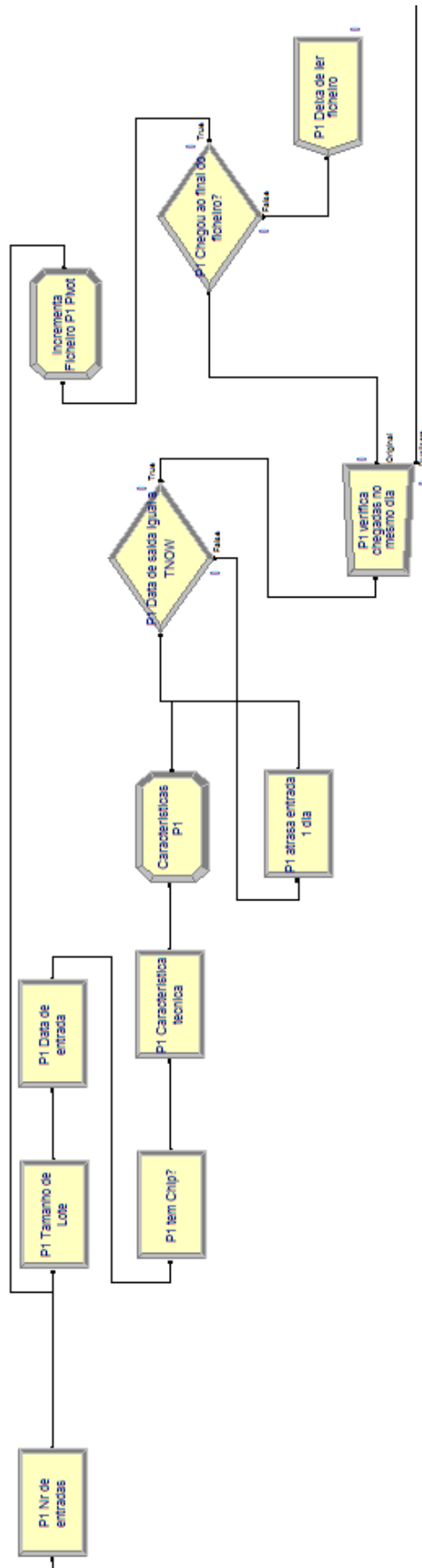


Figura A.VI. 3 – Arena: conjunto de blocos para leitura dos lotes de Input para P1

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo (Cont)

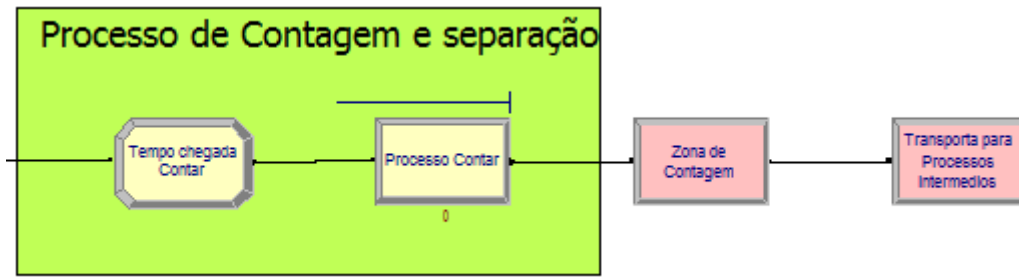


Figura A.VI. 4 – Arena: Detalhe do processo de contagem

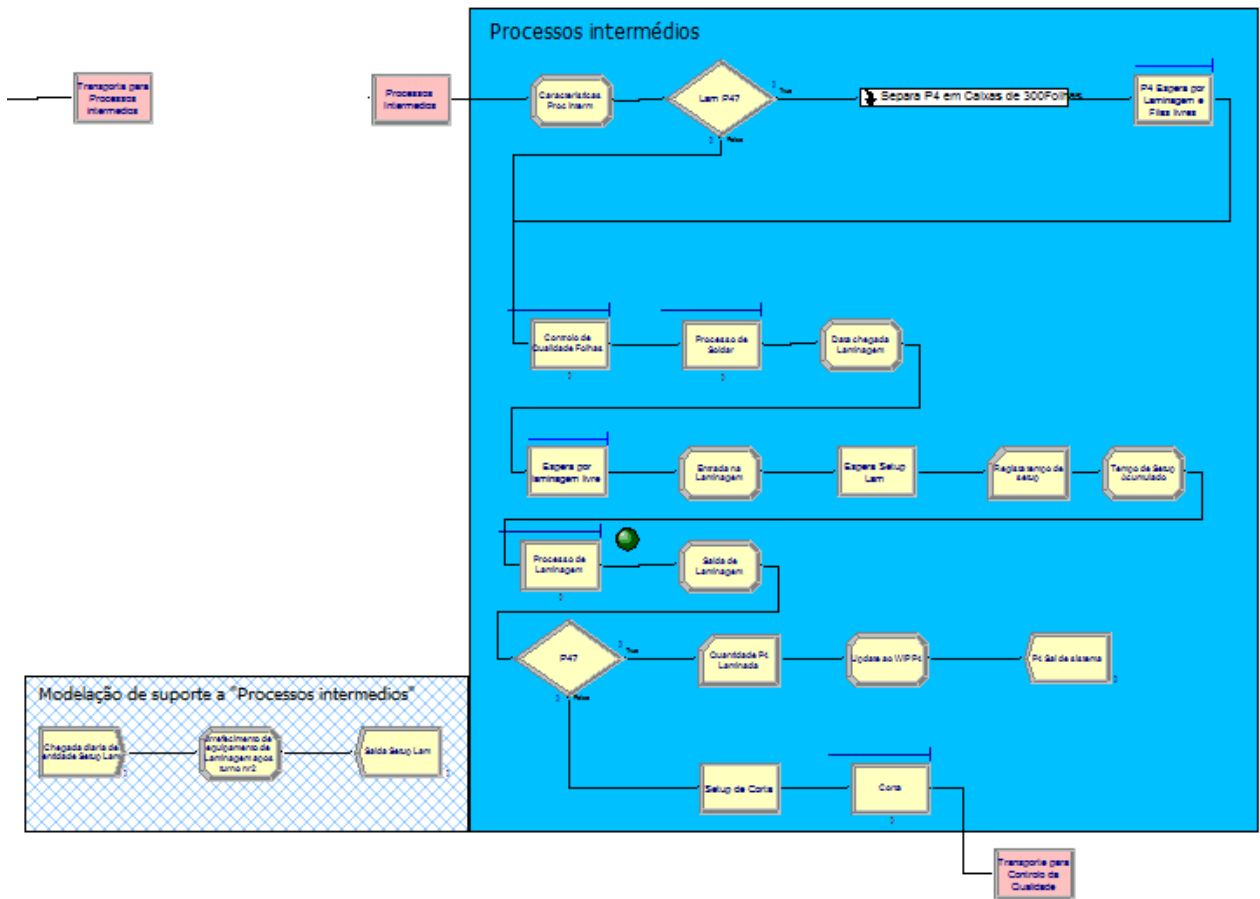


Figura A.VI. 5 – Arena: detalhe da secção 4

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo (Cont.)

