



Filipa Pereira Germano Arantes e Oliveira

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Análise do desempenho de um centro de reprocessamento de dispositivos médicos recorrendo à simulação

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

Orientadora: Professora Doutora Ana Paula Barroso,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade NOVA de Lisboa

Coorientadora: Professora Doutora Virgínia Helena Machado,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Susana Carla Vieira Lino Medina Duarte

Vogais: Doutor Izunildo Fernandes Cabral
Doutora Ana Paula Ferreira Barroso
Doutor António Farias



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2020

[Análise do desempenho de um centro de reprocessamento de dispositivos médicos recorrendo à simulação]

Copyright © Filipa Pereira Germano Arantes e Oliveira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 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.

Aos meus pais

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a disponibilidade da minha orientadora, a Prof.^a Dr.^a Ana Paula Barroso, que mediante as dificuldades relacionadas com a pandemia COVID 19 me conseguiu dar o apoio necessário para que concluísse esta etapa.

Gostaria também de agradecer ao Dr. Pedro Lucena e Valle pela oportunidade de realizar o estágio no RUMED, mediante tempos incertos. Devo os meus agradecimentos também ao Dr. António Farias, responsável operacional do RUMED, cuja constante disponibilidade me possibilitou aprender diariamente não só sobre processo de reprocessamento, mas também sobre a liderança e toda a responsabilidade que implica. Agradeço também o Dr. Pedro Rodrigues, responsável pela conceção do RUMED, cujos ensinamentos e opiniões se manifestaram muito úteis para o trabalho desenvolvido.

Um especial agradecimento à equipa de manutenção, em particular aos Engenheiros João Almeida e Ricardo Brito, à coordenação logística, constituída pela Dr.^a Rita Araújo, Dr. Carlos Mateus e Dr. João Polónia e à equipa da coordenação técnica, com destaque para as enfermeiras Benilde Folgado e Ana Paula Silva. Estou igualmente grata à equipa de técnicos operacionais de esterilização pela ajuda no processo de recolha de informação.

Por fim, devo um sincero obrigado à minha família e aos meus amigos, com destaque para os meus pais pela confiança e apoio ao longo destes 5 anos.

Resumo

Uma das atividades com maior impacto operacional nas unidades de saúde, i.e., nas clínicas e nos hospitais, é o reprocessamento de dispositivos médicos que, muito sucintamente, são instrumentos utilizados por profissionais de saúde para prevenir, diagnosticar ou tratar uma doença humana. Nos últimos anos, as unidades de saúde têm optado, de uma forma crescente, pela subcontratação desta atividade a centros de reprocessamento de dispositivos médicos (RUMEDs), pelos benefícios económicos e de segurança associados. Os RUMEDs têm como missão (i) garantir a fiabilidade e aptidão para uso de um dispositivo médico estéril e (ii) transportar tais dispositivos desde as unidades de saúde até às suas instalações. Atualmente, os RUMEDs enfrentam desafios de eficiência relacionados com a previsibilidade do que chega às suas instalações, sincronização dos processos de reprocessamento e elevados tempos de espera.

O estudo de caso apresentado incide sobre um RUMED sediado em Lisboa e tem como objetivo avaliar o seu desempenho atual no que diz respeito ao cumprimento do nível de serviço acordado com as unidades de saúde suas clientes. Com base nesta avaliação, ainda era objetivo melhorar o desempenho global do reprocessamento de dispositivos médios.

A simulação foi a ferramenta utilizada para avaliar o desempenho atual do RUMED e testar o impacto das propostas de melhoria.

As propostas de melhoria desenvolvidas baseiam-se na filosofia *Lean*, assentes na eliminação de desperdícios, como os tempos de espera, e foram agregadas em seis cenários de três tipos.

O Cenário do tipo A tem como base o nivelamento das chegadas dos dispositivos médicos ao RUMED e os Cenários do tipo B e C têm como finalidade testar a resposta do RUMED ao aumento do número de técnicos operacionais de esterilização nas zonas de descontaminação e de inspeção e embalagem, respetivamente.

O cenário que, do ponto de vista operacional, mais beneficia o RUMED propõe (i) o nivelamento das chegadas dos dispositivos médicos; (ii) a alocação de mais dois técnicos operacionais de esterilização à zona de descontaminação para os turnos da manhã e noite face à situação atual e (iii) a alocação de apenas sete técnicos operacionais de esterilização à zona de inspeção e embalagem nos 3 turnos. Estima-se que ao adotar estas propostas, o RUMED cumpra o nível de serviço acordado com todas as unidades de saúde. No final, é realizada uma análise crítica dos cenários à luz dos objetivos enunciados e são propostas sugestões para utilizar em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Dispositivos médicos, Centro de reprocessamento de dispositivos médicos, Filosofia *Lean*, Simulação

Abstract

Over the last years, reprocessing procedures have loomed to be the achilles heel of healthcare providers and facilities. This has forged many healthcare facilities to seek reprocessing units for medical devices. Medical devices can very briefly be defined as instruments used by healthcare professionals to prevent, diagnosis and treat a medical condition. These are specialized centers that have in place appropriate policies and procedures that are consistent with current healthcare standards and guidelines. Their mission is to (i) guarantee reliability and aptitude of sterile medical devices and (ii) to secure a safe transportation to their corresponded healthcare unit. Currently, reprocessing units for medical devices challenges are related to predictability of what arrives at its centers, synchronization of reprocessing processes and long waiting times.

The present study aimed to investigate a reprocessing unit for medical devices based in Lisbon, on its service-level agreement with costumer healthcare units. The work sought to determine if the agreement between the two parties, the reprocessing unit for medical devices and the healthcare unit, was fulfilled, to what extent and potential refinement strategies. Considering the previous evaluation, further research was conducted to improve the global performance of the reprocessing of medical devices.

Simulation was the tool used to appraise reprocessing unit for medical devices' actual execution and the impact that improvement proposals.

The proposals were developed using a *Lean*-based methodology which is based on one guiding tenet, creating value to the customer by optimizing resources. This means reducing waste and adding customer defined value to products and services, such as the waiting time. The proposals were grouped into six scenarios of three types.

The type A Scenario is established on levelling medical devices arrivals to the reprocessing unit for medical devices, while Scenarios from types B and C intend to test the reprocessing unit for medical devices' response to an increase in the number of operational sterilization technicians in the decontamination, inspection and packaging zones, respectively.

The scenario that proved to be the most beneficial to the reprocessing unit for medical devices proposes (i) levelling medical devices arrivals to the reprocessing unit for medical devices; (ii) the allocation of two more operational sterilization technicians to the decontamination zone, for the morning and night shifts and (iii) the allocation of only seven operational sterilization technicians to the inspection and packaging area during the 3 shifts. We anticipate that by adopting the proposals comprised, the reprocessing unit for medical devices is able to comply with the service level agreement agreed between all healthcare units. To conclude, a critical analysis of the scenarios was carried out emphasizing the work objectives and suggestions for future work were proposed.

Key words: Medical devices, Reprocessing units for medical devices, *Lean* Methodology, Simulation

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento, motivação e justificação do tema	1
1.2.	Objetivos	2
1.3.	Metodologia de investigação	2
1.4.	Estrutura do documento	3
2.	<i>Lean</i> e simulação no reprocessamento de dispositivos médicos.....	5
2.1.	O reprocessamento de dispositivos médicos	5
2.1.1.	Dispositivos médicos.....	5
2.1.2.	Evolução do reprocessamento de dispositivos médicos.....	7
2.1.3.	Reprocessamento atual de dispositivos médicos	7
2.1.4.	O paradigma da terceirização do reprocessamento de dispositivos médicos ..	10
2.1.5.	Desafios	11
2.2.	<i>Lean</i> na saúde	12
2.2.1.	A filosofia <i>Lean</i>	12
2.2.2.	A filosofia <i>Lean</i> aplicada à saúde	15
2.2.3.	Obstáculos na integração da filosofia <i>Lean</i> no contexto da saúde	18
2.2.4.	Ferramentas <i>Lean</i> mais prevalentes na saúde.....	19
2.3.	Simulação	21
2.3.1.	Objetivos da simulação	21
2.3.2.	Estudo de um sistema através de um modelo de simulação	21
2.3.3.	Metodologia de desenvolvimento de um estudo de simulação	23
2.3.4.	O <i>software</i> Arena	27
2.3.5.	Análise do <i>Input</i>	27
2.3.6.	Análise do <i>Output</i>	30
2.4.	Síntese.....	33
3.	Caracterização do estudo de caso	35
3.1.	Centro de reprocessamento de dispositivos médicos.....	35

3.2.	Contextualização do problema	35
3.3.	Classificação dos dispositivos médicos	36
3.3.1.	Dispositivos médicos individuais	37
3.3.2.	Caixas cirúrgicas.....	37
3.3.3.	Dispositivos médicos consignados	38
3.4.	Caracterização da procura	39
3.4.1.	Clientes do centro de reprocessamento de dispositivos médicos	39
3.4.2.	Caracterização das chegadas	41
3.5.	Ciclo de reprocessamento dos dispositivos médicos	42
3.5.1.	Dispositivos médicos das unidades de saúde	42
3.5.2.	Dispositivos médicos consignados	43
3.6.	Estágio de reprocessamento	44
3.6.1.	Etapa de descontaminação	45
3.6.2.	Etapa de inspeção e embalagem	48
3.6.3.	Etapa de esterilização e controlo da qualidade	50
3.6.4.	Reprocessamento dos materiais que acondicionam os dispositivos médicos	52
3.7.	Alocação de recursos.....	53
3.8.	Síntese.....	55
4.	Modelo de simulação do reprocessamento de dispositivos médicos	57
4.1.	Enquadramento.....	57
4.2.	Estudo da duração dos processos	57
4.2.1.	Recolha de informação sobre a duração dos processos	58
4.2.2.	Ajuste dos dados a uma distribuição	58
4.2.	Chegadas de dispositivos médicos	60
4.2.1.	Chegadas de DMs consignados para devolução.....	60
4.2.2.	Chegadas de DMs consignados para utilização	61
4.3.	Desenvolvimento do modelo de simulação	62
4.3.1.	Pressupostos	62
4.3.2.	Modelo de simulação do sistema	63

4.3.3.	Verificação e validação	63
4.4.	Resultados da simulação	65
4.5.	Síntese.....	69
5.	Propostas de melhoria	71
5.1.	Diagnóstico dos obstáculos.....	71
5.1.1.	Processo não nivelado	71
5.1.2.	Variabilidade nas chegadas dos DMs consignados para utilização.....	72
5.1.3.	Excesso ou ineficiência na alocação de TOEs	74
5.2.	Metodologia para identificação e avaliação de cenários de melhoria	74
5.3.	Cenários de melhoria	75
5.3.1.	Cenário A.....	75
5.3.2.	Cenário B1	76
5.3.3.	Cenário B2.....	78
5.3.4.	Cenário C1.....	80
5.3.5.	Cenário C2.....	81
5.3.6.	Cenário C3.....	82
5.4.	Comparação de cenários e hipóteses de solução	83
5.5.	Síntese.....	84
6.	Conclusões	87
6.1.	Conclusões gerais.....	87
6.2.	Principais obstáculos e limitações do estudo de caso	90
6.3.	Sugestões para trabalhos futuros.....	91
	Bibliografia	93
	Anexo A - 7 Desperdícios <i>Lean</i> no contexto da saúde	97
	Anexo B - Ferramentas <i>Lean</i>	98
	Anexo C - Distribuições e respectivas finalidades	102
	Anexo D - Estudo de cronometragem.....	103
	Anexo E - Quantidade de DMs que chegam diariamente ao RUMED	105
	Anexo F - Modelo de simulação do RUMED	106

Anexo G - Diagrama de Pareto	119
Anexo H - Taxas de chegada dos DMs atuais e propostas	121
Anexo I - Plano de reprocessamento.....	122
Anexo J.1 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário A	124
Anexo J.2 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário B1	125
Anexo J.3 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário B2	126
Anexo J.4 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário C1	127
Anexo J.5 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário C2	128
Anexo J.6 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário C3	129
Anexo L - Taxas de ocupação dos TOEs	130

Índice de figuras

Figura 1.1 - Metodologia de investigação para a realização da dissertação	3
Figura 2.1 - <i>Layout</i> de um RUMED	9
Figura 2.2 - Casa <i>Lean</i>	14
Figura 2.3 - Enquadramento temporal do <i>Lean Healthcare</i>	16
Figura 2.4 - Metodologia de gestão da produção com base no TT	20
Figura 2.5 - Métodos para estudo de um sistema	22
Figura 2.6 - Metodologia de desenvolvimento de um estudo de simulação	24
Figura 2.7 - Diagramas de dispersão	28
Figura 3.1 - Exemplo de DMs reprocessados no RUMED em estudo	36
Figura 3.2 - Classificação dos DMs reprocessados no RUMED	37
Figura 3.3 - Volume de reprocessamento mensal por grupo no último semestre de 2019 (%)	40
Figura 3.4 - Volume de reprocessamento das US no último semestre de 2019 (%)	40
Figura 3.5 - Ciclo de reprocessamento dos DMs das US	43
Figura 3.6 - Ciclo de reprocessamento dos DMs consignados	44
Figura 3.7 - Etapas e processos do estágio de reprocessamento	45
Figura 3.8 - Diagrama da etapa de descontaminação	48
Figura 3.9 - Diagrama da etapa de inspeção e embalagem	50
Figura 3.10 - Diagrama da etapa de esterilização e controlo da qualidade	52
Figura 4.1 - Diagrama de dispersão para as observações na descontaminação de CC	59
Figura 4.2 - Ajuste do tempo de descontaminação das CC a uma distribuição de probabilidade	59
Figura 4.3 - Possibilidades de ajuste do tempo de descontaminação das caixas cirúrgicas	60
Figura 4.4 - TC para vários números de replicações	65
Figura 4.5 - Taxa média de ocupação obtida dos recursos (%)	66

Figura 4.6 - Tempo médio de espera em cada fila	66
Figura 4.7 - Tempo médio de espera na fila para a descontaminação.....	67
Figura 5.1 - Quantidade atual versus quantidade proposta de DMs para cada chegada	73
Figura 5.2 - Metodologia para identificação e avaliação de cenários de melhoria	74
Figura 5.3 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original e A	75
Figura 5.4 - Diagrama de Pareto para as filas de espera do Cenário A.....	76
Figura 5.5 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A e B1	77
Figura 5.6 - Diagrama de Pareto para as filas de espera do Cenário B1	78
Figura 5.7 - SLA contratualizado e TC obtidos para os Cenários original, A, B1 e B2.....	78
Figura 5.8 - Diagrama de Pareto para as filas de espera do Cenário B2	79
Figura 5.9 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A, B1, B2 e C1	80
Figura 5.10 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A, B1, B2, C1 e C2	81
Figura 5.11 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A, B1, B2, C1, C2 e C3.....	82
Figura 5.12 - Sugestão de decisões para o futuro	83
Figura B. 1 - Simbologia do VSM	98
Figura B. 2 - Exemplo de um VSM de um RUMED	99
Figura F. 1 - Primeira parte do modelo computacional de simulação.....	106
Figura F. 2 - Segunda parte do modelo computacional de simulação.....	107
Figura F. 3 - Definição das entidades do modelo atual.....	108
Figura F. 4 - Módulo <i>Create</i> para a entrada dos DMs individuais das Clínicas C	108
Figura F. 5 - Módulo <i>Schedule</i> para as chegadas de DMs das Clínicas S.....	109
Figura F. 6 - Identificação dos atributos associados às entidades	110
Figura F. 7 - Módulo <i>Assign</i> para os tempos de processo dos DMs individuais	111
Figura F. 8 - Módulo <i>Dispose</i> para os DMs da Clínica S	111
Figura F. 9 - Definição dos recursos do modelo	112

Figura F. 10 - Processo de descontaminação.....	113
Figura F. 11 - Módulo <i>Decide</i> para separação dos DMs consoante o ciclo de lavagem.....	114
Figura F. 12 - <i>Ajustable Batch</i> para os DMs de dentistria.....	115
Figura F. 13 - Módulo <i>Separate</i> para desagrupar DMs após a lavagem.....	115
Figura F. 14 - Filas de espera para dos processos de reprocessamento.....	116
Figura F. 15 - Módulo <i>Record</i> para o TC dos DMs da Clínicas S no RUMED	117
Figura J. 1 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias do Cenário Original e do Cenário A.....	124
Figura J. 2 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários A e B1.....	125
Figura J. 3 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários B1 e B2... ..	126
Figura J. 4 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários B2 e C1 ..	127
Figura J. 5 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários C1 e C2 ..	128
Figura J. 6 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários C2 e C3 ..	129
Figura L. 1 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário A	130
Figura L. 2 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário B1	130
Figura L. 3 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário B2	131
Figura L. 4 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário C1	131
Figura L. 5 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário C2	132
Figura L. 6 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário C3	132

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação de Spaulding	6
Tabela 2.2 - Exemplos de casos de sucesso na implementação do LH	17
Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens da utilização da simulação	23
Tabela 2.4 - Número de classes para dados contínuos.....	29
Tabela 3.1 - SLAs contratualizados para cada categoria para o ano de 2019	40
Tabela 3.2 - Programas de lavagem dos DMs e principais características	47
Tabela 3.3 - Ciclos de esterilização e suas características	51
Tabela 3.4 - Programas de lavagem e principais características	53
Tabela 3.5 - Recursos humanos atualmente associados ao reprocessamento de DMs.....	54
Tabela 3.6 - Recursos máquina associados ao reprocessamento de DMs.....	54
Tabela 4.1 - Elementos de atividade de um estudo de cronometragem	58
Tabela 4.2 - Comparação do TC médio estimado com obtido através da simulação (hh:mm).....	64
Tabela 4.3 - TC obtido por simulação	65
Tabela 4.4 - TME nas filas de descontaminação, inspeção e embalagem.....	68
Tabela 4.5 - Impacto no TC das US do TME nas filas	68
Tabela 4.6 - Quantidade de DMs reprocessada semanalmente em cada US.....	69
Tabela 5.1 - Comparação dos cenários desenvolvidos	83
Tabela 5.2 - Impacto da contratação de mais 1 e 2 TOEs.....	84
Tabela A. 1 - Os 7 desperdícios <i>Lean</i> no contexto da saúde	97
Tabela C. 1 - Distribuições e respectivas finalidades	102
Tabela D. 1 - Passos e procedimentos para a realização de um estudo de cronometragem	103
Tabela E. 1 - Quantidade de DMs que chegam diariamente ao RUMED.....	105
Tabela H. 1 - Taxa de chegada dos DMs atual vs proposta	121

Tabela I. 1- Plano de reprocessamento para o turno da manhã.....	122
Tabela I. 2 - Plano de reprocessamento para o turno da tarde	122
Tabela I. 3 - Plano de reprocessamento para o turno da noite.....	123

Lista de siglas

CSM	<i>Current State Map</i>
CQ	Controlo da Qualidade
DM	Dispositivo Médico
DES	<i>Discrete Event Simulation</i>
EM	Especialidade Médica
FREM	Folha de Registo e Entrega do Material
FSM	<i>Future State Map</i>
HC	Hospitais do grupo C
HS	Hospitais do grupo S
HW	<i>Half Width</i>
IC	Intervalo de Confiança
JIT	<i>Just In Time</i>
LH	<i>Lean Healthcare</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
RUMED	<i>Reprocessing Unit for Medical Devices</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SPD	<i>Sterile Processing Department</i>
US	Unidades de Saúde
UTE	Unidade Técnica de Esterilização
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
TC	Tempo de Ciclo Médio
TME	Tempo Médio de Espera
TOE	Técnico Operacional de Esterilização
TOL	Técnico Operacional de Logística
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TT	<i>Takt time</i>

Lista de símbolos

α	Nível de significância
D_n	Estatística do teste de <i>Kolmogorov-Smirnov</i>
E_i	Frequência esperada na classe i
$F_n(x)$	Função de distribuição acumulada de uma amostra
$\hat{F}(x)$	Função da distribuição empírica
H	<i>Half-width</i>
H_0	Hipótese nula
H_1	Hipótese alternativa
$hh:mm$	horas:minutos
n	Dimensão da amostra
O_i	Frequência observada na classe i
p_i	Probabilidade teórica associada à classe i do histograma
R	Número de replicações
S_0^2	Estimativa da variância da amostra
σ^2	Variância da população
θ	Média da medida de desempenho em estudo
$t_{\frac{\alpha}{2}; R-1}$	Valor da distribuição <i>t-student</i> para um nível de significância $\frac{\alpha}{2}$ e $R-1$ graus de liberdade
$\chi^2_{\alpha; k-s-1}$	Estatística de teste do Qui-quadrado
$\bar{X}(j)$	Estimador da média de uma determinada medida de desempenho
$Z_{\frac{\alpha}{2}}$	Valor da distribuição normal reduzida para um nível de significância de $\frac{\alpha}{2}$

1. Introdução

A presente dissertação tem como base um estudo de caso realizado num Centro de Reprocessamento de Dispositivos Médicos (RUMED). Este estudo foi realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa.

Neste capítulo é realizado o enquadramento do trabalho de base à dissertação, sendo apresentadas a motivação e a justificação da escolha do tema. De seguida são apresentados os objetivos, bem como a metodologia de investigação utilizada para os alcançar. Por fim, é apresentada a estrutura do documento.

1.1. Enquadramento, motivação e justificação do tema

A crescente procura a nível global por cuidados de saúde tem levado a que as Unidades de Saúde (US) optem por se focar apenas na sua atividade principal, i.e., a prestação de cuidados de saúde e subcontratem, cada vez mais, os serviços de apoio, entre os quais, o reprocessamento de Dispositivos Médicos (DMs) a RUMEDs. Estima-se que até 2022 aproximadamente 45% dos serviços de reprocessamento de DMs nos Estados Unidos, Reino Unido e Europa sejam subcontratados a RUMEDs (Frost et al., 2016). Paralelamente, o crescente progresso tecnológico tem estimulado o desenvolvimento de DMs cada vez mais sofisticados com necessidades de reprocessamento específicas, que obrigam a que os RUMEDs tenham uma resposta flexível e personalizada. Para além das exigências associadas ao reprocessamento, os RUMED enfrentam desafios relacionados com a previsão das quantidades e necessidades de reprocessamento dos DMs que chegam às suas instalações, devido ao facto da prestação de cuidados de saúde ser uma atividade difícil previsão. Com base neste enquadramento, é do interesse dos RUMEDs que o seu processo de reprocessamento seja não só eficaz, como eficiente.

Esta dissertação teve como base um projeto proposto por um RUMED sediado em Lisboa que pretendia avaliar o desempenho do reprocessamento atual e torná-lo mais eficiente.

Para dar resposta aos objetivos, foi utilizada a filosofia *Lean* em conjunto com a simulação. A utilização da filosofia *Lean* tem ajudado as organizações a prestar serviços de maior qualidade, através da eliminação das atividades de valor não acrescentado para o cliente.