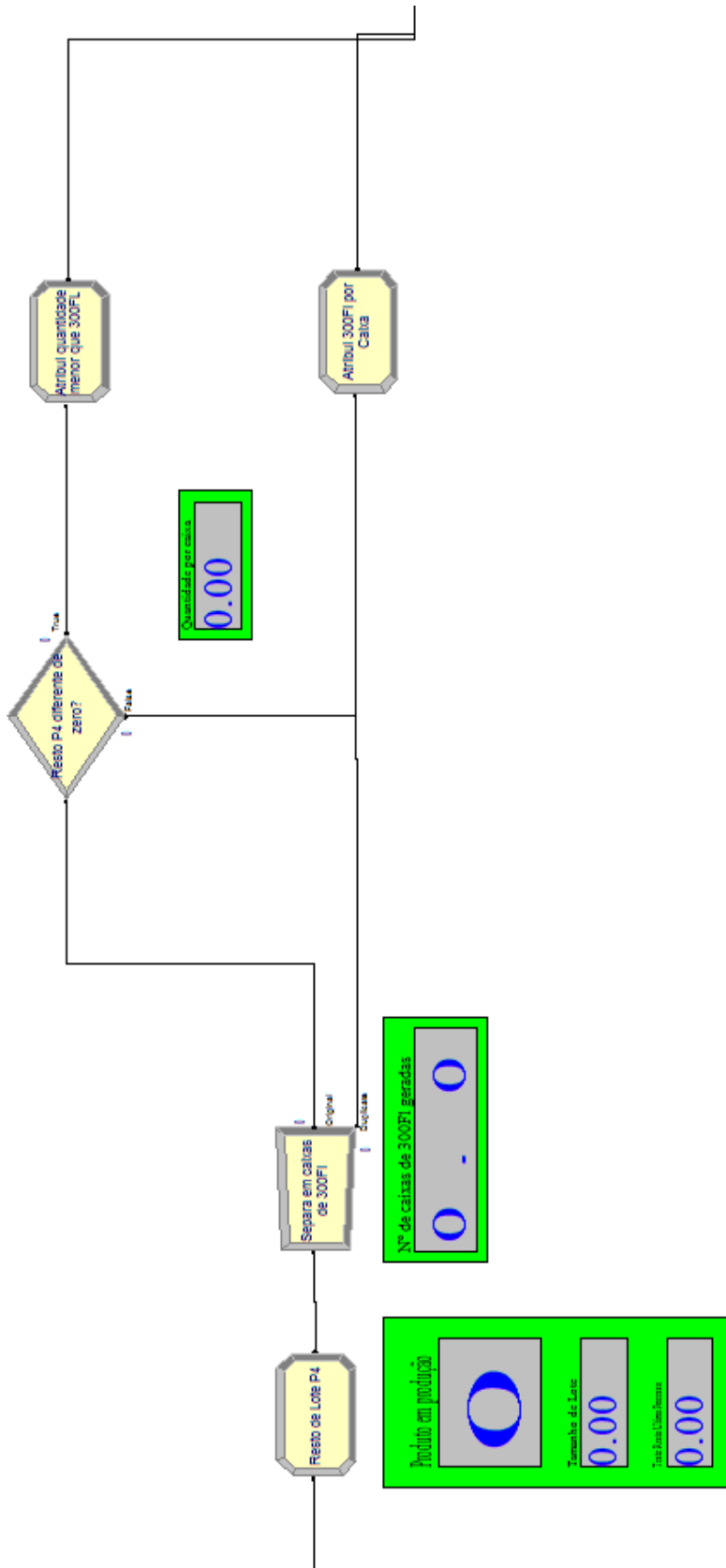


Figura A. VI. 6 - Arena: detalhe do submodelo "Separa P4 em Caixas de 300Folhas"

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo (Cont.)

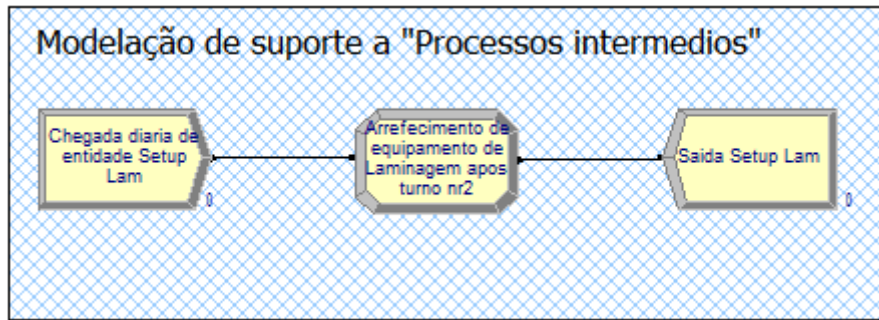


Figura A.VI. 7 - Arena: modelação de suporte para a secção 4

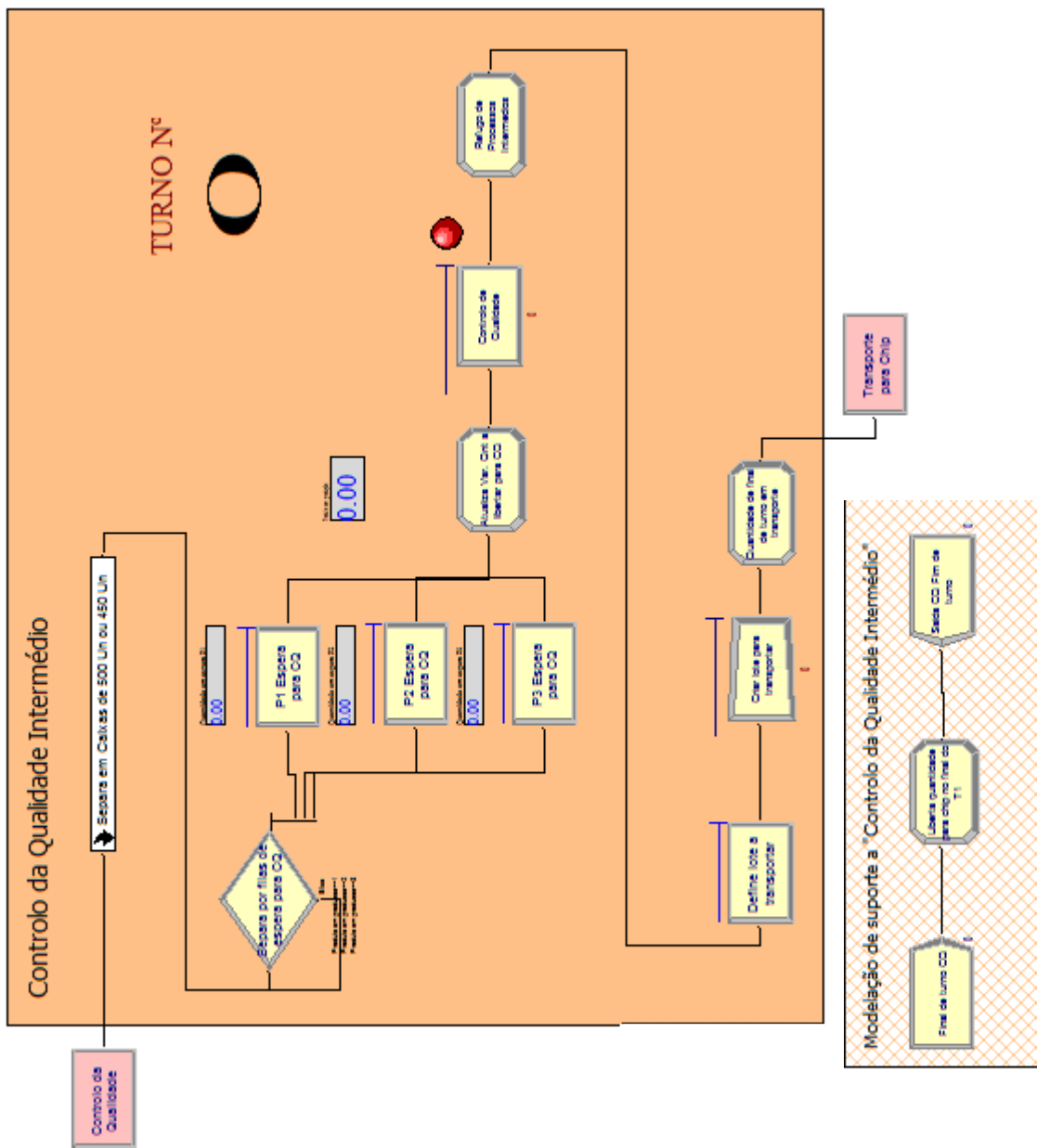


Figura A.VI. 8 - Arena: detalhe da Secção 5

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo (Cont.)

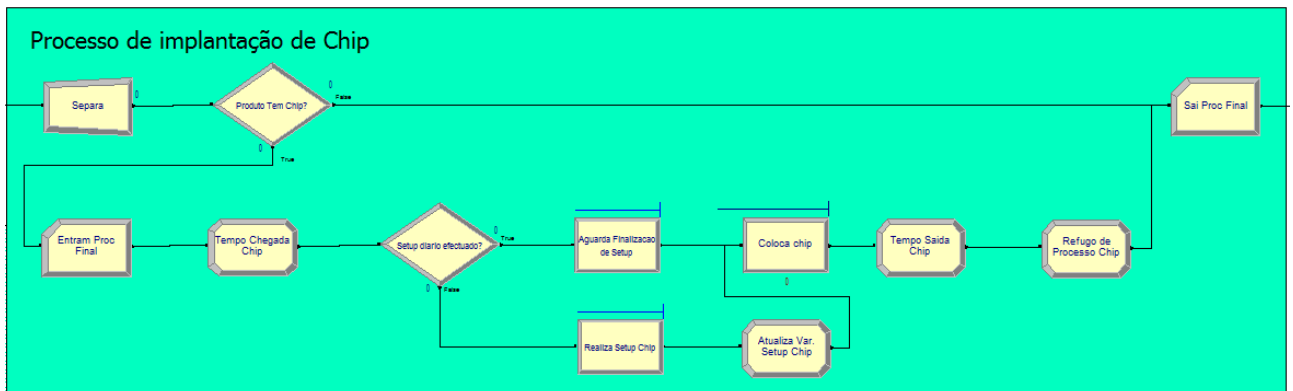


Figura A.VI. 9 - Arena: detalhe da secção 6

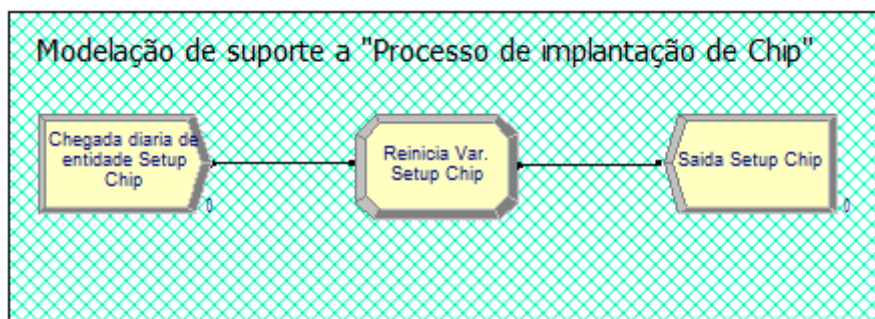


Figura A.VI. 10 - Arena: modelação de suporte da secção 6

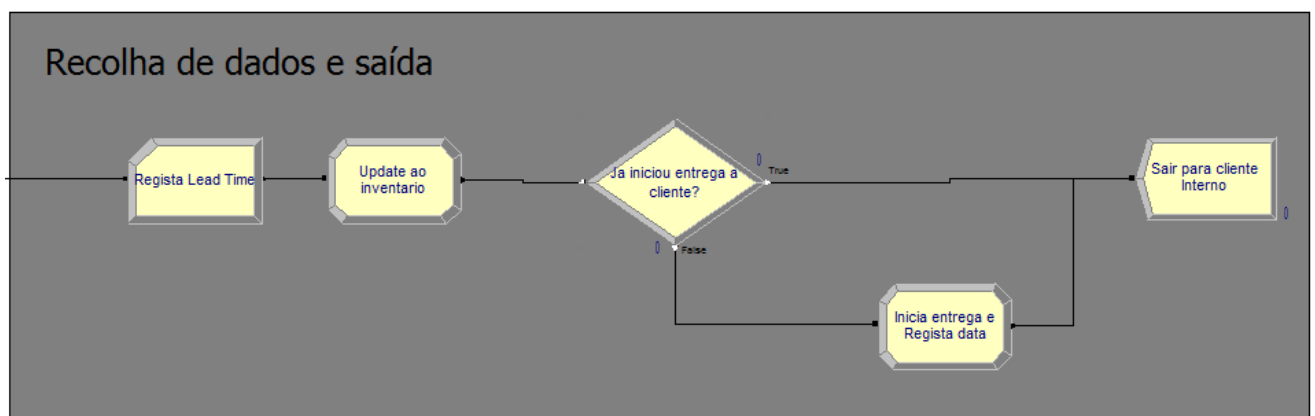


Figura A.VI. 11 - Arena: detalhe da secção 7

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo (Cont)