A simulação consiste num conjunto de métodos que permite imitar um sistema ao longo do tempo e que é útil para testar a resposta de um sistema a determinadas alterações. E, neste caso, surge como um complemento à filosofia *Lean* uma vez que permite testar o impacto de propostas de melhoria no sistema, sem recorrer ao sistema real.

Isto é particularmente útil, visto que o reprocessamento no RUMED decorre de forma contínua de segunda a sábado, sendo interrompido apenas ao domingo.

Considera-se que o trabalho desenvolvido tem especial interesse para organizações:

- (i) Cujas atividades decorram de forma contínua, não sendo viável a sua interrupção para analisar o impacto de alterações no sistema. Esta dissertação acrescenta valor, na medida em que sugere uma metodologia para análise e avaliação de melhorias, com base na simulação, possibilitando às empresas testar hipóteses de melhoria do sistema, sem recorrer ao sistema real;
- (ii) Que pretendam tornar a sua atividade mais *Lean*, nomeadamente através do nivelamento da produção.

1.2. Objetivos

Os objetivos desta dissertação são:

- (i) Estimar a capacidade atual do RUMED, o Tempo de Ciclo Médio (TC) e o Tempo Médio de Espera (TME) dos DMs das principais categorias de US, bem como a taxa de ocupação dos recursos;
- (ii) Verificar se o reprocessamento de DMs no RUMED é eficaz, i.e., se o RUMED cumpre o nível de serviço (SLA) acordado com as US;
- (iii) Melhorar o desempenho atual do reprocessamento de DMs, por forma a que este seja tanto eficaz, como eficiente.

1.3. Metodologia de investigação

Inicialmente foram identificados os principais desafios e necessidades da empresa, em função dos quais se definiram os objetivos do estudo de caso. Estes objetivos estão apresentados na Secção 1.2.

De seguida foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o processo de reprocessamento de DMs e sobre as métodos mais adequadas para dar resposta aos objetivos, das quais se destacam a simulação e a filosofia *Lean*.

Numa terceira fase foi realizado o diagnóstico do sistema em estudo, i.e., foi caracterizada a empresa bem como os principais processos de reprocessamento e recursos associados. Após o diagnóstico, foi desenvolvido um modelo de simulação para o RUMED. Para a conceção deste modelo, recolheram-se dados referentes à duração dos processos de reprocessamento, bem como às chegadas dos DMs ao RUMED. Com base nos dados recolhidos e na informação sintetizada, construiu-se o modelo de simulação. Após o modelo de simulação ser verificado e validado, analisaram-se os principais resultados referentes às medidas de desempenho selecionadas.

Com base nos resultados obtidos através do modelo de simulação, que sugerem o não cumprimento do SLA para a maior parte das US, foram desenvolvidos cenários de melhoria com o objetivo de reduzir

o TC através da redução do tempo médio de espera (TME) nessas filas. Os cenários foram comparados à luz dos objetivos, tendo sido selecionado o cenário mais eficaz e eficiente.

Por fim, são apresentadas as principais conclusões e sugestões para desenvolvimento em trabalhos futuros.

A metodologia de investigação seguida para a realização da dissertação está representada na Figura 1.1.

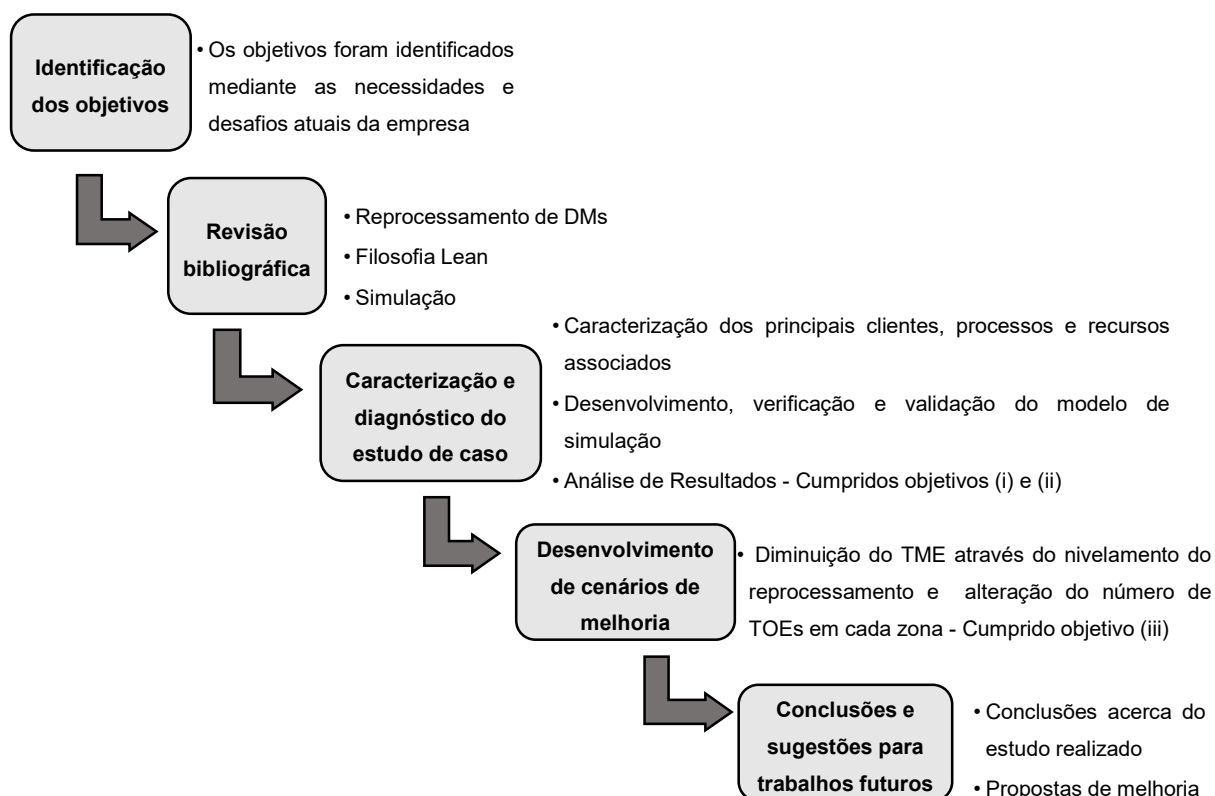


Figura 1.1 - Metodologia de investigação para a realização da dissertação

1.4. Estrutura do documento

A presente dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos.

O primeiro capítulo, intitulado de Introdução, providencia um enquadramento, a motivação para o tema em estudo, bem como os objetivos e a metodologia de investigação utilizada para os alcançar.

No segundo capítulo, *Lean* e simulação no reprocessamento de DMs, faz-se uma contextualização dos temas principais: (i) o reprocessamento de DMs, (ii) a filosofia *Lean* na saúde e (iii) a simulação. Na Secção (i) descreve-se a evolução no reprocessamento de DMs até à atualidade e abordam-se os principais desafios. A Secção (ii) aborda os conceitos fundamentais associados à filosofia *Lean*, elucida de que forma podem ser aplicados ao contexto da saúde e quais os principais obstáculos na sua

aplicação. Na Secção (iii) é abordada a temática da simulação, mais concretamente, os objetivos e as condições necessárias para a realização de um estudo de simulação, a metodologia para o desenvolvimento de um modelo de simulação e as análises do *input* e *output*. Neste capítulo é feita a introdução ao software de simulação ARENA, utilizado no estudo de caso.

O terceiro capítulo diz respeito à caracterização do estudo de caso. Neste capítulo caracteriza-se o RUMED, contextualiza-se o problema ao qual se pretende dar resposta mais detalhadamente, classificam-se as principais categorias de DMs, caracteriza-se a procura dos DMs, bem como o seu ciclo de reprocessamento e etapas principais de descontaminação, inspeção e embalamento e esterilização e controlo da qualidade. Por último, são enumerados os recursos e é explicado como é que os recursos são alocados.

No quarto capítulo propõe-se um modelo de simulação para o reprocessamento atual de DMs. O modelo de simulação tem como base a metodologia descrita no capítulo 2. Numa primeira fase é realizado um estudo para se obter a duração dos processos de descontaminação, inspeção e embalamento e para se analisarem as chegadas. Depois, é desenvolvido o modelo de simulação, para o qual são utilizados os resultados do estudo. Para a construção do modelo, recorre-se ao *software* Arena. Após concluído, o modelo é verificado e validado e são analisados os principais resultados da simulação.

No quinto capítulo denominado de propostas de melhoria, é realizado um diagnóstico dos principais obstáculos para o cumprimento do TC e, com o intuito de superar os obstáculos, são delineados seis cenários. De seguida, os cenários de melhoria são simulados e comparados à luz dos objetivos do RUMED.

Finalmente, no sexto capítulo são sintetizadas as principais conclusões sobre o estudo de caso, bem como os principais obstáculos e limitações e são apresentadas algumas sugestões de melhoria para trabalhos futuros.

2. Lean e simulação no reprocessamento de dispositivos médicos

A filosofia *Lean* foi desenvolvida num contexto de pós-guerra para a indústria automóvel com o objetivo de melhorar a qualidade dos processos produtivos, através da eliminação dos desperdícios presentes na cadeia de valor. O sucesso da aplicação desta filosofia a esta indústria levou a que fosse adaptada e integrada noutros setores, entre os quais, o setor da saúde.

A filosofia *Lean* tem ajudado as Unidades de Saúde (US) a compreender as necessidades dos pacientes e a aumentar a sua satisfação, nomeadamente através da redução no tempo despendido em processos de valor não acrescentado, como as esperas dos pacientes por consultas ou pela realização de exames. Porém, a aplicação desta metodologia ao setor da saúde é vasta e tem registado particularmente sucesso quando aplicada a atividades secundárias, como a do reprocessamento de Dispositivos Médicos (DMs).

Este capítulo tem como objetivo (i) identificar as aplicabilidades da filosofia *Lean* no setor da saúde, com destaque para os centros de reprocessamento de dispositivos médicos e (ii) apresentar a simulação como potencial ferramenta para a avaliação do impacto de propostas de melhoria *Lean* nos sistemas.

Na primeira parte do capítulo é caracterizado o processo de reprocessamento de DMs e na segunda parte é introduzida a filosofia *Lean* no contexto da saúde, com particular destaque para a atividade de reprocessamento de DMs. A última parte compreende um estudo sobre a simulação, com especial enfoco na simulação de eventos discretos.

2.1. O reprocessamento de dispositivos médicos

O aumento da esperança média de vida e do número de pessoas com assistência médica tem estimulado a inovação e a procura contínua por melhores práticas médicas. Como resultado, verifica-se não só um aumento progressivo na produção mundial de dispositivos médicos (DMs), como também, uma procura crescente e contínua pelo seu reprocessamento (Gamma Industry Processing Alliance and International Irradiation Association, 2017; Ugalmugle and Swain, 2019).

2.1.1. Dispositivos médicos

Considerou-se pertinente definir DM, através da definição da Comissão Europeia presente no Regulamento Europeu de DMs, bem como explicitar como podem ser classificados os DMs, a nível do reprocessamento.

- **Definição**

Um DM é qualquer instrumento, aparelho, equipamento, *software*, implante, reagente, material ou outro artigo, destinado pelo fabricante a ser utilizado, de forma isolada ou conjuntamente, em seres humanos

para um ou mais dos seguintes fins médicos específicos (World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016):

- ✓ Diagnóstico, prevenção, monitorização, previsão, prognóstico, tratamento ou atenuação de uma doença;
- ✓ Diagnóstico, monitorização, tratamento, atenuação ou compensação de uma lesão ou de uma deficiência;
- ✓ Estudo, substituição ou alteração da anatomia ou de um processo ou estado fisiológico ou patológico;
- ✓ Fornecimento de informações por meio de exame in vitro de amostras provenientes do corpo humano, incluindo dádivas de órgãos, sangue e tecidos.

e cujo principal efeito pretendido no corpo humano não seja alcançado por meios farmacológicos, imunológicos ou metabólicos, embora a sua função possa ser apoiada por esses meios.

- **Classificação**

Atualmente, do ponto de vista do reprocessamento, os DMs são classificados conforme o seu risco de contaminação (Tabela 2.1). Para tal, é utilizada a escala de classificação de Spaulding, que propõe que os dispositivos em contacto com pele intacta, com muco/membranas ou com fluidos sanguíneos sejam classificados como não-críticos, semicríticos ou críticos, respetivamente (Spaulding, 1971; Klacik, 2019).

Tabela 2.1 - Classificação de Spaulding
Adaptado de: Klacik (2019)

Nível de Risco	Definição	Etapas do reprocessamento	Exemplos de DMs
Crítico	DMs que entram em contacto com o sistema vascular e tecidos estéreis	Esterilização	-Implantes -Instrumentos cirúrgicos -Sistemas de soros
Semicrítico	DMs que entram em contacto com mucosas ou pele não íntegra	Esterilização ou desinfecção química de alto nível	-Material para terapia respiratória -Endoscópios -Lâminas de laringoscópios -Tubos endotraqueais
Não Crítico	DMs que entram em contacto com pele íntegra ou que não entram em contacto com o doente	Limpeza ou desinfecção química de baixo nível	-Estetoscópios -Arrastadeiras -Braçadeiras -Marquesas -Mesas de apoio

Os DMs são reprocessados conforme o seu risco de contaminação.

2.1.2. Evolução do reprocessamento de dispositivos médicos

O reprocessamento de DMs teve origem nos conceitos de preservação e prevenção da infecção. Em 2400 BC, os egípcios utilizavam o cobre e a água como agentes de prevenção de infecção das feridas. Uma das primeiras tentativas de prevenção da infecção foi através de vapor de água. Esta técnica foi utilizada em Roma de 130 a 200 AD, para salvar os gladiadores romanos feridos (Lambert et al., 2019).

Posteriormente, em 1625, Francis Bacon identificou o soro, o sal e o vácuo como substâncias capazes de preservar infecções. Mais tarde, em 1680, o físico francês, Denis Papin inventou uma panela de pressão para descontaminar objetos a partir de água a ferver. O dispositivo foi aprimorado e tornou-se possível descontaminar lençóis, pensos e roupas usando vapor. Em 1683, Antonie Van Leeuwenhoek, um vendedor de tecidos, desenvolveu um microscópio com uma ampliação suficiente para observar microscopicamente os fios de linho. Este microscópio confirmou a existência de microrganismos e conseqüentemente, permitiu estudar o mundo microscópico não visível, até à data, a olho nu (Block, 2001).

No final do ano de 1800, a descontaminação a vapor foi mundialmente difundida e os DMs passaram a ser constituídos por superfícies lisas e por materiais capazes de suportar temperaturas elevadas. Em 1862, Louis Pasteur, um químico e microbiólogo francês, descobriu o processo de pasteurização. Pasteur alertou os profissionais de saúde para a importância de aquecer os DMs com vapor de água antes de serem utilizados diretamente no doente. A palavra esterilização foi introduzida na literatura pela primeira vez em 1877 por Charles Chamberland. Este cientista, aluno de Pasteur, desenvolveu o primeiro esterilizador de vapor a alta pressão, também denominado de autoclave de Chamberland (Block, 2001; Sheingold and Hahn, 2014). Posteriormente, em 1968, o Dr. Earle Spaulding desenvolveu uma abordagem sistemática ao reprocessamento dos DMs conhecida por classificação de Spaulding (Spaulding, 1971).

O desenvolvimento da eletrônica e dos materiais tornou os DMs atuais mais complexos, sensíveis e menos compatíveis com a esterilização a alta temperatura (vapor). Conseqüentemente, têm sido desenvolvidos métodos de esterilização a baixa temperatura, como a esterilização a peróxido de hidrogênio e a óxido de etileno (Rogers, 2013; Lambert et al., 2019).

2.1.3. Reprocessamento atual de dispositivos médicos

O reprocessamento de DMs é o conjunto de processos necessários para tornar um DM reutilizável contaminado em esterilizado e pronto a ser utilizado (World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016). O reprocessamento exige condições físicas adequadas, normalização, monitorização, formação e supervisão.

a) Processos de reprocessamento

Os DMs podem ser reprocessados no *Sterile Processing Department* (SPD) de uma US que, tal como o nome indica, é um departamento destinado ao reprocessamento de DMs dentro da US ou podem ser reprocessados fora da US, por uma entidade externa, num *Reprocessing Unit for Medical Devices* (RUMED). Em ambos os casos, o reprocessamento de DMs engloba os seguintes processos (Costa et al., 2002; Guédon et al., 2016; World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016; Saif et al., 2019):

1. **Descontaminação** - O objetivo é remover a sujidade e os microrganismos patogénicos presentes nos DMs para que os DMs fiquem seguros para prosseguir o reprocessamento. Neste processo, os DMs são descontaminados manualmente por TOEs.
2. **Lavagem** - Neste processo os DMs são lavados numa máquina de lavagem. O processo de lavagem assegura a consistência da descontaminação.
3. **Inspeção** - O objetivo é atestar se para além de descontaminados, os dispositivos se encontram funcionais. Na inspeção os DMs são testados relativamente aos seguintes parâmetros:
 - Limpeza e secagem: verificar se os DMs estão secos e se não existem resíduos de matéria orgânica. Sempre que se detetar não conformidades neste parâmetro, os DMs devem retornar à área de descontaminação para repetir o processo de descontaminação;
 - Integridade: identificar fissuras, pontos de corrosão ou ferrugem nos DMs;
 - Estrutura: verificar articulações e componentes dos DMs e lubrificá-los se necessário;
 - Funcionalidade: montar os DMs e testar componentes críticos descritos no protocolo de inspeção.
4. **Embalamento** - Depois de inspecionados, os dispositivos são embalados para que seja criada uma barreira contra a contaminação. O embalamento depende do tipo de DM a esterilizar e do método de esterilização.
5. **Esterilização** - O objetivo é inativar os contaminantes microbiológicos e, desse modo, transformar os DMs não estéreis em DMs estéreis. A norma NP EN 556 define como estéril o estado de um DM que está isento de microrganismos viáveis. A esterilização a vapor é a técnica mais predominante nos RUMED, mas há DMs que requerem esterilizações a baixa temperatura, como o óxido de etileno, o peróxido de hidrogénio ou o ozono.
6. **Controlo de qualidade** - As principais funções são validar os ciclos de esterilização e verificar se as embalagens dos DMs após a esterilização não estão furadas. A eficácia da esterilização é comprovada através de testes com indicadores biológicos e químicos. Os resultados dos testes têm de ser arquivados durante um período que varia consoante os requisitos médico-legais de cada país. Em Portugal, os registos de validação têm de ser mantidos durante 5 anos.

O sucesso do reprocessamento depende não só da eficácia do processo de esterilização, mas também dos seguintes fatores (Seavey, 2016):

- ✓ *Layout* das instalações onde é realizado o reprocessamento;
- ✓ Nível de formação dos técnicos;
- ✓ Práticas de prevenção e controlo da infeção concebidas para a prevenção de infeções associadas a cuidados de saúde;
- ✓ Modo como são armazenados os DMs após o reprocessamento;
- ✓ Controlo da qualidade eficaz e sistemas de melhoria que incluam todos os aspetos de reprocessamento dos DMs, desde o momento em que são utilizados até estarem aptos para uma nova utilização;
- ✓ Documentação apropriada e sistemas de informação que possibilitem a rastreabilidade dos DMs desde o fim do reprocessamento até à próxima utilização.

b) *Layout* de um RUMED

Um RUMED está dividido em áreas que estão fisicamente separadas, através das quais passa um fluxo unidirecional explícito de DMs que entram sujos e saem limpos (Figura 2.1). Idealmente, devem haver barreiras físicas como paredes, portas duplas ou lavadoras entre a zona de descontaminação e a zona de inspeção e embalagem e entre as zonas de inspeção e embalagem e esterilização (World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016).

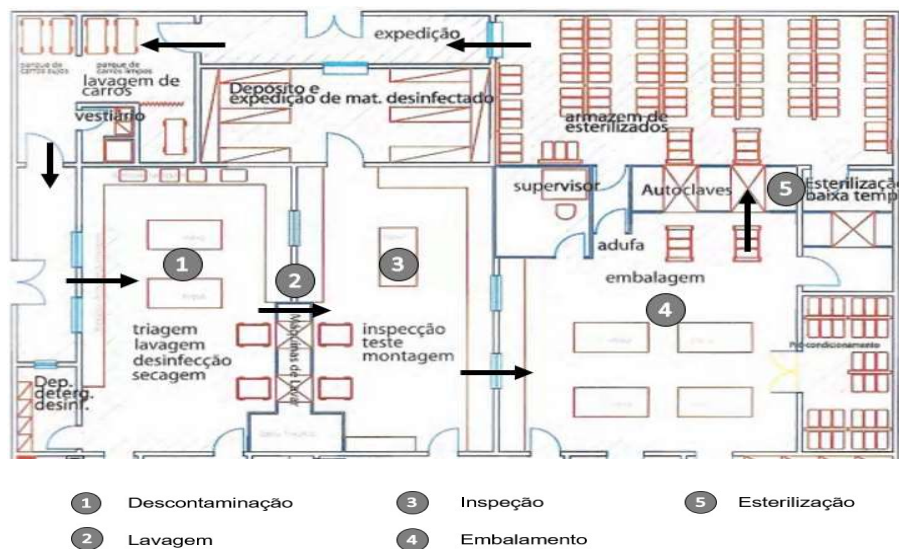


Figura 2.1 - *Layout* de um RUMED

Adaptado de: World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016

c) Controlo da qualidade

É essencial para o reprocessamento que exista um sistema de gestão da qualidade implementado. A qualidade do reprocessamento é assegurada através de (Costa et al., 2002; World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016; Saif et al., 2019):

- Auditorias - Têm o objetivo de demonstrar, documentar e confirmar que os equipamentos cumprem as especificações técnicas do reprocessamento e que os TOEs têm a aptidão exigida. Um processo de reprocessamento válido cumpre a norma ISO 9001 e a norma europeia (EN) ISO 13485;
- Certificações de atividade - Permite mostrar que foram realizadas revisões aos equipamentos que confirmam a sua capacidade para operar segundo as especificidades do processo. As certificações avaliam a eficácia dos processos entre auditorias e incluem: (i) a certificação do equipamento; (ii) testes de eficácia dos equipamentos e (iii) monitorização da rotina operacional do equipamento.

2.1.4. O paradigma da terceirização do reprocessamento de dispositivos médicos

O aumento dos custos com a saúde nos países desenvolvidos tem levado a que os gestores das US procurem novas formas reduzir a despesa, nomeadamente através de operações mais eficientes e de uma melhor organização dos recursos. O agrupamento de recursos tem sido promovido, existindo uma crescente tendência de várias US se organizarem em redes para explorar sinergias que permitem poupar na despesa hospitalar. As áreas de atividade secundária, como a de farmacêutica, a de transfusão de sangue e a de reprocessamento de DMs são as mais propícias para o agrupamento dos recursos (Saif et al., 2019).

Em 2019, realizou-se um estudo que comparou os custos de três sistemas de reprocessamento de DMs: descentralizado em SPDs, descentralizado em SPDs com *stocks* e totalmente centralizado em RUMEDs com *stocks* (Saif et al., 2019). Os resultados deste estudo revelam que é possível reduzir os custos através da consolidação das funções de esterilização em RUMEDs comparativamente com SPDs, onde cada US realiza as suas funções de esterilização de forma independente. A centralização do reprocessamento dos DMs trás benefícios (Guédon et al., 2016; Saif et al., 2019; Kartikasari et al., 2020), nomeadamente:

- **Melhor utilização dos recursos** - É comum os equipamentos de reprocessamento e os técnicos estarem subutilizados devido à reduzida procura numa US. A centralização do reprocessamento permite fazer uma melhor utilização dos recursos para servir outras US;
- **Menor número de recursos** - Num contexto de procura variável, o número de recursos é determinado por forma a que seja possível servir a procura máxima expectável. Se se combinar a procura de duas ou mais US, a menos que as procuras estejam perfeitamente correlacionadas, a procura máxima de duas US em conjunto é inferior à soma das procuras

máximas de cada US. Logo, são necessários menos recursos para satisfazer uma procura combinada;

- **Maior segurança** - Ao centralizar o reprocessamento é possível que os dispositivos possam ser atualizados e modernizados, o que aumentará a segurança do paciente. As equipas de trabalho recebem formação para o uso de equipamentos de reprocessamento e, juntamente com a produção de diretrizes e procedimentos operacionais padrão, garantirão a segurança pessoal e do paciente;
- **Validação do reprocessamento** - Permite que os sistemas de reprocessamento sejam padronizados, resultando em melhores programas de controle de qualidade.

O agrupamento dos recursos tem-se demonstrado eficiente na redução da variabilidade da procura e consequentemente, na redução da necessidade de elevados *stocks* de segurança. Isto é particularmente verdade para as situações com variabilidade moderada da procura, como é o caso da procura dos DMs nas US (World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016).

Atualmente, o *status quo* ainda é cada US manter e gerir, de forma independente, o seu próprio *stock* de DMs. As principais desvantagens de um sistema centralizado são (World Health Organization and Pan American Health Organization, 2016; Saif et al., 2019):

- O elevado investimento inicial na aquisição de DMs e de equipamentos utilizados no reprocessamento para assegurar as necessidades;
- A necessidade de um sistema de transporte muito eficiente, interno e externo, para garantir a entrega em todos os pontos de uso. Os RUMEDs devem ter os seus próprios sistemas de recolha e entrega de DMs. O acesso ao transporte alternativo em caso de avaria também deve ser considerado;
- A necessidade de sistemas de informação mais sofisticados que permitam aceder às listas de intervenções cirúrgicas, bem como ao seu estado.

Para além da centralização, que é uma possibilidade que as US devem avaliar, existem ainda outros desafios, derivados da inovação científica que podem condicionar o futuro da atividade de reprocessamento.

2.1.5. Desafios

Nos últimos anos, as intervenções cirúrgicas têm sido alvo de constantes inovações. As cirurgias minimamente invasivas, com recurso a endoscópios e técnicas robóticas são o caminho para o futuro. Para fazer face às necessidades futuras, os departamentos de esterilização já não têm apenas de lidar com DMs simples, mas frequentemente com DMs que requerem novos métodos de reprocessamento, parâmetros de ciclo e modalidades de esterilização. Analogamente, é essencial que os TOEs acompanhem a evolução tecnológica, recebendo a devida formação e que os procedimentos de trabalho e a configuração do departamento sejam padronizados e otimizados para que se cumpram os requisitos padrão e seja mantida a eficácia do reprocessamento. Neste contexto, a filosofia *Lean* tem

ganho popularidade e é apontada como uma solução promissora para que os futuros desafios sejam atingidos de uma forma eficiente, sem que o custo do reprocessamento recaia sobre os pacientes (El-sokkary et al., 2015; Borges et al., 2019).

2.2. Lean na saúde

Atendendo ao enquadramento da saúde apresentado no início do capítulo, é cada vez mais importante que organizações que operam neste setor sejam proativas na procura pela competitividade e flexíveis na adaptação às constantes mudanças. Uma das formas das US compatibilizarem simultaneamente a qualidade exigida com o crescente nível de custos é através da eliminação do desperdício ao longo da sua cadeia de valor. Neste sentido, a filosofia *Lean* surge como uma opção que permite à empresa identificar e eliminar progressivamente o desperdício (Ferreira et al., 2019).

2.2.1. A filosofia *Lean*

A filosofia *Lean* teve origem no *Toyota Production System* (TPS), um sistema de produção originalmente desenvolvido para a empresa automóvel *Toyota*, nos anos 50 e 60 do século XX. Este sistema, criado pelo executivo da *Toyota* Taiichi Ohno representou a resposta japonesa à competitividade ocidental, baseada nos sistema fordistas de produção em massa e assegurou o crescimento económico japonês, após a segunda guerra mundial (Kovacevic et al., 2016). O termo *Lean* foi proposto por Womack, Jones e Roos em 1990, inicialmente para caracterizar sistemas idênticos ao TPS, mas que mais tarde passaram a ser denominados de sistemas de produção *Lean*. No seu fundamento, o termo *Lean* representa uma abordagem filosófica de gestão, focada na melhoria contínua, através da identificação e eliminação de todos os tipos de desperdícios ao longo da cadeia de valor (Kovacevic et al., 2016).

A filosofia *Lean* tornou-se prática de gestão de referência, principalmente por:

- Destacar as limitações da produção em massa, destacando que a crescente instabilidade dos mercados, a competição global e a customização dos produtos não permitem que as organizações capturem participação de mercado pela produção de grandes volumes de um produto padronizado;
- Ser mais flexível. A maior flexibilidade da filosofia *Lean* sustentada pela capacidade de produzir “muitos modelos em pequenos números a baixo custo” foi vista como a solução para substituir o fordismo. A produção *Lean* exige consideravelmente menos recursos humanos, investimento de capital e espaço de manufatura, para produzir o mesmo volume em menos tempo e com menos defeitos;
- Produzir com alta qualidade a baixo custo. A abordagem *Lean* defende a produção de exatamente o que o cliente deseja com o menor custo e sem desperdício.

A filosofia *Lean* tem como principais objetivos: (i) a melhoria da qualidade, (ii) a diminuição dos tempos de espera e (iii) a diminuição dos custos (Figura 2.2). Para que estes objetivos sejam cumpridos, as organizações devem procurar eliminar todos os tipos de desperdício que possam ocorrer e que comprometam a entrega de valor ao cliente. Os 7 desperdícios *Lean* identificados por Ohno são (Wilson, 2015; Vamsi et al., 2014; Weiss et al., 2017; Cohen, 2018):

- O excesso de produção - Corresponde a produzir em quantidades superiores às efetivamente procuradas ou produzir mais cedo do que o estritamente necessário. Geralmente o excesso de produção não é uma situação ocasional, mas uma consequência da produção por lotes ou de erros na estimativa da procura;
- As esperas - As esperas resultam de problemas de linhas não niveladas, tarefas com longos tempos de preparação ou de falhas ou atrasados de matérias-primas.
- O transporte - O transporte desnecessário de produtos ou pessoas, não acrescentam valor para o cliente e aumentam o risco de danos no produto. O transporte excessivo dentro de um sistema produtivo é geralmente resultado de um *layout* ineficiente. Note-se que o transporte é considerado um desperdício num contexto de produção industrial. Para organizações responsáveis pela logística ou pela gestão da cadeia de abastecimento de produtos, o transporte até pode ser considerado uma atividade de valor acrescentado;
- O sobre processamento - Relacionado com a realização de atividades acima do que é necessário, o que inclui a realização de testes para além dos necessários, exames duplicados em casos de não conformidade ou exames desnecessários por falta de preparação das equipas;
- Os *stocks* - Representam matéria-prima, produtos em processamento ou produtos acabados que não estejam a servir o seu propósito.
- As movimentações desnecessárias e excessivas dos produtos - As movimentações desnecessárias de pessoas ou produtos durante a realização das atividades têm, à semelhança do transporte, risco de causarem danos ou desgaste no produto;
- Os defeitos - Incluem todos os produtos que não cumprem os requisitos de qualidade. Os produtos defeituosos podem ser descartados ou corrigidos, o que implica custos associados à repetição de processos. Os defeitos são habitualmente consequência de um controlo da qualidade realizado nas fases finais da produção e não ao longo da mesma, de falhas nos equipamentos ou de uma pobre formação dos trabalhadores.
- O potencial humano - O desperdício de habilidades acontece quando a gestão não aproveita o potencial dos funcionários e setoriza rigidamente as tarefas, não adequando as qualificações humanas às necessidades.

Os fundamentos do controlo da qualidade, representam a base da casa *Lean* e têm duas vertentes: as pessoas e a estabilidade. A vertente das pessoas prende-se com o desenvolvimento e formação dos trabalhadores, para que estes se tornem multifacetados, aptos para resolver problemas e capazes de compreender e interpretar as variações do processo. A estabilidade está relacionada com o desenvolvimento de processos com baixa variabilidade e cujo desempenho operacional permita atender às necessidades do cliente (Wilson, 2015).

O controlo da qualidade assenta sobre dois pilares fundamentais que representam o conjunto de estratégias, táticas e competências utilizadas no controlo da qualidade (Wilson, 2015; Tekin et al., 2019), nomeadamente:

- **JIT (*just in time*)** - É uma abordagem que defende que os produtos devem ser fornecidos na quantidade certa, à hora certa e no local certo, pois desta forma é possível evitar certos desperdícios como: as esperas, o transporte ou os *stocks*;
- **Jidoka** - O objetivo do *Jidoka* é permitir que o equipamento ou o operador sejam sinalizados quando ocorrer uma situação anormal, de modo a prevenir o número de produtos defeituosos que passam pelo sistema produtivo.

O controlo da qualidade corresponde às paredes da casa *Lean*, erigidas sobre os fundamentos da qualidade e sobre a quais assenta a filosofia *Lean*.

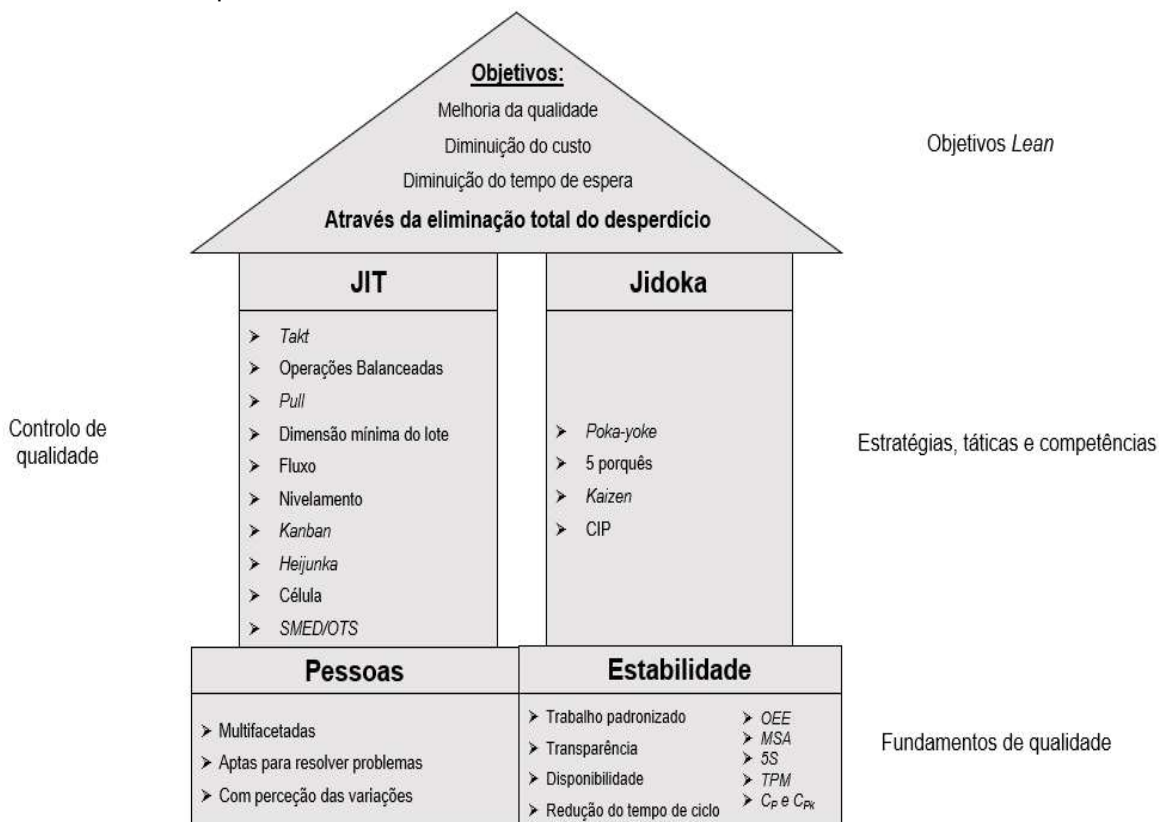


Figura 2.2 - Casa *Lean*
 Adaptado de: Wilson (2010)

Os sistemas de produção *Lean* são regidos por cinco princípios (Cohen, 2018; Kovacevic et al., 2016; Tekin et al., 2019):

- **Valor:** A identificação do valor deve ser realizada segundo a perspectiva do cliente e em função dessa perspectiva devem identificar-se as atividades de valor acrescentado, isto é, as que o cliente está disposto a pagar. As restantes atividades são de valor não acrescentado, que podem ser necessárias ou desnecessárias. As desnecessárias constituem desperdício e devem ser eliminadas o mais rápido possível;
- **Cadeia de valor:** A cadeia de valor inclui todas as atividades da organização que desempenham um papel conjunto na entrega de um produto ou serviço ao cliente, desde a fase conceptual até à entrega ao cliente. A cadeia de valor é mapeada no *Value Stream Map* (VSM). Tipicamente as organizações desenvolvem dois mapas distintos, um referente à situação atual e outro referente à situação futura ideal;
- **Fluxo contínuo:** Segundo este princípio, deve ser gerado um fluxo de atividades realizadas sequencialmente, de modo a que o produto chegue ao cliente sem desperdício, interrupções ou longos períodos de espera. Este é o princípio base utilizado na redução do tempo de espera;
- **Pull:** O princípio *pull* é utilizado para se minimizar tanto quanto possível o desperdício *Lean* do excesso de produção. Segundo este princípio, os sistemas de produção só devem começar a produzir quando houver um sinal do cliente e devem definir um volume máximo de *stock*;
- **Perfeição:** A procura pela perfeição e pelo desperdício zero é um desafio para qualquer organização. Portanto, a filosofia *Lean* deve ser considerada, além das suas implicações práticas e intervenções técnicas, como uma abordagem sistemática para o desenho e implementação da estratégia (Barnabè et al., 2017). A procura pela perfeição pode ser realizada recorrendo a abordagem *Kaizen*. A abordagem *Kaizen* é utilizada para melhorar um processo através de pequenas séries de melhorias. O impacto destas melhorias é difícil de avaliar no curto prazo, mas no longo prazo tem um efeito acumulado significativo.

O sucesso de uma organização na integração da filosofia *Lean* raramente é instantâneo. Para uma organização ser mais *Lean* deve adaptar a filosofia *Lean* ao contexto da sua atividade, como parte de um plano de gestão que combina não só melhorias operacionais, mas também uma mudança na cultura institucional, uma liderança inovadora e um envolvimento de todos os seus trabalhadores (Cohen, 2018).

O sucesso da filosofia *Lean* na indústria automóvel levou a que fosse aplicada a outros setores, nomeadamente ao setor da saúde, cuja aplicabilidade remonta à cerca de 20 anos (Cohen, 2018)

2.2.2. A filosofia *Lean* aplicada à saúde

A integração da filosofia *Lean* no contexto da saúde é designada por *Lean Healthcare* (LH). O LH permite aos profissionais de saúde melhorar de forma contínua o seu trabalho, identificando as

atividades que têm valor para o cliente, eliminando o desperdício e reduzindo o tempo para realizar os processos. Os desperdícios *Lean* no contexto da saúde estão explorados no Anexo A. São diversos os benefícios da implementação de LH (Borges et al., 2019) nomeadamente:

- ✓ Redução dos tempos de espera;
- ✓ Melhoria do nível de serviço;
- ✓ Eliminação de processos duplicados;
- ✓ Melhor organização do ambiente de trabalho;
- ✓ Melhor relação entre os vários departamentos das US;
- ✓ Maior motivação dos trabalhadores.

Embora a implementação da filosofia *Lean* no contexto da saúde ainda seja recente, comparativamente com a indústria automóvel (Figura 2.3), tem-se verificado um aumento do número de publicações nesta área (Filser et al., 2017). Ainda assim, há poucos estudos que reportem a aplicação do LH à organização como um todo. A maior parte dos estudos incide sobre um domínio organizacional limitado, cujo foco está direcionado para a aplicação do LH a um único processo ou departamento, que geralmente presta suporte à atividade principal. O sucesso do LH para funções de suporte como a logística, o trabalho de laboratório, o reprocessamento de dispositivos médicos e a farmácia é devido à semelhança que estas atividades têm com as atividades de fabricação tradicionais, cujos processos são fáceis de padronizar. A aplicação restrita da filosofia *Lean* a uma parte da organização ocorre em grande parte porque os serviços de saúde são complexos e estão organizados em unidades interdependentes. Segundo Augusto e Tortorella (2019), esta estrutura organizacional prejudica a obtenção de uma visão holística do processo de tomada de decisão e favorece o desenvolvimento de uma perspetiva unilateral dos processos.

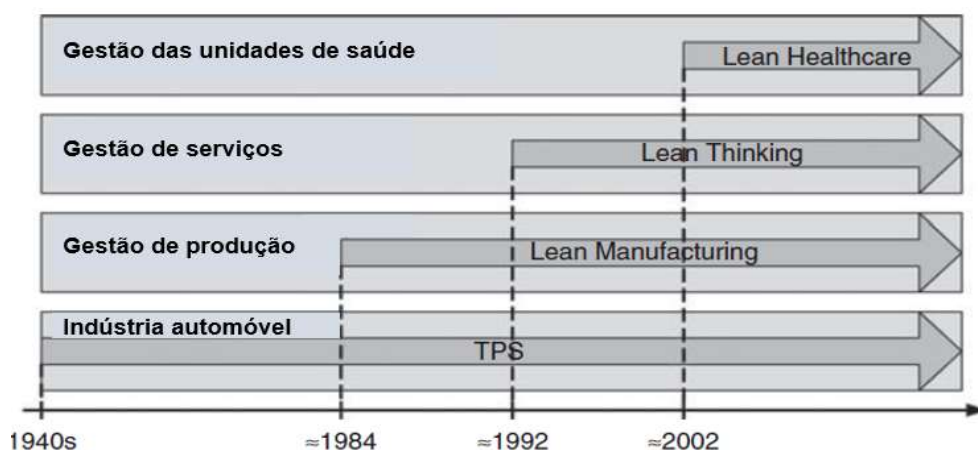


Figura 2.3 - Enquadramento temporal do *Lean Healthcare*

Alguns dos estudos de sucesso do LH são relativos a:

- **Fluxo de materiais** - Estes estudos são referentes a departamentos de um hospital que lidam de uma forma constante com fluxos de materiais. A implementação da filosofia *Lean* nestes casos tem permitido eliminar o desperdício relativo ao tempo de espera. Alguns exemplos deste tipo de departamentos são: a farmácia, o SPD e a lavandaria (Costa et al., 2017);

- **Fluxo de pacientes** – Os casos de sucesso do LH são relativos ao fluxo de pacientes. Estes casos têm como objetivo melhorar a forma como os pacientes fluem dentro do hospital através da agilização do caminho do paciente. O objetivo é a redução de custos, do TC e da lista de espera, sem que a qualidade do atendimento e a segurança do paciente sejam comprometidas (Radnor et al., 2012);
- **Organização** – Estes estudos enfatizam a importância de conceber um plano estratégico a partir de uma perspectiva organizacional, a fim de implementar com sucesso o LH. Neste ramo, há um enfoque a nível estratégico ao invés de operacional (Schonberger, 2018).

Na tabela 2.2 estão representados alguns exemplos de sucesso da aplicação da filosofia *Lean* no contexto da saúde.

Tabela 2.2 - Exemplos de casos de sucesso na implementação do LH

Estudo	Aplicação	Objetivo	Impacto
(Costa et al., 2017)	Fluxo de materiais	Diminuir o TME para as intervenções cirúrgicas por falta de material	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de 78% no custo • Redução de 94% nos atrasos das intervenções cirúrgicas por falta de material • Redução do tempo de preparação entre os ciclos de esterilização em 30 minutos • Redução do TC dos esterilizadores em 30 minutos
(Radnor, 2011)	Fluxo de pacientes	Reduzir o TC dos doentes numa US	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do tempo de espera dos pacientes para a primeira consulta de 23 para 12 dias • Diminuição em 48% do TC dos pacientes numa US
(Schonberger, 2018)	Organizacional	Diminuir o tempo de resposta a um paciente que esteja em paragem cardíaca em casa	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da taxa de mortalidade associada ao tempo de resposta a um paciente em paragem cardíaca para 4.4%. Um nível histórico comparado com as taxas de mortalidade a nível nacional que estão entre 8% e 15%.

Alguns fatores críticos de sucesso na integração da filosofia *Lean* no contexto da saúde incluem o seguinte (Netland, 2016; Patri and Suresh, 2018):

- O compromisso em liderar e participar de forma ativa na integração da filosofia *Lean*;
- Providenciar e participar em sessões de formação;
- Ter um plano a longo prazo e segui-lo numa ótica diária;
- Alocar os recursos e partilhar os resultados obtidos;
- Aplicar as ferramentas e técnicas *Lean*.

2.2.3. Obstáculos na integração da filosofia *Lean* no contexto da saúde

Embora a integração da filosofia *Lean* no contexto da saúde se tenha popularizado e contribua para a melhoria da qualidade dos serviços prestados nas US, aproximadamente dois terços das tentativas de integração desta filosofia não resultam e menos de um quinto têm resultados sustentáveis. As taxas de insucesso na integração da filosofia *Lean* estão relacionadas com alguns obstáculos, dos quais se destacam (Hasle et al., 2016; Matt et al., 2018; Cohen, 2018; Leite et al., 2020):

- **A ambiguidade na percepção do valor** - Uma definição comum e partilhada do significado de valor é um dos pré-requisitos para uma implementação bem-sucedida da filosofia *Lean*. Embora o valor seja um conceito relativamente claro em ambientes industriais, o mesmo não é válido no contexto da saúde, onde as percepções do valor variam entre as várias partes. As três maiores dimensões do valor na saúde são: o valor clínico (melhor resultado para o paciente), o valor experimental (melhor experiência para o paciente) e o valor operacional (melhor relação custo-benefício para o paciente). Na perspetiva dos médicos, o valor clínico tende a sobrepor-se aos restantes, para os enfermeiros, o valor experimental é o mais relevante e para os gestores, o valor operacional é geralmente o mais importante. Até à data, a maioria das aplicações *Lean* a US tem-se centrado apenas no valor operacional, em detrimento dos restantes, tornando-se mais difícil para médicos e enfermeiros compreender a prevalência deste tipo de valor comparativamente com o valor clínico e experimental;
- **A imprevisibilidade da atividade** - Os serviços prestados por uma US aos seus pacientes requerem planos de tratamento adaptados a cada indivíduo, o que torna difícil senão impossível, planear a sua atividade. Nesta área é preferível que os profissionais de saúde sejam capazes de se adaptar e solucionar os problemas à medida que estes vão surgindo. Esta imprevisibilidade é agravada, pela existência da atividade de ambulatório, mais conhecida por “urgência”, que tem associada uma variabilidade, em termos de números e de tipo de patologias, que exige que as US tenham capacidade de folga;
- **A organização por EM** - A maioria dos hospitais estão organizados por departamentos especializados, dificultando a criação de fluxos e caminhos coerentes e contínuos de pacientes;
- **A relação qualidade-custo** - A qualidade é uma experiência de percepção baseada em expectativas, mais do que em resultados previsíveis. A satisfação do paciente depende de fatores que contrariam alguns aspetos *Lean*, como a padronização.