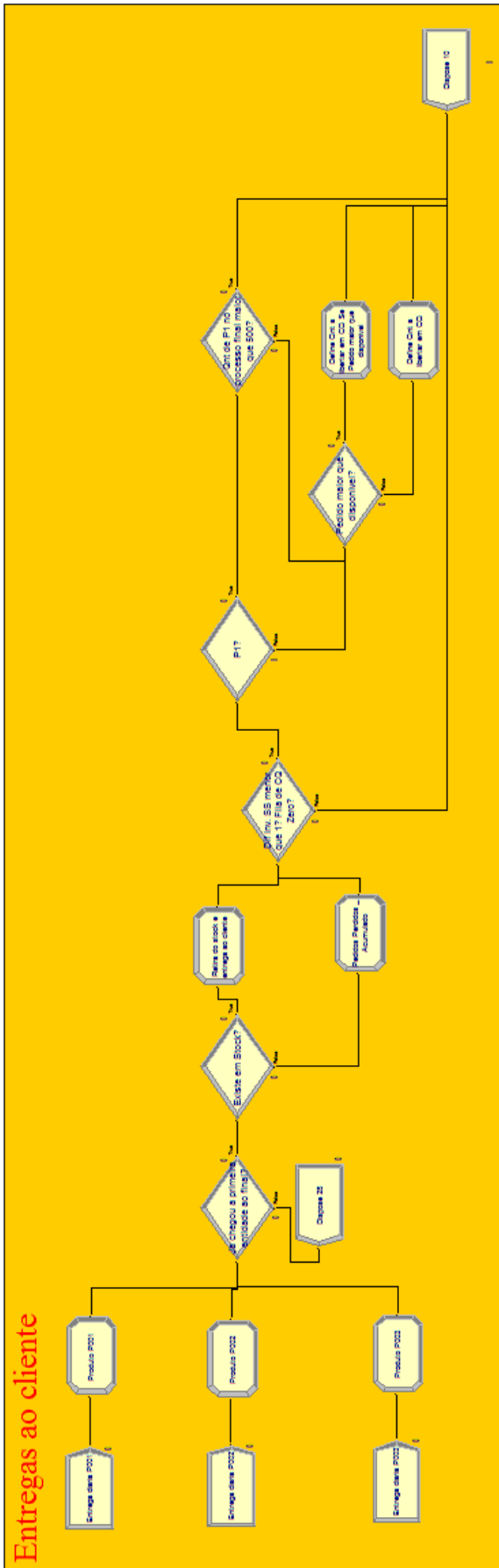


Figura A.VI. 12 - Arena: detalhe da secção 8

A.VI Construção do modelo de simulação – Secções do modelo (Cont.)

Statistic - Advanced Process						
	Name	Type	Expression	Frequency Type	Resource Name	Collection Period
1	Inventario P1	Time-Persistent	Inventario (1)	Value		Entire Replication
2	Inventario P2	Time-Persistent	Inventario (2)	Value		Entire Replication
3	Inventario P3	Time-Persistent	Inventario (3)	Value		Entire Replication
4	Tempo total de Lam 1	Time-Persistent	Tempo de laminagem (1,1)	Value		Entire Replication
5	Tempo total de Lam 2	Time-Persistent	Tempo de laminagem (2,1)	Value		Entire Replication
6	Tempo total de Lam 3	Time-Persistent	Tempo de laminagem (3,1)	Value		Entire Replication
7	Tempo total de Lam 4	Time-Persistent	Tempo de laminagem (4,1)	Value		Entire Replication
8	WIP Total P1	Time-Persistent	WIP (1)	Value		Entire Replication
9	WIP Total P2	Time-Persistent	WIP (2)	Value		Entire Replication
10	WIP Total P3	Time-Persistent	WIP (3)	Value		Entire Replication
11	WIP Total P4	Time-Persistent	WIP (4)	Value		Entire Replication
12	Tempo acumulado de setup de laminagem P1	Output	Setup Laminagem. Tempo total (1)	Value		Entire Replication
13	Tempo acumulado de setup de laminagem P2	Output	Setup Laminagem. Tempo total (2)	Value		Entire Replication
14	Tempo acumulado de setup de laminagem P3	Output	Setup Laminagem. Tempo total (3)	Value		Entire Replication
15	Tempo acumulado de setup de laminagem P4	Output	Setup Laminagem. Tempo total (4)	Value		Entire Replication
16	Avarias de equipamento CHIP	Frequency		State	Chip Equipa	Entire Replication
17	Data de inicio de entrega P1	Time-Persistent	Inicio de entrega_Data (1)	Value		Entire Replication
18	Data de inicio de entrega P2	Time-Persistent	Inicio de entrega_Data (2)	Value		Entire Replication
19	Data de inicio de entrega P3	Time-Persistent	Inicio de entrega_Data (3)	Value		Entire Replication

Figura A.VI. 13 - Arena: painel de estatísticas do Software Arena

A.VII Construção do modelo DBR – Secções do modelo

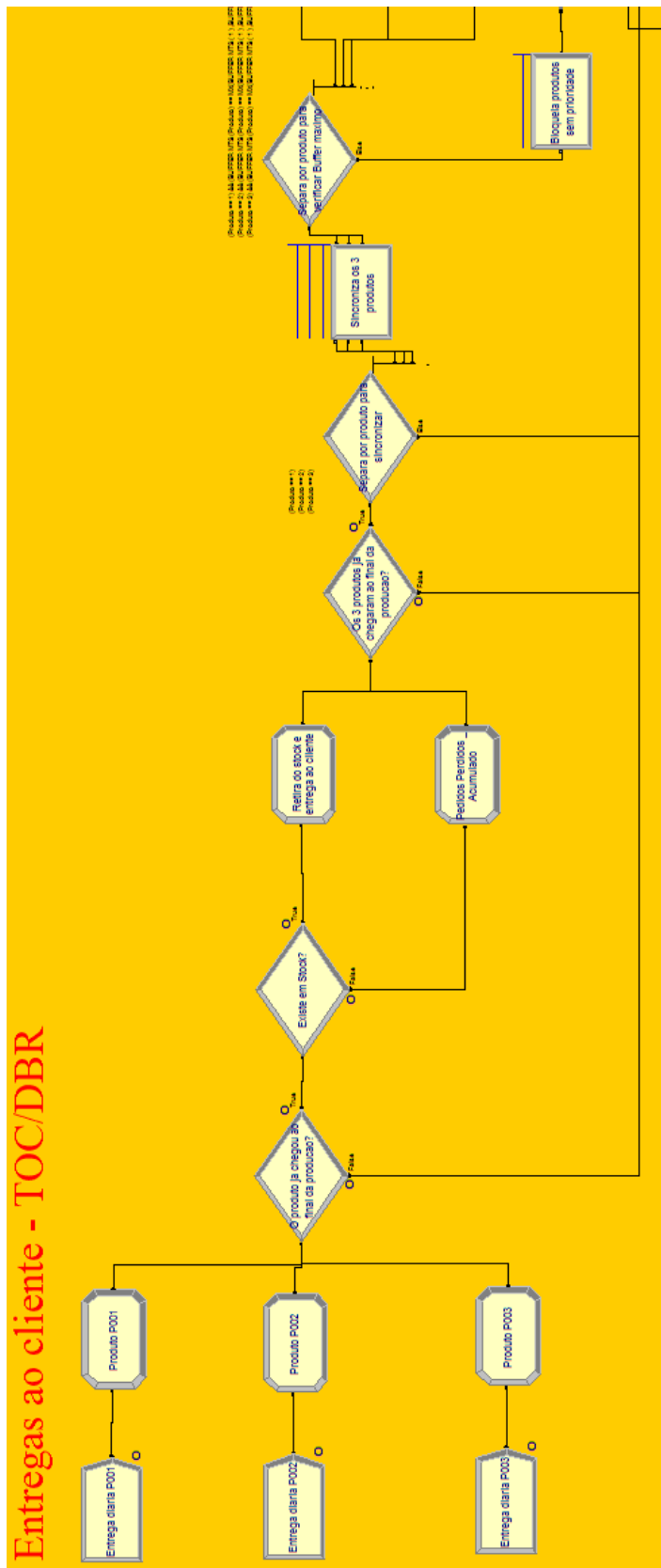


Figura A.VII. 1 - Arena: modelo DBR

A.VII Construção do modelo DBR – Secções do modelo (Cont.)