A aplicação da filosofia *Lean* em contexto hospitalar é mais recente em comparação com a sua aplicação na indústria automóvel. É possível que o tempo crie a experiência necessária para uma implementação mais profunda e de sucesso da filosofia *Lean* a todas as funções e processos de uma US. Ainda assim, à semelhança do sucedido com a indústria automóvel, é necessário adaptar a filosofia *Lean* às peculiaridades de cada US;

2.2.4. Ferramentas *Lean* mais prevalentes na saúde

Existem algumas ferramentas *Lean* que auxiliam as organizações na identificação e na eliminação dos desperdícios. No âmbito da saúde, as ferramentas mais prevalentes são: o VSM, o Kaizen, o 5S o *Heijunka* e o *Takt-time*. O VSM, o Kaizen e o 5S estão caracterizadas no Anexo B, por terem utilidade em diversos contextos da saúde, mas por não terem sido utilizados para o estudo de caso. As ferramentas *Heijunka* e *Takt time* são caracterizadas mais detalhadamente de seguida.

- ***Heijunka***

Esta ferramenta *Lean*, também conhecida por nivelamento da produção, permite que as organizações tornem o fluxo de produção mais flexível, através da mitigação da variabilidade associada à procura. O nivelamento da produção baseia-se no sequenciamento e controlo do volume de entrada dos produtos nos processos produtivos, por forma a que o nível de *stock* de produto acabado coincida com a procura neste momento e que, por isso, não sejam necessárias alterações rápidas no plano de produção (Ignácio, 2017).

Os principais objetivos de uma produção nivelada são (Rewers et al., 2018):

- Garantir um fluxo suave em toda a cadeia de abastecimento;
- Suavizar os picos e baixas de produção;
- Reduzir os *stocks* ao longo do processo produtivo;
- Evitar a carga de trabalho excessiva;
- Aumentar a capacidade de fabricação;
- Reduzir do tempo de entrega.

O nivelamento da produção pode ser realizado por volume ou por tipo de produto. Caso a empresa pretenda produzir por lotes e tenha um fornecimento flexível, os processos são nivelados por volume, através de ferramentas como o *Takt-time*. Para o reprocessamento de DMs é geralmente realizado o nivelamento por volume, em que os DMs de cada cliente representam um lote. Caso a empresa tenha um portfólio diversificado de produtos, aplicado um nivelamento por tipo. Neste caso, com base na procura é estabelecido uma sequência dos produtos a produzir. Para este tipo de nivelamento é geralmente utilizada a ferramenta dos *Kanbans* (Ignácio, 2017).

O maior desafio enfrentado durante a implementação de uma produção nivelada é o desenvolvimento de um plano de produção apropriado. A literatura sobre este tema sugere as heurísticas com base em regras de priorização, como uma solução. Ainda assim, os métodos heurísticos não asseguram que a solução é ótima, mas geram uma solução admissível dentro de um intervalo de tempo aceitável.

- ***Takt time***

O *Takt time* (TT) representa o intervalo de tempo necessário entre a produção sucessiva de dois produtos atendendo à procura estimada e às limitações na capacidade da produção (Equação 2.1). Este é o ritmo ideal de produção para que o processo produtivo esteja nivelado e consequentemente sejam minimizados os *stocks* e cumprida a procura (Alvarez et al., 2001; Wilson, 2015).

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ disponível\ de\ produção}{Procura\ (n^{\circ}unidades)} \quad (2.1)$$

O tempo disponível de produção corresponde ao tempo total disponível menos o tempo de paragens programadas, tais como manutenção preventiva dos equipamentos.

O TT está relacionado com o TC. A relação entre estes tempos é descrita pela Equação 2.2, em que o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) corresponde à eficácia geral dos equipamentos.

$$Tempo\ de\ ciclo = Takt\ time \times OEE \quad (2.2)$$

O OEE permite avaliar o desempenho do processo produtivo. Pode concluir-se então, que o TT corresponde ao TC ideal, quando a eficácia dos equipamentos é 100%. Esta é uma situação utópica, que não ocorre em termos práticos e, por isso (Alvarez et al., 2001; Augusto and Tortorella, 2019):

- Se o TC < TT - Está a ocorrer sobreprodução. Nestas circunstâncias ou se acumula stock ou se interrompe a produção, sendo que em ambas as situações ocorrem desperdícios *Lean*;
- Se TC = TT - O processo está nivelado;
- Se TC > TT - A organização em subprodução e conseqüentemente, não será capaz de satisfazer o cliente. Este problema pode ser contornado com o aumento do número de recursos, ou com horas extra, caso seja possível.

Na Figura 2.4 está representada a metodologia de gestão da produção com base no TT.

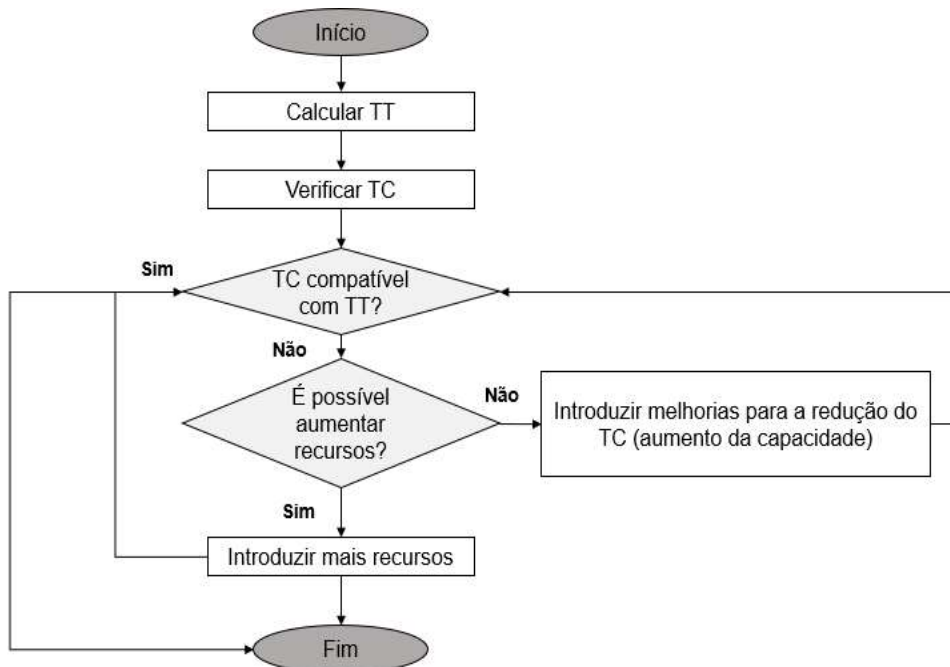


Figura 2.4 - Metodologia de gestão da produção com base no TT

Adaptado de: Alvarez et al. (2001)

As ferramentas *Lean* são importantes, mas não são suficientes para uma organização se tornar *Lean*. É necessário que as organizações assimilem, em primeiro lugar, os princípios da filosofia *Lean* e os integrem como parte da cultura organizacional. Se isto não se verificar, a utilidade das ferramentas *Lean* será limitado.

2.3. Simulação

Neste subcapítulo é sugerida a simulação, como ferramenta de análise do comportamento de sistemas reais. A simulação surge como um complemento à implementação da filosofia *Lean* na medida em que possibilita uma avaliação prévia do impacto que as propostas de melhoria *Lean* terão sobre um sistema em estudo, sem que se recorra ao sistema real.

2.3.1. Objetivos da simulação

A simulação consiste num conjunto de métodos que permitem imitar um sistema ao longo do tempo, sendo que o sistema pode ou não existir. O estudo de um sistema pode ser realizado utilizando o próprio sistema, caso exista, ou através de um modelo. Os objetivos gerais de um estudo de simulação são (Banks et al., 2010; Rossetti, 2015):

- Comparar sistemas alternativos e medir a sua performance atendendo aos objetivos;
- Previsão do comportamento de um sistema no futuro ou como resposta a alterações que se pretendam estudar;
- Investigação sobre o comportamento do sistema e resposta a diferentes *inputs*.

2.3.2. Estudo de um sistema através de um modelo de simulação

O estudo de simulação pode ser realizado através do sistema real ou de um modelo. Ao utilizar-se o sistema real, como o modelo é o próprio sistema, há eliminação do erro associado à modelação e, por isso, não é necessário fazer a validação. Ainda assim, esta opção é geralmente dispendiosa, o que tem levado as organizações a optar cada vez mais pela modelação. Um modelo de simulação reúne um conjunto de pressupostos baseados em relações matemáticas, lógicas e representações simbólicas entre entidades, i.e, objetos de estudo do sistema (Figura 2.5). Os modelos podem ser de dois tipos: físicos ou matemáticos (Banks et al., 2010; Rossetti, 2015).

Os modelos físicos são uma versão mais pequena do sistema em estudo, como por exemplo simuladores de voo. Os modelos matemáticos ou lógicos são representações do sistema real, através de notações simbólicas ou equações matemáticas e podem ser analíticos ou complexos. Enquanto que os modelos analíticos têm uma solução exata, como é o caso da programação linear ou equações diferenciais, os modelos complexos podem não ter uma solução exata. Por este motivo, os modelos complexos são estudados através da simulação (Banks et al., 2010; Rossetti, 2015).

A simulação deve ser utilizada apenas em circunstâncias para as quais os modelos não possuem uma solução analítica. Numa primeira fase, os modelos de simulação são classificados como determinísticos ou estocásticos, conforme o grau de variabilidade. Os modelos determinísticos não possuem variáveis aleatórias e, por isso, os *inputs* destes modelos são conhecidos e geram resultados únicos. Ambos os modelos podem ser divididos em estáticos ou dinâmicos, conforme o tempo tenha influência na simulação. Como o tempo é revelante para a simulação de modelos dinâmicos, estes modelos podem ser categorizados ainda como discretos ou contínuos, consoante as alterações no sistema ocorram em instantes de tempo ou de uma forma contínua. A simulação de sistemas através de modelos estocásticos, dinâmicos e discretos é denominada por *Discrete Event Simulation* (DES) (Banks et al., 2010; Law, 2019).

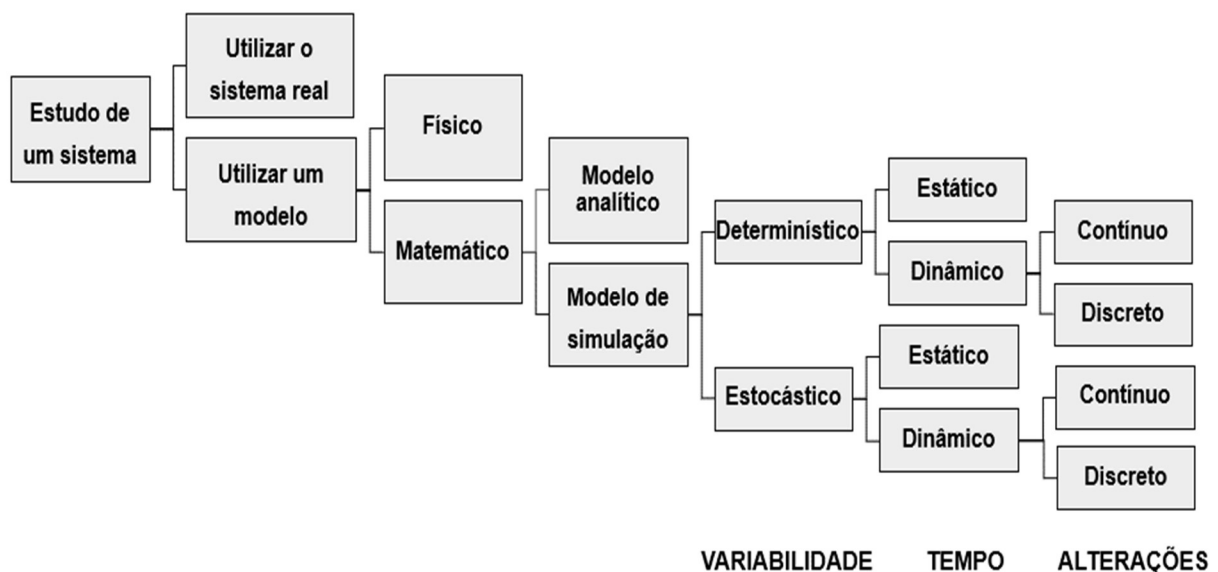


Figura 2.5 - Métodos para estudo de um sistema

Adaptado de Banks (2010)

Os principais componentes de uma DES são (Banks et al., 2010; Rossetti, 2015):

- **Entidades** - Objeto de interesse do sistema cujo movimento ou operação no sistema pode causar a ocorrência de eventos. Geralmente representam algo tangível, como peças, clientes ou pacientes;
- **Atributos** - Os atributos são o que permite caracterizar as entidades. Alguns exemplos de atributos são: o tempo de chegada, a data de entrega ou a regra de prioridade;
- **Variáveis** - São componentes que descrevem o estado do sistema ao longo do tempo. Um exemplo é o número médio de peças numa fila de espera;
- **Recursos** - Itens que são utilizados pelas entidades à medida que estas progredem no sistema. Os recursos têm uma capacidade limitada que quando é atingida, obriga a que as entidades aguardem em filas de espera;

- **Filas de espera** - Representam localizações onde as entidades esperam quando existem constrangimentos à sua movimentação. Geralmente os constrangimentos ocorrem porque os recursos estão ocupados.

As principais vantagens e desvantagens da utilização da simulação estão representadas na Tabela 2.3 (Banks et al., 2010; Rossetti, 2015).

Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens da utilização da simulação

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Possibilita a implementação de novas políticas, regras de decisão, fluxos de informação e procedimentos operacionais sem que haja interrupção das operações a decorrer no sistema real. 	<ul style="list-style-type: none"> • A modelação e análise da simulação pode ser dispendioso e consumir tempo. Simplificar a modelação e análise de recursos pode resultar num modelo de simulação pouco preciso para atingir dos objetivos.
<ul style="list-style-type: none"> • Novos designs de hardware, <i>Layouts</i> das instalações e sistemas de transporte podem ser testados sem comprometer recursos para a sua aquisição. 	
<ul style="list-style-type: none"> • O tempo pode ser encurtado ou alongado para permitir uma maior velocidade ou atraso dos parâmetros em estudo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação. A maior parte dos <i>outputs</i> de simulação são essencialmente variáveis aleatórias, por isso pode ser difícil de distinguir se uma observação é resultado de inter-relações do sistema ou de aleatoriedade.
<ul style="list-style-type: none"> • As hipóteses sobre como e porque alguns fenómenos acontecem são viabilizadas. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Um estudo de simulação ajuda a perceber o modo como funciona um sistema, em vez, do modo como os trabalhadores acham que funciona o sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • A modelação de sistemas requer treino especializado. Para além disso, se dois modelos forem construídos por diferentes trabalhadores pode haver semelhanças, mas há uma grande probabilidade de não serem iguais
<ul style="list-style-type: none"> • As questões do tipo “E se...” podem ser respondidas, o que é particularmente útil na conceção de novos sistemas 	

2.3.3. Metodologia de desenvolvimento de um estudo de simulação

A metodologia de desenvolvimento de um estudo de simulação, compreende um conjunto de passos iterativos (Figura 2.6), sendo o fio condutor para o desenvolvimento e posterior validação. Contém duas etapas: a de desenvolvimento do modelo e a do estudo do sistema com base no modelo. Da primeira etapa deve resultar um modelo de simulação válido do sistema, que é utilizado para a segunda etapa. No fim da segunda etapa, obtêm-se as melhorias a implementar no sistema em estudo, à luz dos objetivos previamente definidos.

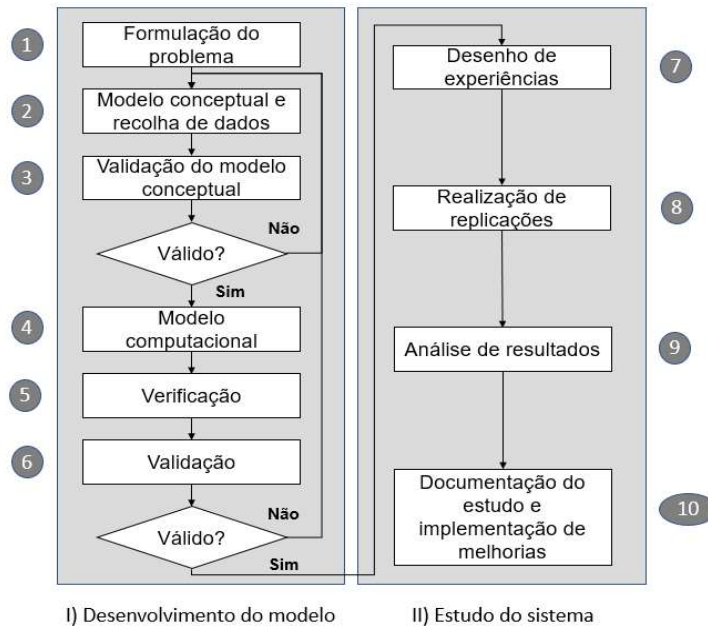


Figura 2.6 - Metodologia de desenvolvimento de um estudo de simulação

1) Formulação do problema

Um problema começa com a percepção de uma necessidade por parte de algum membro da organização. O problema deve ser definido de forma precisa e concisa, para que todas as partes interessadas estejam conscientes da sua existência e que sejam definidos os objetivos genéricos do estudo do sistema para os quais a simulação terá de dar resposta. A definição do problema deve incluir uma descrição detalhada dos objetivos do estudo, do tipo de modelo de simulação a utilizar, dos *outputs* pretendidos com o modelo, de todos os cenários a serem examinados e de decisões a serem tomadas (Rossetti, 2015).

2) Desenvolvimento de um modelo conceptual e recolha de dados

Com a definição do problema e do sistema em estudo, o modelo pode ser desenvolvido. A modelação deve começar com modelos conceptuais capazes de captar os aspetos básicos e os comportamentos específicos do sistema. A complexidade deve ser adicionada aos poucos e proporcionalmente à qualidade dos dados recolhidos e ao grau de validação necessário para que os objetivos sejam atingidos. Apesar de ter um elevado nível de abstração, o modelo conceptual é importante pois prende-se com o seu desenvolvimento (Rossetti, 2015):

- Identificar todas as variáveis de estado e selecionar as mais relevantes;
- Identificar as medidas de desempenho a determinar;
- Descrever com detalhe os subsistemas e a sua interação;
- Identificar os pressupostos;
- Identificar as limitações do estudo do sistema.

O modelo conceptual utiliza ferramentas como fluxogramas, diagramas do fluxo do processo e diagrama do ciclo de atividades para a representação diagramática do sistema (Rossetti, 2015).

3) Validação do modelo conceptual

A validação do modelo conceptual consiste em determinar se as teorias e os pressupostos subjacentes ao modelo conceptual são consistentes com os do sistema real e se a representação do modelo é aceitável atendendo aos propósitos do modelo de simulação (Sargent, 2015). Esta validação pode ser realizada por elementos da organização com a devida experiência no sistema em modelação.

4) Desenvolvimento de um modelo computacional

Depois de ser desenvolvido um modelo conceptual sólido e válido, é concebido o modelo computacional do sistema. Durante esta fase, são desenvolvidas configurações alternativas do sistema com base nos modelos conceptuais prévios e é decidido qual o tipo de linguagem de simulação a utilizar. A linguagem computacional pode ser de natureza genérica, como C++, Visual Basic, FORTRAN, ou específica de simulação, como Arena, Promodel, GPSS, entre outros (Law, 2019).

5) Verificação do modelo

A verificação do modelo de simulação é realizada para determinar se o modelo computacional desenvolvido é consistente com o modelo conceptual e respetivas especificações. A verificação pretende dar resposta à questão “O modelo computacional foi corretamente construído?” (Sargent 2015). Para ser verificado, o modelo é depurado por forma a que sejam identificados erros no código de simulação. Segundo Sargent (2015), os erros mais comuns incluem um controlo inapropriado do fluxo e da criação de entidades, falhas na libertação dos recursos, erros lógicos e aritméticos e interpretação incorreta de estatísticas. Algumas formas de verificar o modelo incluem (i) técnicas para a visualização do percurso das entidades ao longo do sistema, por exemplo, através da animação do modelo; (ii) submissão do modelo a *inputs* determinísticos, que permitam prever a sua capacidade de resposta e conseqüentemente perceber se foram corretamente construídos e (iii) a análise e opinião de técnicos experientes no sistema em estudo (Sargent, 2015).

6) Validação do modelo

A validação de um modelo pretende avaliar se o modelo computacional desenvolvido possui a precisão necessária para a aplicação pretendida do modelo. Pretende dar resposta à questão: “O modelo computacional desenvolvido é o modelo certo?” (Rossetti 2015) e possui duas componentes: a validação conceptual e a validação operacional. A validação conceptual consiste em determinar se o modelo computacional representa de forma fidedigna o sistema real, a qual pode ser efetuada através da observação do sistema real ou por via de profissionais com experiência e conhecimento sobre o sistema a modelar. A validação operacional consiste em comparar os dados do sistema com os dados recolhidos através da simulação, podendo ser realizada de forma objetiva ou subjetiva (Sargent, 2015; Law, 2019).

A validação operacional objetiva tem por base testes de hipóteses e intervalos de confiança. Os testes de hipóteses são utilizados para a comparação de médias, variâncias ou distribuições de probabilidade. A hipótese de os parâmetros do sistema simulado serem iguais aos do sistema real é frequentemente rejeitada. Os intervalos de confiança dão informação adicional à dos testes de hipóteses, permitindo que seja quantificada a diferença entre os valores obtidos por simulação e os reais (Sargent, 2015; Law, 2019).

A validação operacional subjetiva é realizada recorrendo a gráficos. É a técnica de validação operacional mais utilizada, porque os requisitos de precisão requeridos não conseguem ser satisfeitos ou por haver uma quantidade insuficiente de dados disponíveis, cujos resultados estatísticos não são significativos (Sargent, 2015; Law, 2019).

7) Desenho de experiências

Uma vez verificado e validado, o modelo de simulação pode ser utilizado para se realizarem experiências nas quais se variam alguns parâmetros do modelo em função dos objetivos estipulados. Numa primeira fase são realizadas experiências de simulação preliminares para se definirem parâmetros estatísticos associados ao estudo principal. Posteriormente, alguns parâmetros do modelo de simulação atual são alterados, levando à criação de vários cenários (Rossetti, 2015).

8) Realização de replicações

Uma vez construídos os cenários, são realizadas replicações de acordo com o nível de precisão desejado. Quanto maior o número de replicações, menor é a incerteza associada às medidas de desempenho resultantes do modelo (Rossetti, 2015).

9) Análise de resultados

As medidas de desempenho obtidas a partir dos cenários são comparadas através de análises estatísticas e lógicas, nomeadamente análises de sensibilidade. O objetivo é identificar qual o cenário que melhor permite à organização ir ao encontro dos seus objetivos.

10) Documentação do estudo e implementação de melhorias

Uma boa documentação do estudo realizado possui uma vertente técnica e uma vertente de utilização. A primeira contribui para a reutilização e portabilidade do modelo de simulação e é particularmente útil para entidades da organização que necessitam de o utilizar, mas que não participaram na sua conceção. A documentação de utilização é direcionada para os utilizadores que não estejam familiarizados com modelos de simulação e, por isso, a clareza e simplicidade são as principais características desta documentação (Rossetti, 2015). Se os resultados obtidos por simulação satisfizerem os objetivos delineados, a solução deve ser implementada e documentada. Depois de implementada, o projeto deve ser reavaliado no sentido de se perceber se a solução escolhida permitiu atingir os respetivos objetivos. Caso os resultados não sejam satisfatórios, fazem-se novas iterações e determina-se o que falta nos dados, modelo, experiência ou resultados para que os objetivos da modelação sejam cumpridos (Rossetti, 2015).

2.3.4. O software Arena

O *software Arena* é um programa que facilita o desenvolvimento e execução de modelos computacionais de simulação. A simulação recorre a módulos pré-definidos que estão dispostos em painéis. Uma vez contruídos, há a possibilidade de animar os modelos. A simulação em Arena pode utilizar ainda três tipos de ferramentas: o *Input Analyzer*, *Output Analyzer* e o *Process Analyzer* (Rossetti, 2015). O *Input Analyzer* pode ser utilizado no ajuste dos dados recolhidos a distribuições de probabilidade e avaliação da qualidade do ajuste. O *Output Analyzer* permite fazer a análise estatística do *output* do modelo de simulação. O *Process Analyzer* facilita a obter e comparar de medidas de desempenho, através da variação de determinados parâmetros do modelo, como a duração das atividades, quantidade de recursos em utilização, entre outros (Rossetti, 2015; Law, 2019).

2.3.5. Análise do Input

Os dados que vão entrar no modelo de simulação (*input*) são essenciais. A atividade que modela os componentes aleatórios do sistema em estudo é designada de análise do *input*. Esta análise tem duas fases: a de recolha e análise dos dados e a de ajuste dos dados a uma distribuição (Rossetti, 2015).

- **Fase de recolha e análise dos dados**

A recolha de dados de um sistema real, frequentemente requer um compromisso substancial tanto de tempo como de recursos, o que a torna na fase mais exigente de um estudo de simulação. Os dados podem já ter sido recolhidos em tempo real ou até não poderem ser recolhidos. Nas ocasiões em que não é possível recolher dados do sistema, por este não existir ou o tempo disponível ser limitado, recorre-se à opinião de especialistas. Quando é possível, a recolha de dados deve ter em consideração os seguintes aspetos (Rossetti, 2015; Sargent, 2015):

- ✓ Um correto planeamento do tempo, o que pode ser obtido através de uma pré-observação do sistema;
- ✓ Analisar os dados à medida que são recolhidos. É importante perceber se os dados que se estão a recolher são os adequados para modelar o *input* através de uma distribuição. Só é necessário recolher dados que irão efetivamente ser utilizados;
- ✓ É importante que os dados recolhidos sejam homogéneos relativamente a períodos sucessivos e durante o mesmo período por dias sucessivos.

A análise dos dados é posteriormente realizada no sentido de assegurar a sua qualidade para a modelação.

- **Fase de ajuste dos dados a uma distribuição**

Apenas os dados referentes a observações independentes e identicamente distribuídas (IID), i.e., não dependentes do tempo, são utilizados para análise com o objetivo de os ajustar a uma distribuição de probabilidade. Para se verificar se as observações são IID usa-se o diagrama de dispersão (Figura 2.7).

Caso as amostras de dados não sejam IID, os pontos representados no gráfico apresentam um padrão, podendo ter uma correlação positiva ou negativa (Situação B - Figura 2.7), caso contrário os dados são IID e não é visível nenhum padrão (Situação A - Figura 2.7) (Banks et al., 2010; Rossetti, 2015).

O ajuste dos dados a distribuições de probabilidade pode ser realizado através de um histograma obtido no *input analyzer*. Se os dados obtidos são discretos, o histograma tem uma classe para cada valor da amostra. Caso os dados sejam contínuos, o histograma dá uma estimativa da função densidade de probabilidade correspondente à distribuição dos dados. O ajuste pode ser realizado a uma distribuição específica ou considerando todas as distribuições possíveis (Biller et al., 2010; Rossetti, 2015). No Anexo C são caracterizadas as principais distribuições utilizadas para ajuste dos dados, os seus parâmetros, bem como a sua aplicabilidade.

Como o ajuste está dependente do número de intervalos do histograma, é importante que se varie o número de intervalos para que seja analisada a sensibilidade do processo de ajuste ao número de intervalos do histograma (Banks et al., 2010).

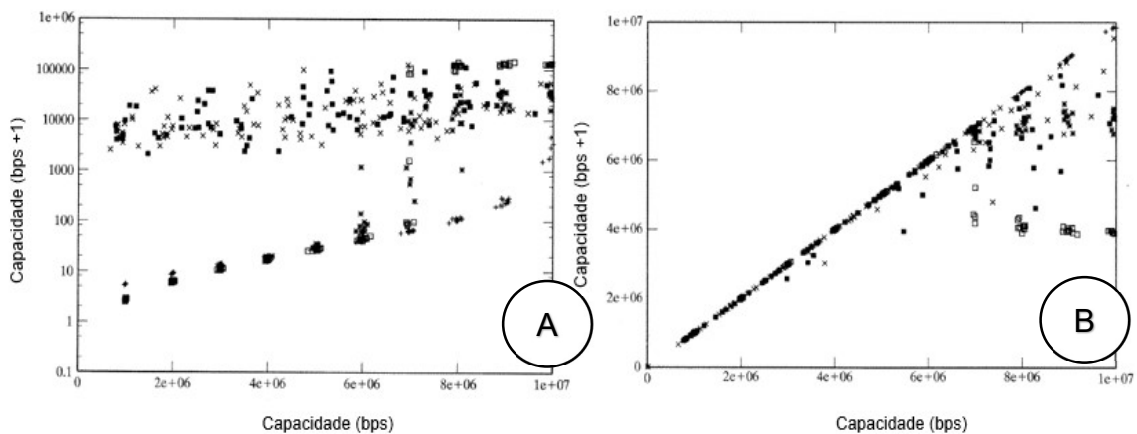


Figura 2.7 - Diagramas de dispersão

Adaptado de Banks (2010)

A avaliação do ajuste é baseada num teste de hipóteses que tem como finalidade testar uma hipótese sobre a população ou amostra que se pretende estudar. Neste caso, pretende-se estudar a hipótese de ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade. Para este teste é utilizada uma hipótese nula (H_0) que define que a distribuição obtida e os respetivos parâmetros são um bom ajuste dos dados e a hipótese alternativa (H_1) que define o oposto (Biller et al., 2010; Rossetti, 2015).

A H_0 não é rejeitada caso (i) não seja encontrada evidência estatística que H_0 não é verdadeira, (ii) H_0 seja verdadeira ou (iii) não existam dados suficientes para afirmar que H_0 é falsa. O processo de ajuste encerra alguma incerteza, proveniente dos seguintes erros (Rossetti, 2015):

- **Erro tipo I:** Rejeitar H_0 e H_0 ser verdadeira
- **Erro tipo II:** Não rejeitar H_0 e H_0 ser falsa

Estes erros do tipo I e II têm uma probabilidade associada, denotada com α e β , respectivamente. Estas probabilidades variam inversamente para amostras com a mesma dimensão, ou seja, quando se diminui α , β aumenta (Fishman, 2001).

A qualidade no ajuste dos dados pode ser verificada através dos testes do Qui-Quadrado e/ou do *Kolmogorov-Smirnov*.

- **Teste do Qui-Quadrado**

Um dos procedimentos para testar a hipótese de uma amostra aleatória de dimensão n de uma variável aleatória X seguir uma distribuição específica é o teste de ajuste do Qui-Quadrado. Este teste formaliza a ideia de comparar um histograma de dados à forma de uma função densidade de probabilidade. O teste é válido para amostras de elevada dimensão e para distribuições contínuas ou discretas, em que os parâmetros são estimados atendendo à probabilidade máxima do ajuste (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Número de classes para dados contínuos

Fonte: Banks et al. (2010)

Dimensão da amostra (n)	Número de classes
20	Não utilizar teste do qui-quadrado
50	5-10
100	10-20
>100	\sqrt{n} até $n/5$

O teste começa por aglomerar o conjunto de n observações num conjunto k de intervalos ou classes. A estatística de teste é dada pela Equação 2.3:

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.3)$$

Em que O_i representa a frequência de observação na classe i e E_i a frequência expectável nessa classe, sendo que $E_i = np_i$ e p_i representa a probabilidade teórica associada à classe i . Sabe-se que a estatística de teste segue a distribuição do qui-quadrado com $k-s-1$ graus de liberdade, em que s representa o número de parâmetros da distribuição em hipótese. Se a estatística de teste for superior ao valor crítico ($\chi_{\alpha; k-s-1}^2$), rejeita-se H_0 com $1-\alpha$ nível de confiança, rejeitando-se consequentemente a hipótese de ajuste dos dados à distribuição em estudo.

- **Teste *Kolmogorov-Smirnov***

O teste de *Kolmogorov-Smirnov* é particularmente útil quando a dimensão da amostra é pequena e quando nenhum parâmetro é estimado a partir dos dados. Este teste é utilizado com dados contínuos e a sua aplicação é específica para situações em que a distribuição indicada na H_0 está totalmente especificada.

Este teste baseia-se na máxima diferença absoluta (D_n) entre a função de distribuição acumulada dos dados ($F_n(x)$) e a função de distribuição empírica dos dados ($\hat{F}(x)$). A estatística de teste é dada pela Equação 2.4:

$$D_n = \sup_x \{|F_n(x)| - |\hat{F}(x)|\} \quad (2.4)$$

Sabe-se que $\hat{F}(x) = \frac{x}{n}$, para todo e qualquer número real x e que n representa a dimensão da amostra. Se $D_n > d_{n,1-\alpha}$, rejeita-se H_0 com um nível de confiança $1 - \alpha$.

Nos testes do Qui-Quadrado e *Kolmogorov-Smirnov* é utilizado um valor de prova denominado de *p-value* que varia consoante o grau de precisão ambicionado pela organização. Caso *p-value* $> \alpha$, a H_0 não é rejeitada, caso *p-value* $< \alpha$, existem evidências estatísticas que sustentam a rejeição de H_0 (Biller et al., 2010).

2.3.6. Análise do Output

Todas as experiências de DES com *inputs* aleatórios, geram *outputs* aleatórios. Cada *output* consiste numa sequência de observações dependentes utilizadas para estimar os valores verdadeiros de uma ou mais medidas de desempenho. Quando se modela um sistema, requerem-se objetivos específicos de medição. Relativamente ao planeamento da análise experimental é útil considerar que as simulações são constituídas por duas categorias principais relacionadas com o tempo, durante o qual as decisões têm de ser tomadas (Banks et al., 2010; Rossetti, 2015):

- **Horizonte finito:** Num horizonte finito de simulação, as condições de terminação estão bem definidas através da ocorrência de eventos, por isso, o fim do tempo de simulação está bem definido. Estes sistemas são apelidados de sistemas *terminating* e cada replicação representa uma amostra do modelo para um instante de tempo do horizonte finito. A duração da replicação corresponde ao horizonte finito. Um exemplo deste tipo de sistema é um banco que abre às 9h e fecha às 17h. Neste caso, cada replicação tem a duração de 8h.
- **Horizonte infinito:** Numa simulação de horizonte infinito, não estão definidas as condições de fim de simulação. O período de planeamento decorre ao longo da vida do sistema que, de um ponto de vista conceptual é infinito. Nestas circunstâncias, os sistemas são denominados de *steady-state* porque enfoque está na obtenção de medidas de desempenho no longo prazo ou em condições de estacionariedade do sistema. O intervalo de tempo que decorre até que o sistema atinja a estacionariedade é denominado de *warm-up period* e durante este período não são recolhidas observações para o cálculo das medidas de desempenho. Apesar de ser necessário especificar a duração das replicações quando se simula este tipo de sistema, a duração será longa o suficiente para se satisfazer o objetivo de observar o desempenho a longo prazo. Um exemplo são as urgências médicas de um hospital, que estão abertas em qualquer dia a qualquer hora. Como a simulação com horizonte infinito modela sistemas que estão sempre operacionais, também necessita de modelar processos não estacionários.

Como o estudo de caso é sobre um sistema do tipo *terminating*, a análise do *output* focar-se-á neste tipo de sistemas. Para a análise do *output* pode utilizar-se um número de observações fixo, ou pode variar-se o número de observações para se obterem resultados com uma determinada precisão. Caso o número de replicações seja fixo, o IC para a média das medidas de desempenho é obtido através da Equação 2.5:

$$\bar{X}(j) \pm t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S}{\sqrt{R}} \quad (2.5)$$

Em que:

- $\bar{X}(j)$ - Média das observações do *output* para uma dada medida de desempenho;
- $t_{\frac{\alpha}{2}; R-1}$ - Valor da distribuição *t-student* para um nível de confiança $(1-\frac{\alpha}{2})$ e R-1 graus de liberdade;
- S - Desvio padrão da amostra;
- R - Número de replicações;
- O *half-width* (H) = $t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S}{\sqrt{R}}$.

Em simulação, raramente se escolhe um R. Geralmente, o valor de R deve ser elevado o suficiente para assegurar que o H é reduzido e que, por isso, há uma maior segurança no processo de decisão a que a simulação está a dar apoio. Deste modo, partindo de um valor R_0 inicial, em que $R_0 \geq 2$ é possível estimar a variância da amostra (S_0^2). Para cumprir os critérios do H, tem de ser seleccionada uma amostra de tamanho R de tal modo que $R \geq R_0$ e que H é menor ou igual a um determinado valor (Equação 2.6).

$$H = t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S_0}{\sqrt{R}} \leq \varepsilon \quad (2.6)$$

Da Equação 2.6, verifica-se que R é o menor inteiro que satisfaz $R \geq R_0$ e a Equação 2.7.

$$R \geq \left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (2.7)$$

Uma estimativa inicial para R, pela aproximação da distribuição *T-student* à distribuição normal, válida para $R \geq 30$ é dada pela Equação 2.8, em que $z_{\alpha/2}$ representa o valor da distribuição normal para um intervalo de confiança de $(1-\frac{\alpha}{2})$.

$$R \geq \left(\frac{z_{\alpha/2} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (2.8)$$

A média da medida de desempenho (θ) é obtida para um nível de confiança de $(1-\frac{\alpha}{2})$ a partir de R replicações (Equação 2.9).

$$\bar{X} - t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S_0}{\sqrt{R}} \leq \theta \leq \bar{X} + t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S_0}{\sqrt{R}} \quad (2.9)$$

- **Análise do *output* para comparação de cenários**

Até este ponto, a análise do desempenho de um sistema tem tido como base a execução de um único modelo de simulação. Após simular diferentes configurações e cenários, é necessário comparar os *outputs* de diferentes modelos de simulação. Este tipo de comparação é o que torna a simulação numa ferramenta poderosa e que permite que seja tomada uma decisão de que um sistema é estatisticamente melhor ou pior que outro, com a devida confiança. Para este tipo de comparação pode utilizar-se a ferramenta *Output Analyzer* do Arena que permite, por exemplo, fazer um teste de hipóteses à diferença de médias denominado Paired t test (Rossetti, 2015).

Segundo este teste, se se pretende comprar dois modelos de simulação 1 e 2, com um valor médio por replicação de $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$ e de $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}$ respetivamente, tem de se assegurar um igual número de replicações R_1 e R_2 . Neste ponto, é gerada uma correlação (X_{1j}, X_{2j}) entre os dois modelos. A diferença de médias entre as amostras dos modelos 1 e 2 é dada pela Equação 2.10 para o número de replicações estipulado é:

$$D_j = X_{1j} - X_{2j} \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, R \quad (2.10)$$

Da Equação 2.10 obtém-se o valor médio da amostra correspondente à diferença de médias (Equação 2.11) e a respetiva variância (2.12).

$$\bar{D} = \frac{1}{R} \sum_{j=1}^R D_j \quad (2.11)$$

$$S^2 = \frac{1}{R-1} \sum_{j=1}^R (D_j - \bar{D})^2 \quad (2.12)$$

O intervalo de confiança para a diferença de médias está representado na Equação 2.13. Em que:

$$\bar{D} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} \frac{S}{\sqrt{R}} \quad (2.13)$$

Em que:

- $\bar{X}(j)$ - Média da diferença de médias dos modelos 1 e 2;
- $t_{\frac{\alpha}{2}, R-1}$ - Valor da distribuição *t-student* para um nível de confiança $(1-\frac{\alpha}{2})$ e R-1 graus de liberdade;
- S - Desvio padrão da amostra;
- R - Número de replicações;

- O *half-width* (H) = $t_{\frac{\alpha}{2}; R-1} \frac{S}{\sqrt{R}}$.

2.4. Síntese

A filosofia *Lean* foi inicialmente desenvolvida no contexto da indústria automóvel, mas a sua integração rapidamente se difundiu por vários domínios, entre os quais a saúde. Um dos objetivos desta filosofia é a redução do desperdício, através da eliminação das atividades de valor não acrescentado desnecessárias. O sucesso de uma integração da filosofia *Lean* está dependente da forma como uma organização integra os conceitos *Lean* e aplica as ferramentas no contexto da sua atividade, sendo necessária uma boa cultura institucional. A liderança e a capacitação dos profissionais devem estar em linha com o fundamento desta filosofia. Ainda assim, as propostas de melhoria *Lean* necessárias para se cumprirem as especificações do *Future State Map*, podem não ter o impacto desejado no sistema real. Neste sentido, a simulação surge como uma ferramenta que permite avaliar a resposta do sistema a propostas de melhoria. A simulação pode ser realizada manualmente ou através de programação. O desenvolvimento de um modelo de simulação segue uma metodologia bem definida, da qual resulta um modelo válido para a representação do sistema real. Para a análise deste estudo de caso e respetivas propostas de melhoria é utilizado o *software* Arena.

3. Caracterização do estudo de caso

O objetivo deste capítulo é fazer o enquadramento do estudo de caso, através da caracterização detalhada do Centro de Reprocessamento de Dispositivos Médicos. Numa primeira fase, resumem-se as etapas mais marcantes da história da organização e contextualiza-se o estudo de caso. De seguida, são caracterizados os produtos, neste caso os Dispositivos Médicos (DMs), bem como o seu ciclo de reprocessamento, constituído pelos estágios de reprocessamento, sobre o qual se centra o estudo, e de transporte.

Prossegue-se com a análise das etapas principais que estão adjacentes ao reprocessamento para cada tipologia de DM. Por fim, identificam-se os recursos associados e de que forma estão alocados às diferentes etapas do reprocessamento fornecendo, deste modo, uma visão holística do funcionamento atual do RUMED.

3.1. Centro de reprocessamento de dispositivos médicos

O RUMED foi fundado em 2013, com o propósito de prestar serviços de reprocessamento de DMs em regime de subcontratação a entidades prestadoras de cuidados de saúde, i.e., hospitais e clínicas. Os hospitais diferenciam-se das clínicas por auferirem a possibilidade de internamento dos pacientes após as intervenções cirúrgicas.

Em 2018 o RUMED foi adquirido pelo grupo C, no seguimento de uma decisão estratégica de centralizar até 2023 a atividade de reprocessamento das suas US localizadas na região de Lisboa e Vale do Tejo. O grupo C visa manter e renovar os contratos de reprocessamento com o grupo S e o grupo T, clientes do RUMED.

A visão do RUMED passa por liderar o mercado em Portugal no serviço de reprocessamento de DMs e ser um parceiro de referência na indústria da saúde.

3.2. Contextualização do problema

O RUMED é responsável pelo reprocessamento de DMs provenientes de 20 US, 13 clínicas e 7 hospitais e pelo transporte dos DMs no percurso US-RUMED e vice-versa.

O estudo de caso foca-se apenas no estágio de reprocessamento dos DMs. O objetivo deste estágio é assegurar um reprocessamento eficaz dos DMs que cumpra o *Service Level Agreement* (SLA), tempo que o RUMED tem disponível para reprocessar os DMs contaminados e que exclui o transporte dos DMs das US para o RUMED e vice-versa. Cada US tem um SLA acordado com o RUMED. Quanto menor for o SLA de uma US, maior será a urgência em reprocessar os DMs dessa US.

O RUMED prevê para o último trimestre de 2022 um aumento em cerca de 97% do volume de DMs a reprocessar face ao atual, devido à integração de novas US. Atendendo ao aumento da procura prospetivado para o futuro, o estudo de caso tem como objetivo principal avaliar o desempenho e

eficácia do reprocessamento atual de DMs, por forma a que exista uma base para o desenvolvimento do projeto futuro. Com base da avaliação obtida, pretende-se tornar o reprocessamento atual no mais eficiente possível. O volume de reprocessamento é medido em unidades técnicas de esterilização (UTES), em que 1 UTE corresponde a 54 dm³.

3.3. Classificação dos dispositivos médicos

Na Figura 3.1 estão representados exemplos de DMs semelhantes aos DMs reprocessados no RUMED em estudo.



Figura 3.1 - Exemplo de DMs reprocessados no RUMED em estudo

Atendendo à diversidade de DMs existentes, aos seus desígnios, bem como aos respetivos requisitos a nível do reprocessamento e do transporte, considerou-se relevante para o estudo de caso segmentar os DMs reprocessados no RUMED de acordo com os critérios: (i) risco de contaminação, (ii) origem e (iii) reprocessamento.

i. Risco de contaminação

O risco de contaminação é o critério através do qual se obtêm 3 segmentos de DMs: os críticos, os semicríticos e os não críticos. No RUMED de reprocessamento em estudo são apenas reprocessados os DMs com um nível de risco crítico ou semicrítico de contaminação, com mais do que uma utilização.

ii. Origem

A origem dos DMs é o critério que permite diferenciar os DMs a seguir ao critério risco de contaminação. De acordo com o proprietário dos DMs, estes podem ser classificados em dois grupos:

- **DMs das US:** onde se incluem todos os que são propriedade das US;
- **DMs consignados:** tipicamente instrumentos cirúrgicos ou materiais de implante, são propriedade das organizações de DMs, mas devido ao seu elevado custo de aquisição, são concedidos por essas organizações às US em regime de consignação.

iii. Reprocessamento

O reprocessamento é o critério que permite diferenciar os DMs provenientes das US em individuais e caixas cirúrgicas e os DMs consignados em consignados para utilização e consignados para devolução.