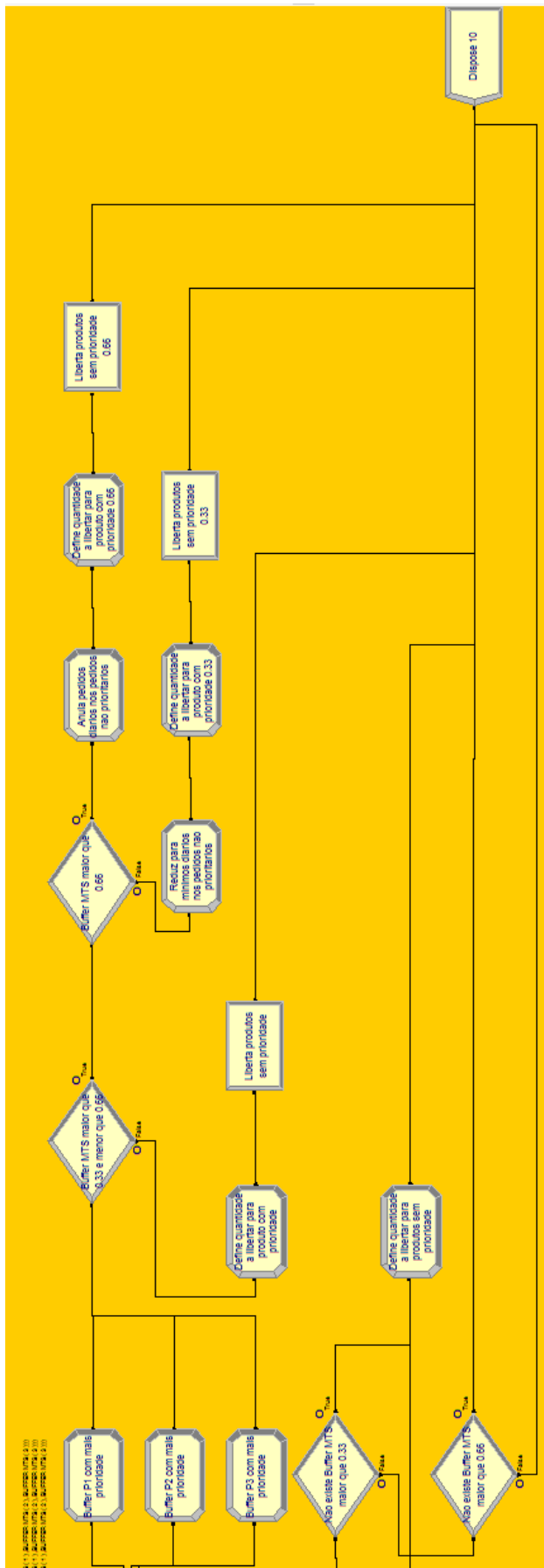


Figura A.VII. 1 - Arena: modelo DBR (Continuação)

A.IX SLP – Análise global

Tabela A.IX 1 – Cálculo do UB e LB para a análise global

Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj	Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj
66,2	10	662	66,2	-10	-662
62,15	5	310,75	62,15	-10	-621,5
62	5	310	62	-10	-620
60,65	5	303,25	60,65	-10	-606,5
57,2	2	114,4	57,2	0	0
56,6	2	113,2	56,6	0	0
56,17	2	112,34	56,17	0	0
54,6	2	109,2	54,6	0	0
53,1	2	106,2	53,1	0	0
51,03	2	102,06	51,03	0	0
50,86	2	101,72	50,86	0	0
50,85	2	101,7	50,85	0	0
50,4	2	100,8	50,4	0	0
50,03	2	100,06	50,03	0	0
49,05	2	98,1	49,05	0	0
48,97	2	97,94	48,97	0	0
47,62	2	95,24	47,62	0	0
47,5	2	95	47,5	0	0
47	1	47	47	0	0
46,85	1	46,85	46,85	0	0
46,83	1	46,83	46,83	0	0
45,91	1	45,91	45,91	0	0
45,77	1	45,77	45,77	0	0
45,48	1	45,48	45,48	0	0
45	0	0	45	0	0
44,88	0	0	44,88	0	0
44,1	0	0	44,1	0	0
44,02	0	0	44,02	0	0
43,3	0	0	43,3	0	0
42,99	0	0	42,99	0	0
41,93	0	0	41,93	0	0
41,57	0	0	41,57	0	0
41,52	0	0	41,52	0	0
41,43	0	0	41,43	0	0
40,22	0	0	40,22	0	0
40,08	0	0	40,08	0	0
39,69	0	0	39,69	0	0
39,56	0	0	39,56	0	0
39,1	0	0	39,1	0	0
38,74	0	0	38,74	0	0
37,93	0	0	37,93	0	0
37,8	0	0	37,8	0	0
37,37	0	0	37,37	0	0
36,85	0	0	36,85	0	0
36,17	0	0	36,17	0	0
36,02	0	0	36,02	0	0
35,87	0	0	35,87	0	0
35,49	0	0	35,49	0	0
35,4	0	0	35,4	0	0
35,22	0	0	35,22	0	0
35,13	0	0	35,13	0	0
34,1	0	0	34,1	0	0
33,6	0	0	33,6	0	0
33,57	0	0	33,57	0	0
32,81	0	0	32,81	0	0
32,67	0	0	32,67	0	0
32,45	0	0	32,45	0	0
32,25	0	0	32,25	0	0
31,83	0	0	31,83	0	0
31,7	0	0	31,7	0	0
30,45	0	0	30,45	0	0
30,33	0	0	30,33	0	0

A.IX SLP – Análise global (Cont.)

Tabela A.IX 1 - Cálculo do UB e LB para a análise global (Continuação)

Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj	Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj
30,23	0	0	30,23	0	0
29,88	0	0	29,88	0	0
29,24	0	0	29,24	0	0
28,83	0	0	28,83	0	0
28,78	0	0	28,78	0	0
28,4	0	0	28,4	0	0
28,2	0	0	28,2	0	0
27,96	0	0	27,96	0	0
27,81	0	0	27,81	0	0
27,19	0	0	27,19	0	0
26,93	0	0	26,93	0	0
26,76	0	0	26,76	0	0
26,57	0	0	26,57	0	0
26,51	0	0	26,51	0	0
26,45	0	0	26,45	0	0
26,13	0	0	26,13	0	0
25,92	0	0	25,92	0	0
25,77	0	0	25,77	0	0
25,5	0	0	25,5	0	0
24,78	0	0	24,78	0	0
24,7	0	0	24,7	0	0
24,63	0	0	24,63	0	0
24,47	0	0	24,47	0	0
24,27	0	0	24,27	0	0
23,1	0	0	23,1	0	0
23,05	0	0	23,05	0	0
22,28	0	0	22,28	0	0
22,2	0	0	22,2	0	0
22,07	0	0	22,07	0	0
22,03	0	0	22,03	0	0
21,5	0	0	21,5	0	0
21,15	0	0	21,15	0	0
20,73	0	0	20,73	0	0
20,7	0	0	20,7	0	0
20,63	0	0	20,63	0	0
20,49	0	0	20,49	0	0
20,47	0	0	20,47	0	0
20,43	0	0	20,43	0	0
20,39	0	0	20,39	0	0
19,45	0	0	19,45	0	0
19,22	0	0	19,22	0	0
19,2	0	0	19,2	0	0
19,15	0	0	19,15	0	0
18,72	0	0	18,72	0	0
18,7	0	0	18,7	0	0
18,6	0	0	18,6	0	0
18,58	0	0	18,58	0	0
18,33	0	0	18,33	1	18,33
18,27	0	0	18,27	1	18,27
18,05	0	0	18,05	1	18,05
17,23	0	0	17,23	1	17,23
17,07	0	0	17,07	1	17,07
17,03	0	0	17,03	1	17,03
16,94	0	0	16,94	1	16,94
15,68	0	0	15,68	1	15,68
15,64	0	0	15,64	1	15,64
15,6	0	0	15,6	1	15,6
15,15	0	0	15,15	1	15,15
15	0	0	15	1	15
14,91	0	0	14,91	1	14,91
14,67	0	0	14,67	1	14,67
14,65	0	0	14,65	1	14,65
14,38	0	0	14,38	1	14,38
13,75	0	0	13,75	2	27,5
13,23	0	0	13,23	2	26,46
13,18	0	0	13,18	2	26,36