Atendendo à classificação segundo os três critérios apresentados, o estudo de caso centra-se no estágio de reprocessamento dos seguintes quatro tipos de DMs: individuais, caixas cirúrgicas, consignados para utilização e consignados para devolução (Figura 3.2). O reprocessamento dos DMs é assegurado por uma equipa de Técnicos Oracionais de Esterilização (TOEs).

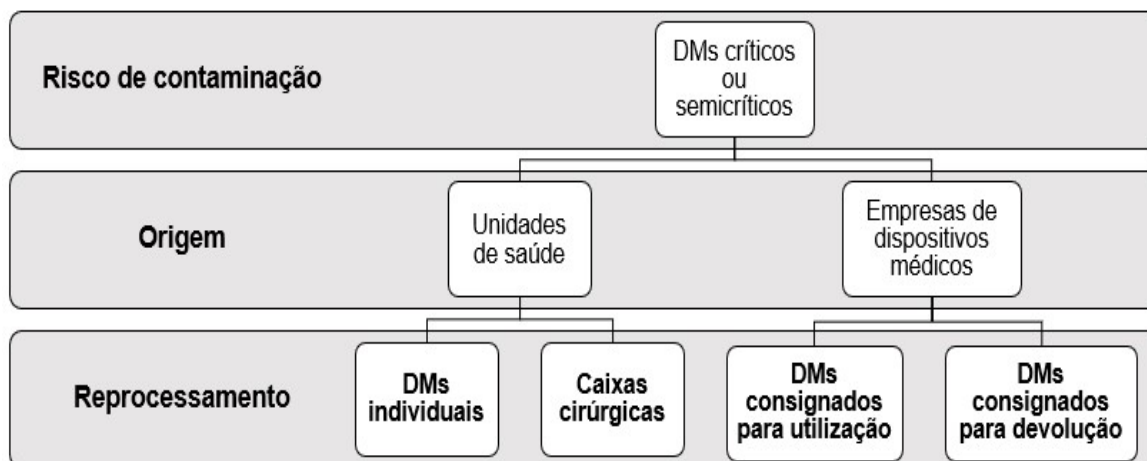


Figura 3.2 - Classificação dos DMs reprocessados no RUMED

3.3.1. Dispositivos médicos individuais

Os DMs individuais têm uma função individual e transversal às várias especialidades médicas (EM) de uma US. Cerca de 38% da atividade do RUMED relaciona-se com o reprocessamento de DMs individuais (documento interno 1, 2019). Estes DMs podem ser utilizados tanto em clínicas, como em hospitais.

Os DMs individuais são transportados em caixas que pertencem a uma determinada EM de uma US. Não há partilha de DMs entre diferentes EM da mesma US. Para assegurar que não há mistura de DMs provenientes de diferentes caixas, os DMs estão identificados com um número de série, que é utilizado nos momentos de inspeção. A composição das caixas para reprocessamento é variável, pois depende das necessidades que surjam durante as consultas ou intervenções cirúrgicas.

3.3.2. Caixas cirúrgicas

Cerca de 27% da atividade do RUMED relaciona-se com o reprocessamento de caixas cirúrgicas (documento interno 1, 2019) que reúnem DMs individuais utilizados numa determinada intervenção cirúrgica. A sua composição é *standard* para cada tipo de intervenção cirúrgica. As caixas cirúrgicas são, por norma, utilizadas em intervenções cirúrgicas que envolvem internamento do doente na US, pelo que este segmento de DMs é somente utilizado nos hospitais.

Os DMs das caixas cirúrgicas são reprocessados em paralelo com as respectivas caixas, até à etapa de inspeção. Aqui os DMs são esterilizados dentro das próprias caixas, que são transportadas de e para as US dentro de armários de transporte.

Não há partilha de DMs entre diferentes caixas cirúrgicas da mesma US, mesmo que os DMs sejam iguais.

3.3.3. Dispositivos médicos consignados

No RUMED também são reprocessados os DMs utilizados em intervenções cirúrgicas, mas que não são propriedade das US. Estes DMs são designados por consignados, sendo propriedade das organizações de DMs e a sua escolha realizada pelos profissionais de saúde das US, de acordo com as suas preferências individuais. Os DMs consignados são utilizados, à semelhança das caixas cirúrgicas, em intervenções cirúrgicas que implicam o internamento do doente, sendo utilizados apenas em hospitais.

A necessidade de as US utilizarem DMs em regime de consignação resulta de um conjunto de fatores, dos quais se destacam os seguintes com maior relevância:

- O avanço tecnológico constante, quer das técnicas cirúrgicas, quer dos DMs, sobretudo nas EM de ortopedia, plástica e neurocirurgia, que impossibilita as US de apresentarem um *stock* tecnologicamente avançado e suficiente para fazer face a todas as intervenções cirúrgicas, agendadas para o mesmo período;
- As intervenções cirúrgicas serem realizadas com uma baixa frequência, de tal modo que não justifica a aquisição por parte da US;
- Os DMs terem um custo de aquisição tão elevado que não viabiliza a sua aquisição em definitivo.

Ao longo do reprocessamento, os TOEs têm a possibilidade de consultar a informação relativa ao planeamento das intervenções cirúrgicas através de um portal informático criado para monitorização da utilização dos DMs consignados. Deste modo, se algum conjunto de DMs consignados se destinar a uma dada intervenção cirúrgica que até ao momento da descontaminação foi cancelada, esses DMs não são reprocessados e regressam à organização proprietária. Neste portal, exclusivo para os DMs consignados, existem também informações sobre os DMs requisitados, como os tipos de materiais que o constituem, o número de caixas requisitadas, bem como o fornecedor.

Quanto ao reprocessamento, podem distinguir-se dois grupos de consignados: para utilização e para devolução.

- **DMs consignados para utilização**

O reprocessamento de DMs consignados para utilização representa cerca de 22% da atividade do RUMED (documento interno 1, 2019). Estes DMs chegam ao RUMED provenientes das organizações proprietárias e realizam o reprocessamento de acordo com o SLA do hospital ao qual se destinam.

- **DMs consignados para devolução**

O reprocessamento de DMs consignados para devolução representa cerca de 13% da atividade do RUMED. Estes DMs chegam ao RUMED provenientes dos hospitais e destinam-se às organizações proprietárias. O reprocessamento destes DMs termina após a inspeção e não há SLA a cumprir, visto que o RUMED não tem SLAs contratualizados com as organizações proprietárias de DMs.

3.4. Caracterização da procura

A procura pelo reprocessamento de DMs é contratualizada anualmente com cada US, através de uma estimativa do número total de UTEs que cada US prevê necessitar de reprocessar nesse ano. Apesar dos valores anuais da procura de cada US serem confidenciais, será analisado o impacto, em termos percentuais, de cada US no reprocessamento, bem como os respetivos SLAs. Por último, explica-se o processo de chegadas dos DMs ao RUMED.

3.4.1. Clientes do centro de reprocessamento de dispositivos médicos

No RUMED são reprocessados DMs de 3 grupos de saúde detentores das US: o grupo T, o grupo C e o grupo S. Os hospitais, independentemente do grupo de saúde a que pertencem, enviam para reprocessamento no RUMED, DMs individuais, caixas cirúrgicas e DMs consignados. As clínicas enviam apenas DMs individuais para reprocessamento.

O grupo T possui apenas a Clínica T, cujos DMs são reprocessados na totalidade no RUMED. O grupo C, proprietário do RUMED, tem atualmente acordo parcial de reprocessamento para as suas clínicas (Clínicas C) e hospitais (hospitais C). O grupo S é proprietário das Clínicas S e do Hospital S e tem toda a sua atividade de reprocessamento centralizada no RUMED. Uma das clínicas do grupo S tem um SLA acordado diferente das outras, pelo que é denominada ao longo do estudo por Clínica S única.

O volume mensal de DMs reprocessados no RUMED é semelhante ao registado no último semestre de 2019 e corresponde, em termos percentuais, a aproximadamente 2%, 42% e 56%, para os grupos T, C e S, respetivamente (Figura 3.3).

As US são proprietárias dos seus próprios DMs. Mesmo que pertençam ao mesmo grupo de saúde, estas unidades não partilham em ocasião alguma os seus DMs com outras US. As US foram agrupadas em 6 categorias, consoante o grupo a que pertencem e o respetivo SLA. Os SLAs atuais são semelhantes aos contratualizados com as US no ano de 2019 (Tabela 3.1).

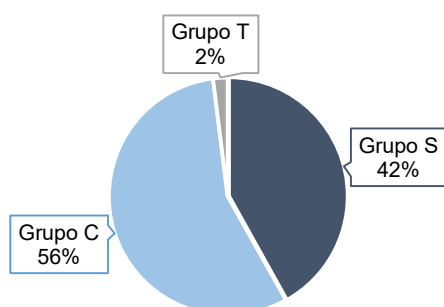


Figura 3.3 - Volume de reprocessamento mensal por grupo no último semestre de 2019 (%)

Tabela 3.1 - SLAs contratualizados para cada categoria para o ano de 2019

Grupo	Categorias de US	SLA (hh:mm)
T	Clínica T	11:00
C	Clínicas C	23:00
C	Hospitais C	11:00
S	Hospital S	04:30
S	Clínica S única	04:30
S	Clínicas S	11:00

O volume de DMs para reprocessamento proveniente de cada US também é conhecido e semelhante, segundo a gestão do RUMED, ao registado no último semestre de 2019. Na Figura 3.4 está representado o impacto de cada categoria de US no reprocessamento. Há evidências de um impacto superior dos hospitais face às clínicas no processo de reprocessamento, com especial destaque para os hospitais S e C, cujo volume de UTEs enviadas para reprocessamento corresponde aproximadamente a 40% e 36% do volume total de UTEs reprocessadas no RUMED.

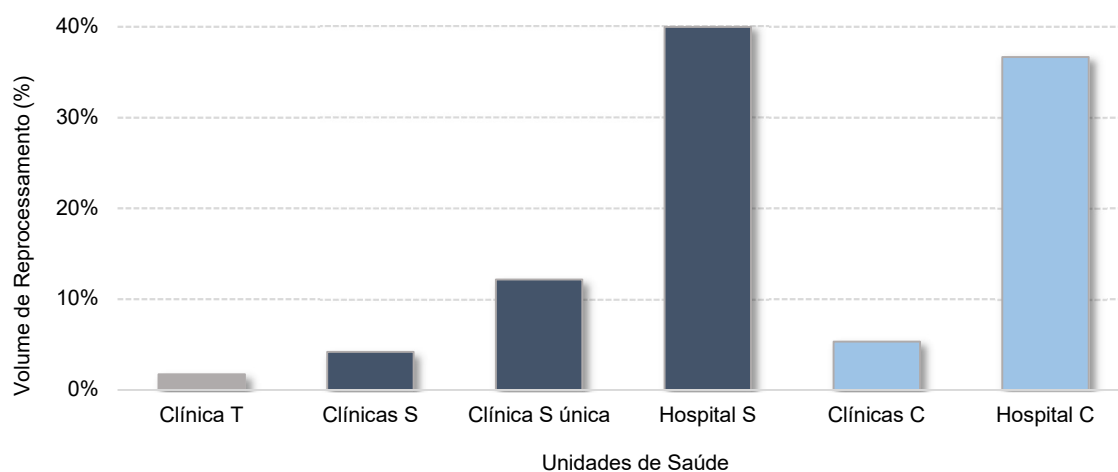


Figura 3.4 - Volume de reprocessamento das US no último semestre de 2019 (%)

Apesar do RUMED ter os SLA contratualizados com todas as US, só é penalizado financeiramente caso não cumpra o SLA acordado com as US do grupo S. Nestas circunstâncias, cada hora de atraso na entrega dos DMs na US custa ao RUMED 500€. Ainda assim, o RUMED não controla atualmente o TC do reprocessamento e, por isso, só há percepção do não cumprimento do SLA quando é notificado pelas US do grupo S. Apesar de não haver penalizações financeiras para o RUMED caso não cumpra o SLA com as US do grupo C, por pertencerem ao mesmo grupo, as situações de incumprimento do SLA provocam frequentemente atrasos ou adiamentos das consultas e intervenções cirúrgicas que, por sua vez, se refletem em prejuízos para o grupo C como um todo.

3.4.2. Caracterização das chegadas

O instante de tempo em que chegam DMs ao RUMED é conhecido, pois o plano diário de rotas de transporte entre US e o RUMED é conhecido e fixo. Existem atualmente 22 rotas diárias definidas pela logística, 10 rotas trazem DMs para reprocessamento durante o turno da manhã, 10 durante o turno da tarde e 2 durante o turno da noite. A logística do RUMED define as rotas em função:

- Dos SLAs contratualizados com as US;
- Dos recursos disponíveis, i.e., motoristas e carrinhas;
- Dos constrangimentos horários e disponibilidade para entrega e recolha dos DMs nas US.

O tipo de DMs que chegam ao RUMED varia consoante a origem da rota. Caso a rota inclua um hospital, os DMs que chegam ao RUMED podem ser individuais, caixas cirúrgicas e consignados, caso contrário apenas chegam DMs individuais.

Devido à elevada rotatividade dos DMs entre o RUMED e as US, às alterações e atrasos no planeamento cirúrgico e à ausência de mecanismos eficazes nas US para a rastreabilidade dos seus DMs, o RUMED não tem informação sobre:

- O tipo de DMs que está previsto chegar até ao momento em que estes DMs chegam às suas instalações. Apesar de um hospital poder enviar para reprocessamento qualquer um dos quatro tipos de DMs, por vezes só chegam DMs de um ou dois tipos;
- A quantidade (UTES) oriunda de cada US até ao instante de chegada dos DMs ao RUMED. Segundo a coordenação logística do RUMED é comum a chegada de armários e caixas de DMs com uma quantidade residual ou mesmo sem DMs para descontaminação.

A falta de informação sobre o tipo de DMs previstos chegar e a respetiva quantidade, impossibilita o planeamento do reprocessamento dos DMs.

A chegada ao RUMED dos DMs consignados para utilização não é conhecida. As organizações de DMs têm acesso aos pedidos de empréstimo dos DMs, através do portal dos DMs consignados. Em função da sua disponibilidade, as organizações entregam estes DMs no RUMED, sem aviso prévio, mas com a antecedência necessária que assegure o seu reprocessamento e o cumprimento do SLA da US à qual os DMs se destinam.

Todos os DMs chegam ao RUMED dentro de caixas. Caso se destinem a ser utilizados no bloco operatório, as caixas que acondicionam os DMs estão colocadas dentro de armários. As caixas contêm DMs da mesma US e da mesma EM. Os armários contêm caixas de DMs de diferentes EM da mesma US.

3.5. Ciclo de reprocessamento dos dispositivos médicos

Para efeitos deste estudo, considera-se que o ciclo de reprocessamento de um DM é constituído por todas as etapas através das quais um DM passa desde que é utilizado numa intervenção cirúrgica até estar apto para uma nova utilização. Deste modo, o ciclo de reprocessamento dos DMs engloba não só o estágio de reprocessamento, mas também o estágio de transporte entre as US, o RUMED e as instalações das organizações de DMs. O ciclo de reprocessamento dos DMs varia consoante a sua origem. Por isso, os ciclos de reprocessamento dos DMs das US e DMs consignados serão analisados separadamente.

3.5.1. Dispositivos médicos das unidades de saúde

Caso os DMs pertençam às US, independentemente de serem individuais ou caixas cirúrgicas, o RUMED assegura i) o transporte dos DMs contaminados das US para as suas instalações, ii) o seu reprocessamento e iii) o transporte de volta para as US. As US são responsáveis pelo armazenamento temporário dos DMs esterilizados e contaminados nos momentos de pré e pós intervenção cirúrgica, respetivamente. O ciclo de reprocessamento dos DMs que pertencem às US está representado na Figura 3.5. Após serem utilizados em intervenções cirúrgicas, os DMs são considerados contaminados. Compete às US armazenar temporariamente os DMs contaminados até à chegada de um técnico operacional de logística (TOL) do RUMED. O TOL assegura o transporte de todos os DMs contaminados armazenados nas US até ao RUMED. Uma vez chegados ao RUMED, os DMs contaminados iniciam, de forma simultânea, o reprocessamento. A primeira etapa do reprocessamento é a descontaminação, após a qual os DMs passam do estado de contaminados para descontaminados. Os DMs descontaminados prosseguem para a etapa de inspeção e embalamento e, de seguida, para a etapa de esterilização e controlo da qualidade. Após a etapa de esterilização e controlo da qualidade, os DMs são considerados esterilizados. Os DMs esterilizados são transportados por um TOL do RUMED para as US, onde são armazenados temporariamente pelas US.

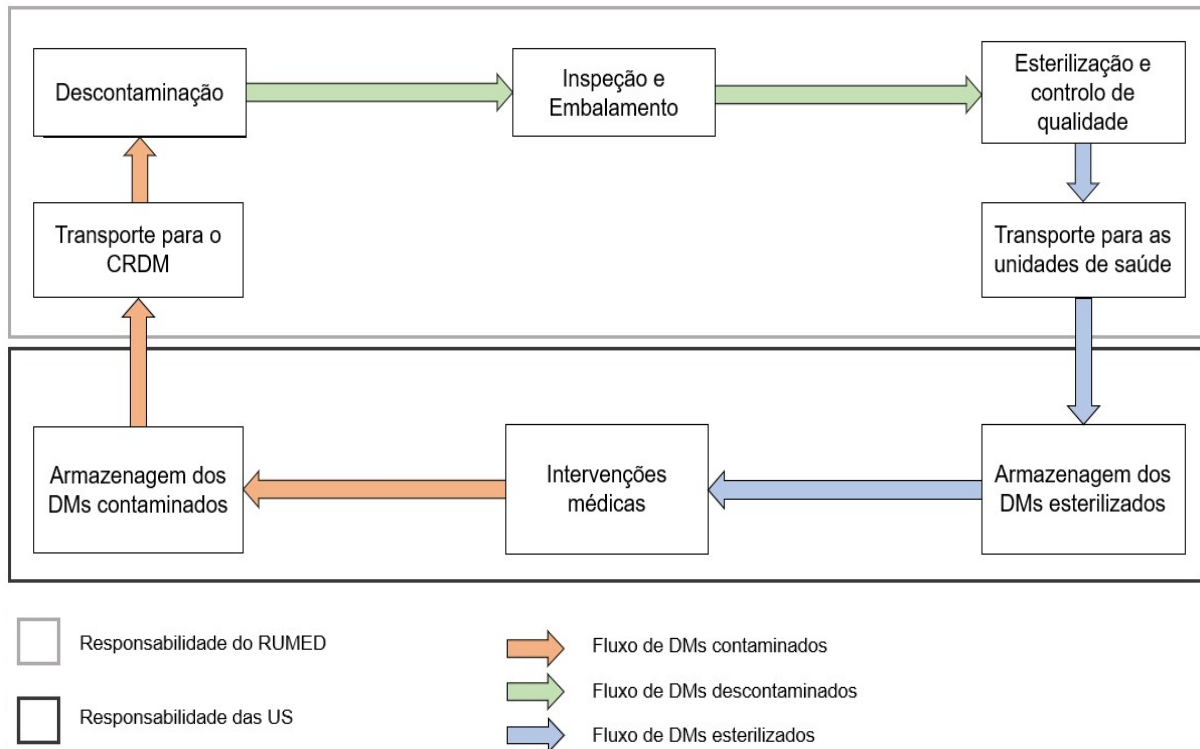


Figura 3.5 - Ciclo de reprocessamento dos DMs das US

3.5.2. Dispositivos médicos consignados

Se os DMs forem consignados, o ciclo de reprocessamento é mais complexo (Figura 3.6). Os DMs consignados são requisitados pelo RUMED às organizações proprietárias, mediante as necessidades médicas de uma US. A requisição dos DMs é realizada através de um pedido de empréstimo, no qual o RUMED especifica a finalidade do empréstimo, bem como outros aspetos relevantes.

Caso haja um acordo de empréstimo dos DMs, as organizações proprietárias transportam os DMs dos seus armazéns até ao RUMED. Como o RUMED não sabe em que condições estas organizações armazenam os DMs, os DMs são considerados contaminados *a priori*. No RUMED, os DMs passam pela etapa de descontaminação, ao fim da qual o seu estado é atualizado de contaminado para descontaminado. De seguida, os DMs são sujeitos às etapas de inspeção e embalagem e de esterilização e controlo da qualidade. Após a etapa de esterilização e controlo da qualidade, os DMs são considerados esterilizados e são transportados por um TOL do RUMED até às US, onde são armazenados até ao momento de início da intervenção médica a que se destinam. Após a intervenção médica, os DMs contaminados aguardam nas US, a cargo das mesmas, pelo transporte até ao RUMED, realizado por um TOL do RUMED.

Como não há um SLA acordado com as organizações proprietárias dos DMs, estes só iniciam a descontaminação quando não houver nenhum DM por descontaminar com SLA acordado. Uma vez descontaminados, os DMs são submetidos à etapa inspeção e embalagem, após a qual são

armazenados até serem recolhidos e transportados do RUMED pelas organizações proprietárias para os seus armazéns.