A.IX SLP – Análise global (Cont.)

Tabela A.IX 1 - Cálculo do UB e LB para a análise global (Continuação)

Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj	Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj
13,1	0	0	13,1	2	26,2
13,1	0	0	13,1	2	26,2
13,03	0	0	13,03	2	26,06
12,4	0	0	12,4	2	24,8
12,17	0	0	12,17	2	24,34
12,12	0	0	12,12	2	24,24
11,75	0	0	11,75	2	23,5
11,6	0	0	11,6	2	23,2
11,29	0	0	11,29	2	22,58
11,17	0	0	11,17	2	22,34
11	0	0	11	2	22
10,93	0	0	10,93	2	21,86
10,86	0	0	10,86	2	21,72
9,82	0	0	9,82	2	19,64
9,63	0	0	9,63	2	19,26
9,6	0	0	9,6	2	19,2
8,98	0	0	8,98	2	17,96
8,4	0	0	8,4	2	16,8
8,05	0	0	8,05	5	40,25
7,55	0	0	7,55	5	37,75
6,75	0	0	6,75	5	33,75
6,64	-10	-66,4	6,64	5	33,2
6,14	-10	-61,4	6,14	5	30,7
5,98	-10	-59,8	5,98	10	59,8
5,55	-10	-55,5	5,55	10	55,5
UB =3068			LB =-1478		

Tabela A.IX 2 - Matriz das distâncias para a primeira solução da análise global

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	0	14,55	25,46	24,98	17,9	25,89	49,05	20,93	41,22	33,73	42,48	54,65	31,59	25,33	22,26	22,57	34,14	10,71
B	14,55	0	26,71	10,43	15,93	40,44	34,5	6,38	26,67	19,18	27,93	40,1	17,04	10,78	7,71	37,12	19,59	25,26
C	25,46	26,71	0	17,86	10,78	13,73	23,59	33,09	15,76	26,61	35,36	29,19	24,47	37,49	34,42	10,41	46,3	16,89
D	24,98	10,43	17,86	0	7,08	31,59	24,07	15,23	16,24	8,75	17,5	29,67	6,61	19,63	16,56	28,27	28,44	16,41
E	17,9	15,93	10,78	7,08	0	24,51	31,15	22,31	23,32	15,83	24,58	36,75	13,69	26,71	23,64	21,19	35,52	9,33
F	25,89	40,44	13,73	31,59	24,51	0	37,32	46,82	29,49	40,34	49,09	42,92	38,2	51,22	48,15	3,32	60,03	15,18
G	49,05	34,5	23,59	24,07	31,15	37,32	0	28,12	7,83	15,32	11,77	5,6	17,46	23,72	26,79	34	22,71	40,48
H	20,93	6,38	33,09	15,23	22,31	46,82	28,12	0	20,29	12,8	21,55	33,72	10,66	4,4	1,33	43,5	13,21	31,64
I	41,22	26,67	15,76	16,24	23,32	29,49	7,83	20,29	0	10,85	19,6	13,43	9,63	21,73	18,96	26,17	30,54	32,65
J	33,73	19,18	26,61	8,75	15,83	40,34	15,32	12,8	10,85	0	8,75	20,92	2,14	10,88	11,47	37,02	19,69	25,16
K	42,48	27,93	35,36	17,5	24,58	49,09	11,77	21,55	19,6	8,75	0	12,17	10,89	17,15	20,22	45,77	10,94	33,91
L	54,65	40,1	29,19	29,67	36,75	42,92	5,6	33,72	13,43	20,92	12,17	0	23,06	29,32	32,39	39,6	20,51	46,08
M	31,59	17,04	24,47	6,61	13,69	38,2	17,46	10,66	9,63	2,14	10,89	23,06	0	13,02	9,95	34,88	21,83	23,02
N	25,33	10,78	37,49	19,63	26,71	51,22	23,72	4,4	21,73	10,88	17,15	29,32	13,02	0	3,07	47,9	8,81	36,04
O	22,26	7,71	34,42	16,56	23,64	48,15	26,79	1,33	18,96	11,47	20,22	32,39	9,95	3,07	0	44,83	11,88	32,97
P	22,57	37,12	10,41	28,27	21,19	3,32	34	43,5	26,17	37,02	45,77	39,6	34,88	47,9	44,83	0	56,71	11,86
Q	34,14	19,59	46,3	28,44	35,52	60,03	22,71	13,21	30,54	19,69	10,94	20,51	21,83	8,81	11,88	56,71	0	44,85
R	10,71	25,26	16,89	16,41	9,33	15,18	40,48	31,64	32,65	25,16	33,91	46,08	23,02	36,04	32,97	11,86	44,85	0

Tabela A.IX 3 - Matriz das distâncias percorridas para a primeira solução da análise global

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	-	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	-	190	0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	-	259	35	0	0	0	535	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	-	79	0	0	0	227	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	91	0	-	0	0	0	337	0	0	270	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	-	0	0	733	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	-	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0
I	0	0	17	551	0	0	0	0	-	685	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	553	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	94	0	-	710	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	270	0	0	0	0	0	0	-	0	1711	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1101	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	1101	-	116	2094	385	679
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	-	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	2479	0
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	770	0	0	-	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

A.IX SLP – Análise global (Cont.)