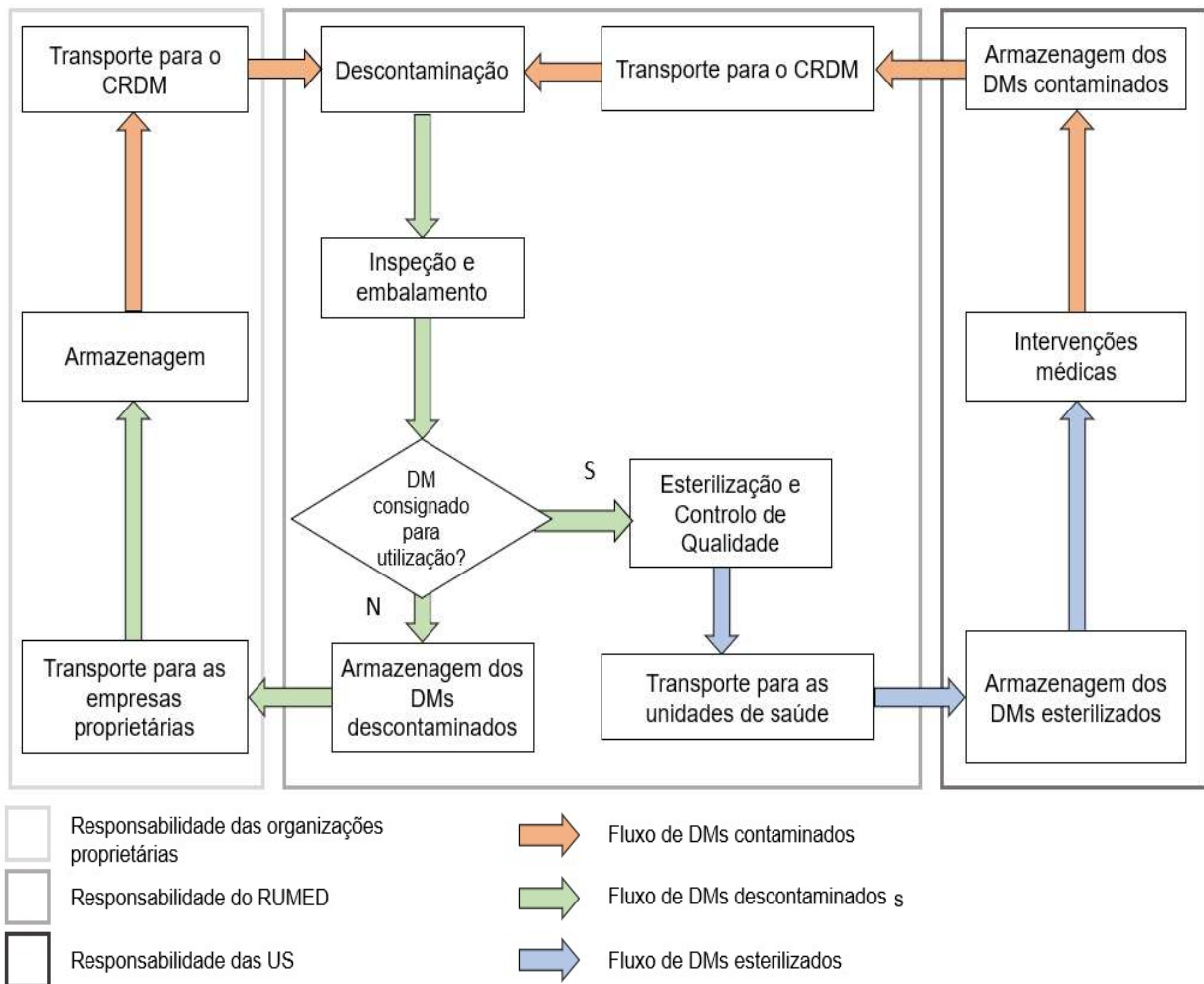


Figura 3.6 - Ciclo de reprocessamento dos DMs consignados

3.6. Estágio de reprocessamento

O estágio de reprocessamento dos DMs é constituído por uma sequência de 3 etapas: (i) descontaminação, (ii) inspeção e embalagem e (iii) esterilização e controlo da qualidade, que são executadas nas zonas de descontaminação, inspeção e embalagem, e esterilização e controlo da qualidade, respetivamente. Nestas zonas circulam DMs contaminados, descontaminados e esterilizados, respetivamente.

O RUMED prevê que o TC de um DM no RUMED, i.e., o tempo que um DM de qualquer tipo demora, em média, a reprocessar desde que inicia a descontaminação até que finaliza o controlo da qualidade é de, aproximadamente 6 horas e 15 minutos. O RUMED também estima que os tempos médios de reprocessamento variem consoante o tipo de DM, ainda assim, até à data não foi realizado nenhum estudo para o apuramento dos tempos médios de reprocessamento para cada tipo de DM.

Na Figura 3.7 estão caracterizadas as etapas do reprocessamento dos DMs, bem como os respectivos processos (descontaminação, lavagem, inspeção, embalagem, esterilização e controlo da qualidade), descritos em seguida.

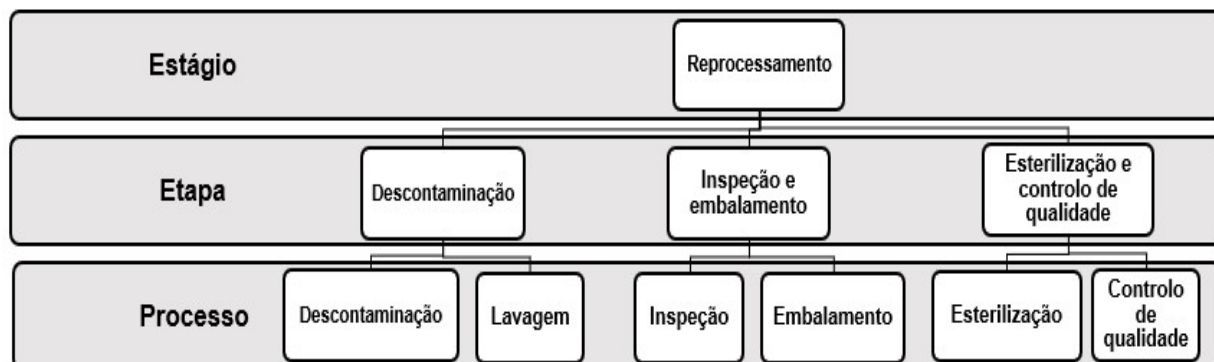


Figura 3.7 - Etapas e processos do estágio de reprocessamento

3.6.1. Etapa de descontaminação

A etapa de descontaminação é constituída pelos processos de descontaminação e lavagem e é realizada na zona de descontaminação. O processo de descontaminação é iniciado no instante em que os DMs entram na zona de descontaminação e termina no instante em que é iniciado o ciclo de lavagem, que pertence ao processo de lavagem. A etapa de descontaminação é iniciada no instante em que os DMs entram na zona de descontaminação e considera-se terminada quando termina o ciclo de lavagem.

Cada caixa de DMs, independentemente da sua origem ou tipologia, é descontaminada apenas por um TOE num dos quatro postos de trabalho disponíveis. Cada posto de trabalho tem capacidade para apenas 1 TOE.

O tempo médio da etapa de descontaminação dos DMs, ou seja, o tempo que um DMs demora, em média, na zona de descontaminação depende da origem dos DMs, da EM a que pertencem e do grau de complexidade dos DMs. No entanto, o RUMED possui apenas um valor de referência para este tempo médio, de aproximadamente 1 hora e 45 minutos, estimado a partir do TC.

a) Processo de descontaminação

O processo de descontaminação varia para os DMs das US, DMs consignados para utilização e DMs consignados para devolução.

➤ DMs das US

A ordem pela qual os DMs de uma US são descontaminados tem por base o SLA contratualizado com essa US. Quanto menor for o SLA de uma US, maior será a urgência em descontaminar os DMs dessa US. Não existe uma regra que determine qual a ordem de descontaminação dos DMs quando chegam

DMs provenientes de diferentes serviços da mesma US, nem quando chegam DMs provenientes de diferentes US com o mesmo SLA contratualizado.

Segundo a ordem estipulada, os DMs são retirados das caixas que os acondicionam, colocados em cestas de lavagem e pré-lavados. Cada cesta só pode levar DMs que tenham sido transportados até ao RUMED na mesma caixa, ou seja, que pertençam à mesma EM e sejam da mesma US. No final da pré-lavagem, as cestas são colocadas em *racks* que, quando estão completos, são introduzidos dentro das lavadoras, iniciando o processo de lavagem.

Ao longo do reprocessamento, os DMs das US são acompanhados por uma Folha de Registo e Entrega do Material (FREM), que é assinada no final de cada etapa. A FREM é gerada após a intervenção cirúrgica para confirmação dos DMs enviados para reprocessamento. No final da etapa de descontaminação, cada TOE regista na FREM que os DMs de que estava encarregue foram descontaminados, fotografa e envia a FREM por email para a zona de inspeção e embalamento.

➤ DMs consignados para utilização

Quando os DMs consignados chegam à zona de descontaminação os TOEs verificam, no portal dos consignados, se os DMs que chegaram ao RUMED foram efetivamente requisitados para as intervenções cirúrgicas. Se os DMs coincidirem com as necessidades do planeamento cirúrgico, é iniciado o processo de descontaminação, caso contrário é contactada a coordenação técnica que fica responsável por decidir se os DMs regressam às organizações proprietárias ou prosseguem com o reprocessamento.

A ordem de descontaminação dos DMs consignados para utilização tem por base, em primeiro lugar, a informação relativa ao estado das intervenções cirúrgicas às quais se destinam os DMs, disponível no portal dos consignados, e depois o SLA da respetiva US. As intervenções cirúrgicas podem ter 4 estados: normal, atrasada, cancelada ou adiada.

De seguida, os DMs são retirados das caixas segundo a ordem estipulada, fotografados e colocados em cestas de lavagem, que são posteriormente colocadas em *racks*. Os *racks* são introduzidos nas lavadoras quando atingem a sua capacidade máxima.

➤ DMs consignados para devolução

Se os DMs consignados forem para devolução às organizações proprietárias, como não existe um SLA acordado com estas organizações, os DMs aguardam até que não haja nenhum DM com destino a uma US por descontaminar.

De seguida, os DMs são retirados das caixas, fotografados, pré-lavados, dispostos em cestas e as cestas colocadas nos *racks*. Os *racks* são introduzidos nas lavadoras quando atingem a sua capacidade máxima.

b) Processo de lavagem

O processo de lavagem é semelhante para todos os segmentos de DMs e depende apenas da EM a que pertencem. O processo de lavagem é iniciado quando (i) os *racks* atingem uma capacidade mínima ou (ii) quando o tempo de espera dos DMs para entrar na lavadora atinge os 15 minutos. Do ponto de vista operacional, não existe qualquer estudo que evidencie vantagens em proceder a esta espera para o início da lavagem, nem qual o tempo de espera máximo recomendado para o seu início.

Devido ao facto de existirem diferenças na forma, na dimensão e nos materiais de constituem os DMs, existem diferentes programas de lavagem. Na Tabela 3.2 estão representados os 4 programas de lavagem de DMs disponíveis em qualquer uma das 5 máquinas de lavagem. O programa de instrumental é o único que também está disponível no túnel de lavagem. As diferenças entre os vários programas de lavagem são: (i) a EM a que pertencem os DMs, (ii) a capacidade máxima de cada programa, medida em UTE, (iii) a duração dos programas e (iv) alguns parâmetros físicos, como a pressão e temperatura atingidos, que não se consideraram relevantes explicitar no contexto do estudo de caso.

No programa de lavagem de laparoscopia são apenas lavadas caixas cirúrgicas e DMs consignados dos hospitais. No programa de lavagem de oftalmologia e restantes EM são lavados DMs individuais das clínicas, caixas cirúrgicas e consignados. No programa de lavagem dentística são apenas lavados DMs individuais.

Tabela 3.2 - Programas de lavagem dos DMs e principais características

Programa de lavagem	Equipamento	EM	Capacidade mínima (UTE)	Capacidade máxima (UTE)	Duração total do ciclo (min)
Laparoscopia	Máquina de lavagem	Laparoscopia	2	4	65
Oftalmologia	Máquina de lavagem	Oftalmologia	4	4	70
Dentística	Máquina de lavagem	Dentística	3	5	58
Instrumental	Máquina de lavagem	Restantes EM	4	5	54
Instrumental	Túnel de lavagem	Restantes EM	4	5	98

Quando o programa de lavagem termina, as máquinas de lavagem procedem de forma automática à descarga dos DMs para a zona de inspeção e embalamento.

Na Figura 3.8 está representada a etapa de descontaminação dos DMs das US, consignados para utilização e consignados para devolução.

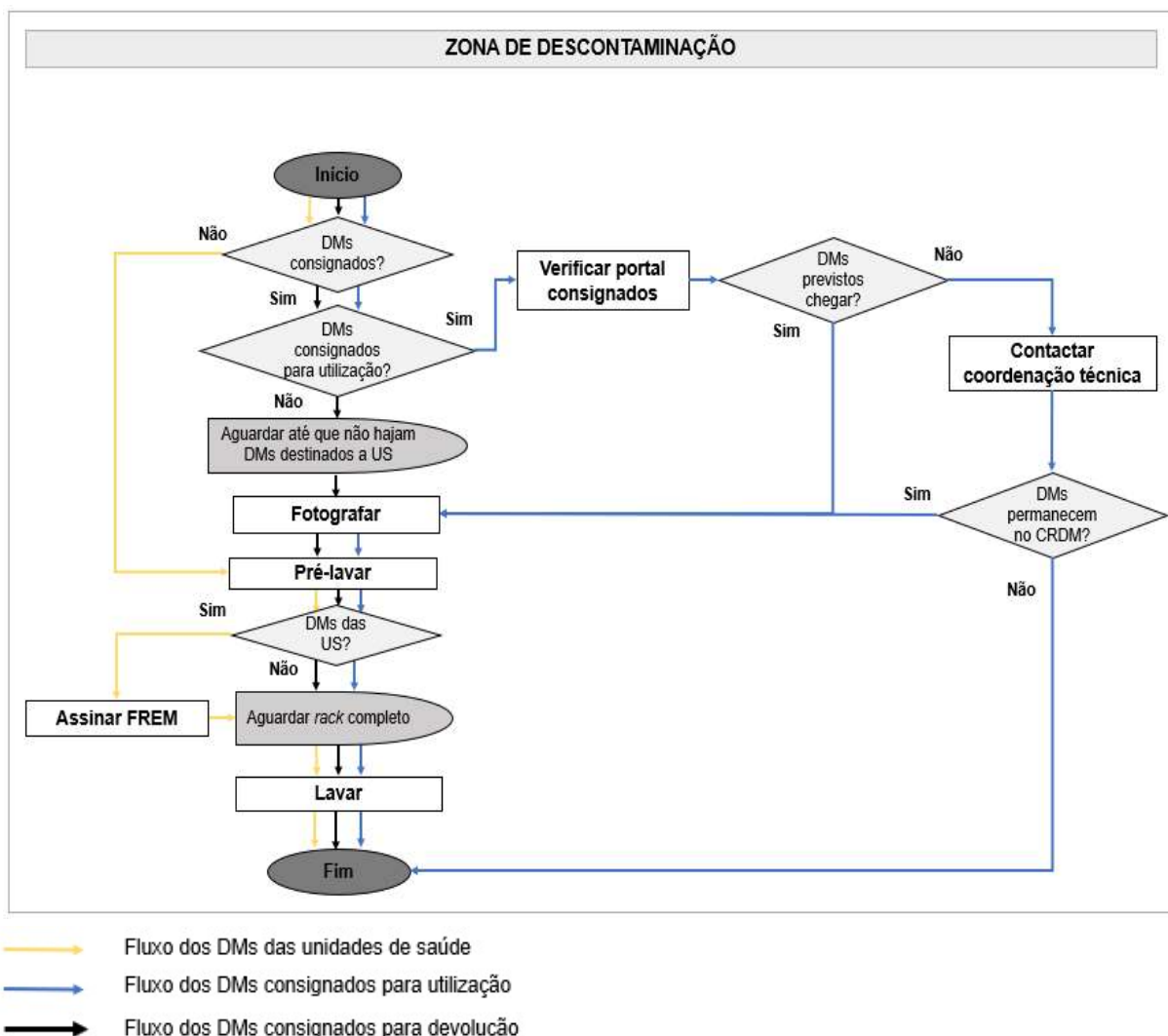


Figura 3.8 - Diagrama da etapa de descontaminação

3.6.2. Etapa de inspeção e embalagem

O objetivo principal da etapa de inspeção e embalagem é garantir que, para além de descontaminados, os DMs se encontram em plena funcionalidade. A etapa de inspeção e embalagem é constituída pelos processos de inspeção e de embalagem e é realizada na zona de inspeção e embalagem.

Para todos os DMs, com exceção dos consignados para devolução, esta etapa é iniciada quando os DMs terminam o arrefecimento após a lavagem e é terminada quando os DMs iniciam o ciclo de esterilização. Como os DMs consignados para devolução não são esterilizados, a etapa de inspeção é iniciada quando os DMs terminam o arrefecimento após a lavagem e termina com o fim do processo de inspeção.

A zona de inspeção e embalagem é constituída por 8 postos de trabalho, 6 dos quais são utilizados para a inspeção dos DMs das US e os 2 restantes para a inspeção dos DMs consignados. A inspeção e embalagem dos DMs são realizados no mesmo posto de trabalho e cada posto tem capacidade para, no máximo, 2 TOEs.

O tempo médio da etapa de inspeção e embalagem dos DMs depende da origem dos DMs, da EM a que pertencem e do grau de complexidade dos DMs. No entanto, o RUMED possui apenas um valor de referência para este tempo médio, de aproximadamente 3 horas, estimado a partir do TC dos DMs no RUMED.

a) Processo de inspeção

O processo de inspeção é semelhante para todos os tipos de DMs, é iniciado quando os DMs terminam o arrefecimento após a lavagem, independentemente da sua tipologia e termina no caso das DMs individuais e consignados para utilização, quando se inicia o processo de embalagem e para as caixas cirúrgicas e DMs consignados para devolução quando as caixas são fechadas depois dos DMs serem inspecionados.

A ordem pela qual todos os DMs com exceção dos consignados para devolução são inspecionados baseia-se no SLA. Quanto menor o SLA de um dado DM, maior será a urgência em inspecionar esse DM. Os DMs consignados para devolução são inspecionados quando já não existirem mais DMs com SLA acordados por inspecionar.

Inicialmente os TOEs retiram as cestas dos *racks* e transportam-nas para os postos de trabalho, onde a inspeção é realizada. Cada TOE apenas pode inspecionar ou embalar simultaneamente DMs da mesma EM e da mesma US.

Neste estágio, os DMs, caso cumpram os parâmetros de inspeção, seguem para o embalagem, cujo objetivo é garantir que os DMs mantêm a sua esterilidade até ao momento de utilização, caso contrário param o processo de reprocessamento.

b) Processo de embalagem

O processo de embalagem destina-se apenas aos DMs individuais e aos DMs consignados para utilização. A forma como os DMs são embalados, bem como os materiais utilizados no embalagem variam consoante:

- **O grau de criticidade:** sejam usados em bloco operatório ou em consulta;
- **O método de esterilização:** Esterilização a vapor ou a peróxido de hidrogénio;
- **O cliente:** Os clientes do RUMED frequentemente especificam como querem que os seus DMs venham embalados;

No final esta etapa, os TOEs responsáveis pela inspeção e embalagem de DMs das US assinam a FREM e enviam-na para a zona de esterilização e controlo da qualidade.

Na Figura 3.9 está representada a etapa de inspeção e embalagem dos DMs individuais e consignados para utilização, das caixas cirúrgicas e dos consignados para devolução.

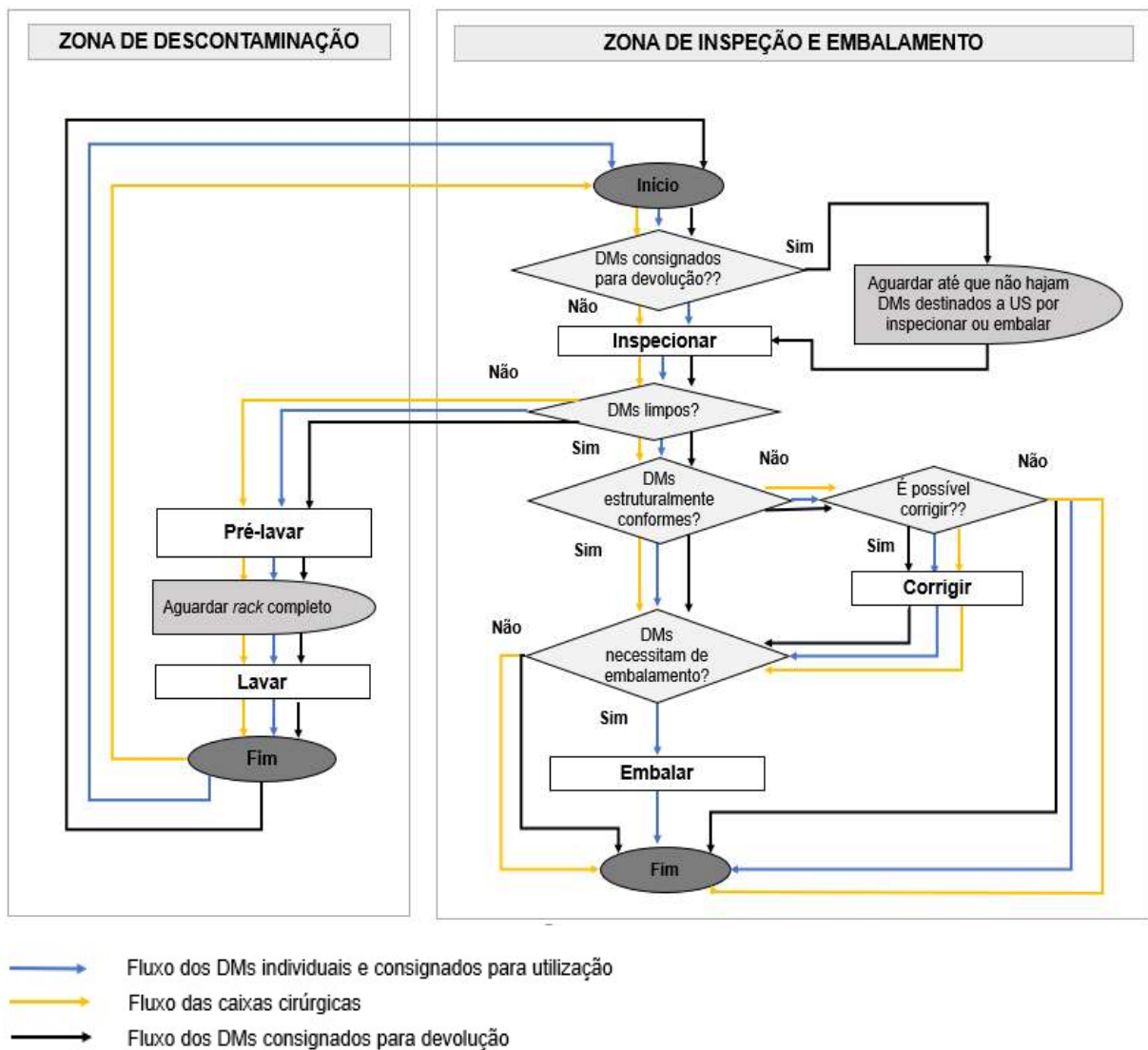


Figura 3.9 - Diagrama da etapa de inspeção e embalagem

3.6.3. Etapa de esterilização e controlo da qualidade

A etapa de esterilização e controlo da qualidade que tem como objetivo tornar os DMs isentos de microrganismos, é realizada na zona de esterilização e é constituída pelos processos de esterilização e controlo da qualidade. Esta etapa destina-se a todos os DMs, com exceção dos DMs consignados para devolução.

O tempo médio da etapa de esterilização e controlo da qualidade depende do tipo de DMs a esterilizar. O RUMED possui apenas um valor de referência para este tempo de aproximadamente 1 hora e 15 minutos, estimado a partir do TC. Este tempo já engloba o tempo de arrefecimento, pós esterilização.

a) Processo de esterilização

Os DMs são esterilizados consoante o seu tipo e embalagem a que foram sujeitos. Os DMs das caixas cirúrgicas e os DMs consignados para utilização são esterilizados juntamente com as respetivas caixas. Os DMs individuais são esterilizados dentro de cestas de esterilização. Cada cesta tem capacidade para 0,5 UTE ou 1 UTE.