Tabela A.IX 4 - Matriz das distâncias para a segunda solução da análise global

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	0	15,05	20,88	33,01	21,35	32,68	38,77	36,18	46,93	57,18	31,25	11,75	40,23	42,55	44,22	53,32	47,59	14,07
B	15,05	0	7,23	17,96	6,3	17,63	23,72	21,13	31,88	42,13	35,7	7,3	44,68	47	48,67	38,27	32,54	18,52
C	20,88	7,23	0	25,19	13,53	11,8	17,89	15,3	26,05	36,3	42,93	13,13	51,91	54,23	55,9	45,5	39,77	25,75
D	33,01	17,96	25,19	0	11,66	13,39	7,3	9,89	13,92	24,17	17,74	25,26	26,72	29,04	30,71	20,31	14,58	18,94
E	21,35	6,3	13,53	11,66	0	11,33	17,42	14,83	25,58	35,83	29,4	13,6	38,38	40,7	42,37	31,97	26,24	12,22
F	32,68	17,63	11,8	13,39	11,33	0	6,09	3,5	14,25	24,5	31,13	24,93	40,11	42,43	44,1	33,7	27,97	18,61
G	38,77	23,72	17,89	7,3	17,42	6,09	0	2,59	8,16	18,41	25,04	31,02	34,02	36,34	38,01	27,61	21,88	24,7
H	36,18	21,13	15,3	9,89	14,83	3,5	2,59	0	10,75	21	27,63	28,43	36,61	38,93	40,6	30,2	24,47	22,11
I	46,93	31,88	26,05	13,92	25,58	14,25	8,16	10,75	0	10,25	16,88	39,18	25,86	28,18	29,85	19,45	13,72	32,86
J	57,18	42,13	36,3	24,17	35,83	24,5	18,41	21	10,25	0	25,93	49,43	16,95	17,93	19,6	9,2	9,59	43,11
K	31,25	35,7	42,93	17,74	29,4	31,13	25,04	27,63	16,88	25,93	0	43	8,98	11,3	12,97	22,07	16,34	17,18
L	11,75	7,3	13,13	25,26	13,6	24,93	31,02	28,43	39,18	49,43	43	0	51,98	54,3	55,97	45,57	39,84	25,82
M	40,23	44,68	51,91	26,72	38,38	40,11	34,02	36,61	25,86	16,95	8,98	51,98	0	2,32	3,99	13,09	12,14	26,16
N	42,55	47	54,23	29,04	40,7	42,43	36,34	38,93	28,18	17,93	11,3	54,3	2,32	0	1,67	10,77	14,46	28,48
O	44,22	48,67	55,9	30,71	42,37	44,1	38,01	40,6	29,85	19,6	12,97	55,97	3,99	1,67	0	10,4	16,13	30,15
P	53,32	38,27	45,5	20,31	31,97	33,7	27,61	30,2	19,45	9,2	22,07	45,57	13,09	10,77	10,4	0	5,73	39,25
Q	47,59	32,54	39,77	14,58	26,24	27,97	21,88	24,47	13,72	9,59	16,34	39,84	12,14	14,46	16,13	5,73	0	33,52
R	14,07	18,52	25,75	18,94	12,22	18,61	24,7	22,11	32,86	43,11	17,18	25,82	26,16	28,48	30,15	39,25	33,52	0

Tabela A.IX 5 - Matriz das distâncias percorrida para a segunda solução da análise global

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
A	-	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	-	51	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	-	365	44	0	0	0	884	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	-	130	0	0	0	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	115	0	-	0	0	0	370	0	0	100	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	-	0	0	354	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	-	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	286	0	0	0	0
I	0	0	28	472	0	0	0	0	-	647	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1638	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	81	0	-	2509	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	-	0	3169	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	196	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	286	0	0	0	0	196	-	63	471	632	537
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	-	0	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	250	0
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1264	0	0	-	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

A.X SLP – Análise específica

Tabela A.X 1 - Posições XY e áreas para a análise específica

Departamento		Área	Pos. X	Pos. Y
E	Corte papel	31,2	1,05	4,17
F	Dovid	22,8	2,67	14,3
G	FioH	13,5	11,7	2,7
H	Saída para processos intermédios	1,9	7,15	13,41
L	Cortar Cartões	46,9	7,15	4,13
M	Escolher Cartões	18,6	13,25	9,2
N	Cofre cartões Intermédios/Final	34,8	6,95	24,4
O	Banda magnética / Personalização	4,1	14,55	21
P	Colocar cola em Chip	13,2	13,85	16,15
Q	Colocar Chip	76,8	8,45	17,5

Tabela A.X 2 - Carta De-Para. Análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	1050432	66138	0	0	0	0	0
F	0	-	0	223729	0	0	0	0	0	0
G	0	0	-	289423	0	0	0	0	0	0
H	1050432	0	0	-	525216	0	0	0	0	0
L	66138	0	0	0	-	0	525216	0	0	0
M	0	0	0	0	0	-	761010	0	0	0
N	0	0	0	0	0	761010	-	339311	393385	169656
O	0	0	0	0	0	0	339311	-	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	-	393385
Q	0	0	0	0	0	0	617114	0	0	-

Tabela A.X 3 - Carta De Fluxos para a análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	2100864	132276	0	0	0	0	0
F		-	0	223729	0	0	0	0	0	0
G			-	289423	0	0	0	0	0	0
H				-	525216	0	0	0	0	0
L					-	0	525216	0	0	0
M						-	1522019	0	0	0
N							-	678623	393384,6	786769
O								-	0	0
P									-	393385
Q										-

Tabela A.X 4 - Matriz distâncias para a análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	0	11,75	12,12	15,34	6,14	17,23	26,13	30,33	24,78	20,73
F	11,75	0	20,63	5,37	14,65	15,68	14,38	18,58	13,03	8,98
G	12,12	20,63	0	15,26	5,98	8,05	26,45	21,15	15,6	18,05
H	15,34	5,37	15,26	0	9,28	10,31	11,19	14,99	9,44	5,39
L	6,14	14,65	5,98	9,28	0	11,17	20,47	24,27	18,72	14,67
M	17,23	15,68	8,05	10,31	11,17	0	21,5	13,1	7,55	13,1
N	26,13	14,38	26,45	11,19	20,47	21,5	0	11	15,15	8,4
O	30,33	18,58	21,15	14,99	24,27	13,1	11	0	5,55	9,6
P	24,78	13,03	15,6	9,44	18,72	7,55	15,15	5,55	0	6,75
Q	20,73	8,98	18,05	5,39	14,67	13,1	8,4	9,6	6,75	0

A.X SLP – Análise específica (Cont.)

Tabela A.X 5 - Matriz das distâncias RDS para a análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	153,4	6,14	0	0	0	0	0
F		-	0	5,37	0	0	0	0	0	0
G			-	15,26	0	0	0	0	0	0
H				-	9,28	0	0	0	0	0
L					-	0	20,47	0	0	0
M						-	107,5	0	0	0
N							-	22	15,15	16,8
O								-	0	0
P									-	6,75
Q										-

Tabela A.X 6 - Cálculo do índice R-Score para a análise específica

Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj	Distâncias entre departamentos (Dj)	Tipo de relação (Sj)	Dj X Sj
30,33	10	303,3	30,33	0	0
26,45	1	26,45	26,45	0	0
26,13	1	26,13	26,13	0	0
24,78	1	24,78	24,78	0	0
24,27	1	24,27	24,27	0	0
21,5	1	21,5	21,5	0	0
21,15	5	105,75	21,15	0	0
20,73	2	41,46	20,73	0	0
20,63	1	20,63	20,63	0	0
20,47	2	40,94	20,47	0	0
18,72	1	18,72	18,72	0	0
18,58	0	0	18,58	0	0
18,05	0	0	18,05	0	0
17,23	0	0	17,23	0	0
15,68	0	0	15,68	0	0
15,6	0	0	15,6	0	0
15,34	0	0	15,34	0	0
15,26	0	0	15,26	0	0
15,15	0	0	15,15	0	0
14,99	0	0	14,99	0	0
14,67	0	0	14,67	0	0
14,65	0	0	14,65	0	0
14,38	0	0	14,38	0	0
13,1	0	0	13,1	0	0
13,1	0	0	13,1	0	0
13,03	0	0	13,03	0	0
12,12	0	0	12,12	0	0
11,75	0	0	11,75	0	0
11,19	0	0	11,19	0	0
11,17	0	0	11,17	0	0
11	0	0	11	0	0
10,31	0	0	10,31	0	0
9,6	0	0	9,6	0	0
9,44	0	0	9,44	0	0
9,28	0	0	9,28	1	9,28
8,98	0	0	8,98	1	8,98
8,4	0	0	8,4	1	8,4
8,05	0	0	8,05	1	8,05
7,55	0	0	7,55	1	7,55
6,75	0	0	6,75	1	6,75
6,14	0	0	6,14	1	6,14
5,98	0	0	5,98	2	11,96
5,55	0	0	5,55	2	11,1
5,39	0	0	5,39	5	26,95
5,37	0	0	5,37	10	53,7
	UB =	653,9		LB =	158,8

A.X SLP – Análise específica (Cont.)

Tabela A.X 7 - Número médio de lotes entre departamentos para a análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	26	7	0	0	0	0	0
F	0	-	0	25	0	0	0	0	0	0
G	0	0	-	32	0	0	0	0	0	0
H	26	0	0	-	58	0	0	0	0	0
L	7	0	0	0	-	0	58	0	0	0
M	0	0	0	0	0	-	85	0	0	0
N	0	0	0	0	0	85	-	38	44	19
O	0	0	0	0	0	0	38	-	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	-	44
Q	0	0	0	0	0	0	69	0	0	-

Tabela A.X 8 - Matriz das distâncias médias percorridas para a análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	402,8	45,1	0	0	0	0	0
F	0	-	0	133,5	0	0	0	0	0	0
G	0	0	-	490,7	0	0	0	0	0	0
H	402,8	0	0	-	541,6	0	0	0	0	0
L	45,1	0	0	0	-	0	1194,6	0	0	0
M	0	0	0	0	0	-	1818,0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	1818,0	-	414,7	662,2	158,3
O	0	0	0	0	0	0	414,7	-	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	-	295,0
Q	0	0	0	0	0	0	576,0	0	0	-

A.X SLP – Análise específica (Cont)

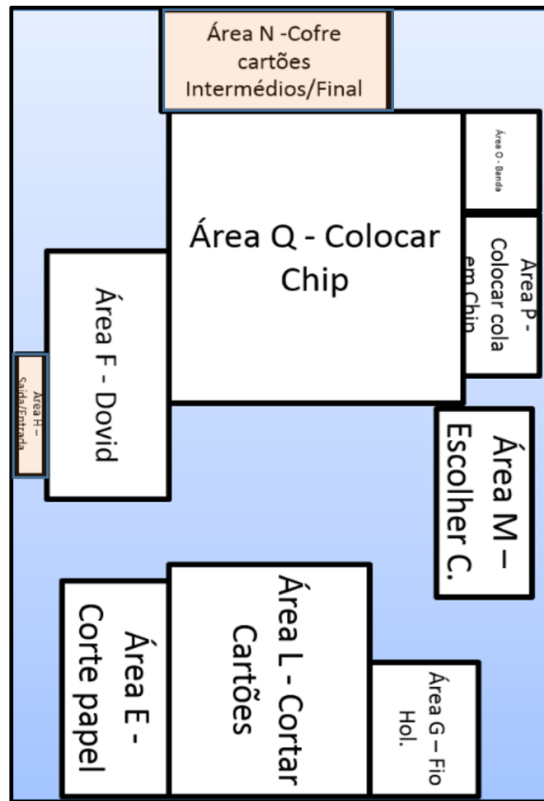


Figura A.X 1 – Análise específica: Visualização do layout conceptual com os departamentos com restrição.

Tabela A.X 9 - Matriz das distâncias para a primeira alternativa da análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	0	5,1	11	9,35	6,52	12,06	19,66	12,7	8,5	14,52
F	5,1	0	5,9	14,45	11,42	17,16	14,56	7,6	3,4	9,42
G	11	5,9	0	20,35	17,32	23,06	15,06	1,7	2,5	9,32
H	9,35	14,45	20,35	0	3,03	8,17	16,17	22,05	17,85	11,03
L	6,52	11,42	17,32	3,03	0	5,74	13,14	19,02	14,82	8
M	12,06	17,16	23,06	8,17	5,74	0	8	24,76	20,56	13,74
N	19,66	14,56	15,06	16,17	13,14	8	0	16,76	12,56	5,74
O	12,7	7,6	1,7	22,05	19,02	24,76	16,76	0	4,2	11,02
P	8,5	3,4	2,5	17,85	14,82	20,56	12,56	4,2	0	6,82
Q	14,52	9,42	9,32	11,03	8	13,74	5,74	11,02	6,82	0

Tabela A.X 10 - Matriz das distâncias percorridas para a primeira alternativa da análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	246	48	0	0	0	0	0
F	0	-	0	359	0	0	0	0	0	0
G	0	0	-	654	0	0	0	0	0	0
H	246	0	0	-	177	0	0	0	0	0
L	48	0	0	0	-	0	767	0	0	0
M	0	0	0	0	0	-	676	0	0	0
N	0	0	0	0	0	676	-	632	549	108
O	0	0	0	0	0	0	632	-	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	-	298
Q	0	0	0	0	0	0	394	0	0	-

A.X SLP – Análise específica (Cont)

Tabela A.X 11 – Matriz das distâncias para a segunda alternativa da análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	0	6,45	10,71	9,59	6,53	13,53	16,24	20,66	22,64	13,22
F	6,45	0	4,26	16,04	12,98	19,98	13,93	14,21	16,19	6,77
G	10,71	4,26	0	20,3	17,24	24,24	18,19	13,77	11,93	9,27
H	9,59	16,04	20,3	0	3,06	8	14,05	18,47	20,45	11,03
L	6,53	12,98	17,24	3,06	0	7	10,99	15,41	17,39	7,97
M	13,53	19,98	24,24	8	7	0	6,05	10,47	12,45	14,97
N	16,24	13,93	18,19	14,05	10,99	6,05	0	4,42	6,4	8,92
O	20,66	14,21	13,77	18,47	15,41	10,47	4,42	0	1,98	7,44
P	22,64	16,19	11,93	20,45	17,39	12,45	6,4	1,98	0	9,42
Q	13,22	6,77	9,27	11,03	7,97	14,97	8,92	7,44	9,42	0

Tabela A.X 12 - Matriz das distâncias percorridas para a segunda alternativa da análise específica

	E	F	G	H	L	M	N	O	P	Q
E	-	0	0	252	48	0	0	0	0	0
F	0	-	0	399	0	0	0	0	0	0
G	0	0	-	653	0	0	0	0	0	0
H	252	0	0	-	179	0	0	0	0	0
L	48	0	0	0	-	0	641	0	0	0
M	0	0	0	0	0	-	512	0	0	0
N	0	0	0	0	0	512	-	167	280	168
O	0	0	0	0	0	0	167	-	0	0
P	0	0	0	0	0	0	0	0	-	412
Q	0	0	0	0	0	0	612	0	0	-