Caso se destinem à esterilização simples, as cestas com DMs individuais, as caixas cirúrgicas e as caixas de DMs consignados são colocadas em *racks*, que vão de seguida ao esterilizador, de acordo com o ciclo de esterilização a que se destinam.

O ciclo de esterilização dos DMs é executado, de acordo com o tipo de material que constitui esses DMs (Tabela 3.3). Existem 5 esterilizadores, quatro esterilizadores a vapor, dois com uma capacidade para 8 UTEs, os outros dois com uma capacidade para 10 UTEs e o *Vpro*, esterilizador a peróxido de hidrogénio, com capacidade para 2.5 UTEs. Os esterilizadores a vapor estão aptos para realizar qualquer ciclo de esterilização a vapor.

Tabela 3.3 - Ciclos de esterilização e suas características

Esterilização	Ciclos de Esterilização	Material dos DMs	Duração ciclo (min)
Vapor	Ciclo 2 – 121°C	Fibras óticas e plásticos Termo sensível	45
Vapor	Ciclo 4 – 134°C	Todas as EM	60
Vapor	Ciclo 8 – 134°C	Consignados	90
Peróxido de Hidrogénio	Lumens	Lumens	28
Peróxido de Hidrogénio	Não Lumens	Não Lumens	35
Peróxido de Hidrogénio	Flexíveis	Flexíveis	55

Quando os ciclos terminam, os esterilizadores a vapor descarregam automaticamente os DMs esterilizados para a zona de esterilização e controlo da qualidade. O *VPro* tem de ser descarregado manualmente.

b) Processo de controlo da qualidade

A etapa de controlo da qualidade é direcionada para os DMs individuais e consignados para utilização e tem como principais objetivos verificar se os DMs individuais estão devidamente secos e se a embalagem das caixas com DMs consignados para utilização não está furada. Caso haja condensação do vapor dentro das embalagens dos DMs individuais ou se verifique que a embalagem dos DMs consignados para utilização está furada, os DMs não são considerados estéreis e têm de ser novamente embalados e esterilizados. No final deste processo, os TOEs atualizam a FREM para os DMs individuais.

Na hipótese de os DMs cumprirem os requisitos da qualidade, as caixas são seladas e preparadas para expedição. A equipa responsável pelo controlo da qualidade é constituída por 2 TOEs.

No final desta etapa, os DMs individuais encontram-se esterilizados em embalagens descartáveis, dentro de caixas. Se se destinarem ao bloco operatório, as caixas vão dentro dos armários de transporte. Caso se destinem a consultas, as caixas são transportadas individualmente.

No final deste processo, os TOEs atualizam a FREM para os DMs das US. Na Figura 3.10 está representada a etapa de esterilização e controlo da qualidade dos DMs individuais, caixas cirúrgicas e DMs consignados para utilização.

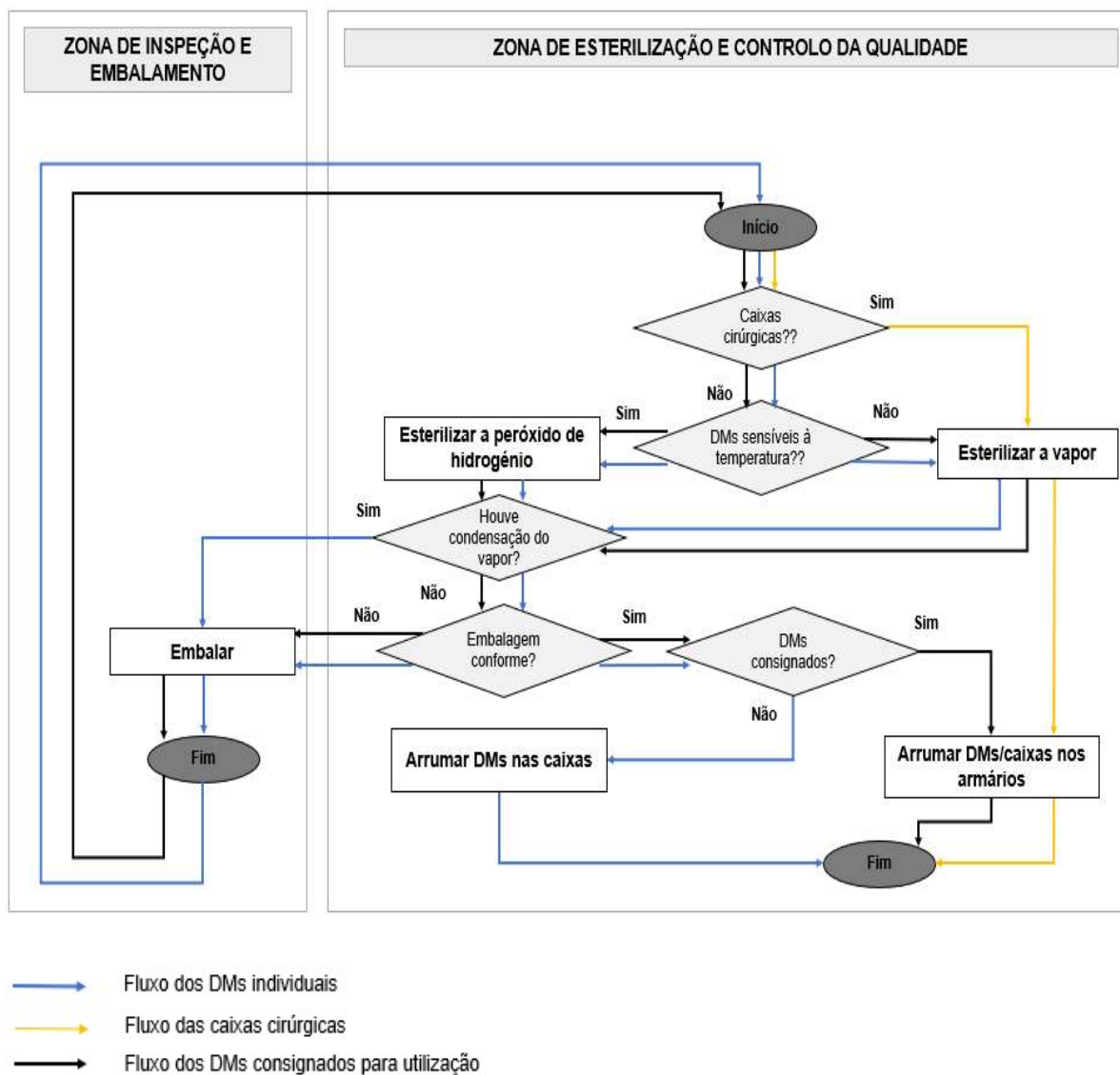


Figura 3.10 - Diagrama da etapa de esterilização e controlo da qualidade

3.6.4. Reprocessamento dos materiais que acondicionam os dispositivos médicos

Os materiais que acondicionam os DMs ao longo do transporte RUMED – US podem ser de três tipos:

- **Caixas de consultas:** Caixas que transportam os DMs individuais. Cada caixa acondiciona DMs de uma EM de uma US. As caixas de DMs individuais são iguais para US do mesmo grupo, mas distintas para US de diferentes grupos;
- **Caixas do bloco:** Caixas que transportam os DMs utilizados no bloco operatório. Podem ser caixas cirúrgicas ou caixas de DMs consignados. Cada caixa acondiciona DMs de uma EM de uma dada US;
- **Armários:** São utilizados no transporte das caixas do bloco e caixas dos DMs consignados. Cada armário transporta caixas de diferentes serviços de uma US;

As caixas de consultas, caixas do bloco e armários também necessitam de ser descontaminados. Quando os DMs são retirados do seu interior, estes materiais são lavados no túnel de lavagem. Os programas do túnel de lavagem estão representados na Tabela 3.4. O túnel de lavagem pode realizar ciclos de lavagem de armários e contentores que se caracterizam por diferentes durações e capacidades máximas. Após a lavagem, o túnel é descarregado para a zona de inspeção e embalamento.

Tabela 3.4 - Programas de lavagem e principais características

Programas de lavagem	Duração ciclo (min)	Capacidade máxima (UTE)
Carros STD	26	12
Contentores	34	6

As caixas de consultas e os armários são transportados para a zona de esterilização e controlo da qualidade, onde aguardam pelo fim do reprocessamento dos respetivos DMs.

As caixas do bloco aguardam na zona de inspeção e embalamento até que o TOE responsável pela inspeção embalamento dos respetivos DMs as venha recolher para finalizar a inspeção.

Nesta fase, caso se destinem às US, as caixas do bloco são esterilizadas juntamente com os DMs no seu interior, são alvo de um controlo da qualidade e depois são expedidas. Caso contrário são transportadas para a zona de expedição, onde aguardam a expedição.

3.7. Alocação de recursos

O processo de reprocessamento dos DMs utiliza recursos de dois tipos: recursos homem e recursos máquina.

a) Recursos homem

No reprocessamento dos DMs, os recursos homem envolvidos são os TOEs e respetiva supervisão, constituída por 3 enfermeiras. No entanto, as enfermeiras não serão consideradas para efeitos operacionais por não reprocessarem DMs. Os TOEs têm aptidão para operar eficazmente em qualquer uma das três etapas de reprocessamento.

O reprocessamento dos DMs dá-se de segunda-feira a sábado, ao longo de três turnos, em que cada turno tem a duração de 8 h. O turno da manhã decorre das 8h às 16h, o da tarde das 16h às 24h e o da noite das 24h às 8h do dia seguinte. Os turnos da manhã, tarde e noite têm associados, em média, 10, 13 e 10 TOEs, respetivamente. Na Tabela 3.5 pode observar-se os recursos humanos associados às várias etapas de reprocessamento.

Tabela 3.5 - Recursos humanos atualmente associados ao reprocessamento de DMs

Etapa	Nº TOEs		
	Manhã	Tarde	Noite
Descontaminação	2	3	2
Inspeção e embalamento	7	9	6
Esterilização e controlo da qualidade	1	1	2

As operações de reprocessamento, a respetiva duração (min/TOE*UTE) e a capacidade dos recursos são análogas para os três turnos. O mesmo não se pode afirmar da taxa de ocupação dos TOEs, que varia consideravelmente de turno para turno. Apesar de o RUMED saber que a taxa de ocupação dos TOEs varia bastante ao longo do dia, não tem informação relativa à taxa de ocupação dos TOEs em cada etapa ao longo do dia.

Os recursos humanos são a maior fonte de custos do RUMED, representando aproximadamente 50% do custo total. Consequentemente, considera-se essencial alocar estes recursos de uma forma eficiente.

b) Recursos máquina

Em termos de recursos máquina, consideraram-se os recursos transversais a todos os DMs utilizados de uma forma permanente no processo de reprocessamento (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Recursos máquina associados ao reprocessamento de DMs

Etapa	Processo	Recurso máquina	Quantidade (unidades)	Capacidade máxima (UTE)
Descontaminação	Descontaminação	Postos de descontaminação	4	-
	Lavagem	Lavadoras	6	5
	Lavagem	Túnel de lavagem	1	-
Inspeção e embalamento	Inspeção/embalamento	Postos para inspeção/embalamento	8	-
Esterilização e controlo da qualidade	Esterilização	Esterilizador 8	2	8
	Esterilização	Esterilizador 10	2	10
	Esterilização	Esterilizador a peróxido de hidrogénio	1	2.5

3.8. Síntese

O ciclo de reprocessamento é conhecido para qualquer DM, bem como o tempo máximo que medeia entre a recolha dos DMs contaminados e a entrega do DMs descontaminados às US, expresso através do SLA. O RUMED tem acordo para o reprocessamento de DMs com 3 grupo de saúde, cujas US estão agrupadas em 6 categorias, conforme o SLA contratualizado. Apesar de se conhecerem os instantes de tempo nos quais os DMs provenientes das US chegam ao RUMED, não é conhecida a quantidade de cada tipo de DM que chega ao RUMED, nem o tempo de reprocessamento de cada tipo de DM. Tendo em conta a procura atual, os SLAs acordados, bem como os recursos disponíveis, pretende-se verificar se o reprocessamento de DMs é eficaz, i.e., se os SLAs estão a ser cumpridos.

4. Modelo de simulação do reprocessamento de dispositivos médicos

Neste capítulo é proposto o modelo de simulação para o reprocessamento de DMs no RUMED em estudo, que tem por finalidade avaliar o seu desempenho atual, bem como o impacto de eventuais propostas de melhoria. No final do capítulo é realizada uma avaliação do desempenho atual do sistema, à luz dos objetivos atuais.

4.1. Enquadramento

Tendo em conta a sua versatilidade, a simulação foi identificada como a ferramenta mais apropriada para dar resposta aos objetivos do estudo de caso. Com o intuito de se desenvolver um modelo de simulação para o RUMED, identificaram-se, numa primeira fase, todas as variáveis necessárias para a modelação, independentemente da existência de informação sobre as mesmas, nomeadamente:

- (i) O trajeto de cada tipologia de DMs no RUMED;
- (ii) Os recursos associados a cada processo de reprocessamento, tanto humanos como máquina, bem como a respetiva capacidade;
- (iii) A duração dos processos de reprocessamento que envolvem recursos humanos para cada tipologia de DMs;
- (iv) A quantidade de DMs (UTE) que chega ao RUMED em cada rota.

A informação relativa aos pontos (i) e (ii) foi fornecida por colaboradores do RUMED e apresentada ao longo das seções 3.6 e 3.7, respetivamente. No entanto, o RUMED não possuía informações correspondentes aos pontos (iii) e (iv), sem as quais seria impossível modelar o sistema através da simulação. Como consequência, este capítulo foi estruturado cronologicamente dos acontecimentos mais antigos para os mais recentes. Inicialmente foi recolhida informação sobre a duração dos processos que se sabia *a priori* ser necessária para a modelação e sobre as chegadas dos DMs ao RUMED. Depois, com a informação recolhida procedeu-se à elaboração do modelo de simulação. Por último, analisou-se o desempenho do RUMED em função dos objetivos do estudo de caso.

4.2. Estudo da duração dos processos

Para se estudar a duração dos processos realizados por recursos humanos, com exceção do controle de qualidade, cuja duração é tão curta que pode ser considerada determinística, realizou-se um estudo de cronometragem. Este estudo possibilitou a recolha de tempos de cada processo diretamente no RUMED. De seguida, foi estudada a hipótese de ajuste dos dados recolhidos a uma distribuição de probabilidade, cujos benefícios estão resumidos na Secção 2.3.5.

4.2.1. Recolha de informação sobre a duração dos processos

O estudo de cronometragem realizado teve como objetivo obter os tempos observados para executar os processos de descontaminação, inspeção e embalamento para cada tipologia de DMs. A técnica de cronometragem é explicada mais detalhadamente no Anexo D.

Os elementos de atividade cronometrados estão descritos na Tabela 4.1. Os tempos observados para cada elemento de atividade foram cronometrados e registados. Para que fosse possível o ajuste a distribuições de probabilidade, recolheram-se, aproximadamente 30 observações relativas ao tempo de cada processo.

Tabela 4.1 - Elementos de atividade de um estudo de cronometragem

Elemento de atividade	Corte inicial	Corte final
Descontaminação	Instante em que o TOE abre a caixa que acondiciona os DMs	Instante em que os DMs são colocados nos <i>racks</i> de lavagem
Inspeção	Instante em que o TOE toca na cesta com DMs para a levar para o posto de inspeção	Instante em que o TOE alcança o papel de embrulho
Embalamento	Instante em que o TOE alcança o papel de embrulho	Instante em que os DMs são colocados nos <i>racks</i> de esterilização

De seguida, estudou-se a possibilidade de ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade.

4.2.2. Ajuste dos dados a uma distribuição

Para que se compreendesse o comportamento dos processos de reprocessamento, estudou-se a possibilidade de ajuste da duração dos processos anteriormente cronometrados a uma distribuição de probabilidade. O primeiro passo para se estudar a hipótese de ajuste dos dados a uma distribuição estatística foi verificar se as observações recolhidas para cada processo eram independentes e identicamente distribuídas (IID). Esta verificação foi realizada através de diagramas de dispersão (Figura 4.1).

Na Figura 4.1 estão representadas as observações $k+1$ em função da duração do processo de descontaminação das caixas cirúrgicas. Como não se verificam padrões, nem tendências no diagrama de dispersão, conclui-se que as observações recolhidas relativas à duração do processo são IID. De forma análoga, verificou-se que as observações eram IID para as restantes hipóteses de ajuste em estudo.

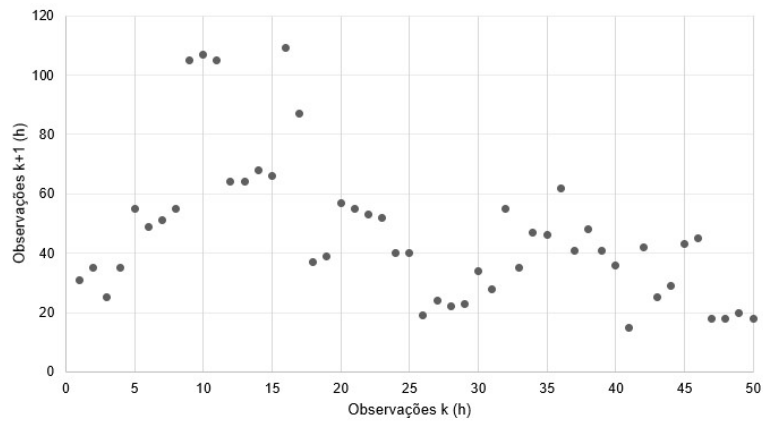


Figura 4.1 - Diagrama de dispersão para as observações na descontaminação de CC

De seguida, foi utilizado o *Input Analyzer* para se estudar a hipótese de ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade. O *Input Analyzer* propõe o ajuste dos dados de uma amostra com uma dimensão de 30 observações à distribuição de probabilidades com o menor erro quadrático. Com base nas observações relativas ao tempo de descontaminação de 1 UTE de caixas cirúrgicas, o *Input Analyzer* sugere que este tempo seja ajustado a uma distribuição Lognormal (Figura 4.2).

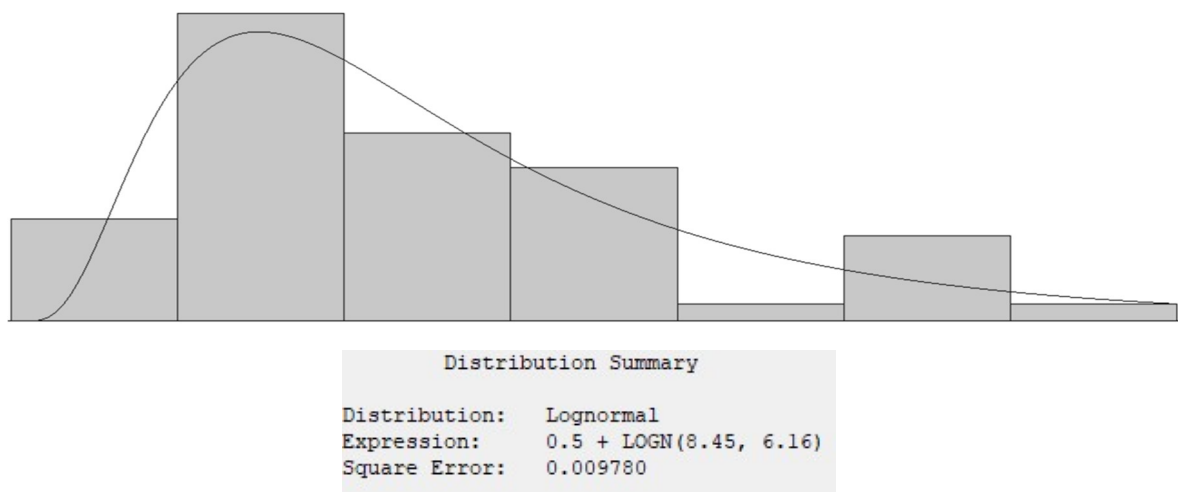


Figura 4.2 - Ajuste do tempo de descontaminação das CC a uma distribuição de probabilidade

Há ainda possibilidade de ajuste dos dados a outras distribuições, através da opção *Fit all*. Neste caso, o *Input Analyzer* providencia uma lista de possibilidade de ajuste (Figura 4.3). Isto foi particularmente útil, visto que em certas situações a distribuição sugerida com menor erro quadrático, pode ser muito complexa ou não servir adequadamente o propósito. Os testes para ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade estão caracterizados no Anexo E.

Function	Sq Error
Lognormal	0.00978
Gamma	0.0162
Erlang	0.0164
Triangular	0.0189
Weibull	0.0233
Beta	0.0318
Normal	0.0464
Exponential	0.0712
Uniform	0.0836
Poisson	0.177

Figura 4.3 - Possibilidades de ajuste do tempo de descontaminação das caixas cirúrgicas

Como a duração dos processos é uma variável contínua e o número de observações de cada tipologia de DMs para cada processo é superior a 30, utilizou-se o teste de *Kolmogorov-Smirnov* para se verificar a qualidade do ajuste dos dados a uma distribuição. Para um nível de significância de 5%, obtiveram-se valores do *p-value* > 0.15 para todos os ajustes, logo considerou-se que não existem evidências estatísticas para se rejeitar o ajuste dos dados às distribuições representadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Sugestão de ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade

Processo	DMs individuais	Caixas cirúrgicas	DMs consignados
Descontaminação	0.5 + GAMM (3.88, 2.38)	0.5 + LOGN (8.45, 6.16)	TRIA (2.5, 13, 18.5)
Inspeção	0.5 + GAMM (11.4, 1.38)	7 + EXPO (22.3)	5.5 + GAMM (14.5, 1.41)
Embalamento	4 + EXPO (36.3)	Não aplicável	0.5 + ERLA (12.2, 1)

4.2. Chegadas de dispositivos médicos

A chegadas de DMs ao RUMED são determinísticas para DMs consignados para devolução, mas aleatórias para DMs consignados para utilização.

4.2.1. Chegadas de DMs consignados para devolução

O plano de rotas para recolha e entrega dos DMs consignados para devolução é fixo, i.e., o RUMED sabe exatamente quando chegam os DMs de cada US, mas não possui informação sobre a quantidade de DMs (UTEs) que chega em cada rota, que é uma informação essencial para o nivelamento da capacidade do RUMED. Assim sendo, esta quantidade foi estimada com base nos registos de entrada dos DMs de cada US nos esterilizadores, segundo os seguintes passos:

- 1) Estimou-se um tempo médio para o intervalo de tempo entre a entrada de um DM no RUMED até ao início do ciclo de esterilização em 3 horas, 2 horas e 30 minutos e 3 horas e 45 minutos para os DMs individuais, caixas cirúrgicas e DMs consignados, respetivamente;
- 2) Determinou-se a hora de chegada dos DMs, a partir dos ciclos de esterilização. Caso o instante de tempo relativo ao início de um ciclo de esterilização dos DMs de uma US fosse superior ao instante em que chegou a última rota dessa US mais o tempo obtido em 1), considera-se que os DMs chegaram na penúltima rota dessa US, caso contrário considera-se que chegaram na última rota proveniente dessa US;
- 3) Para cada quantidade de DMs foi atribuída um instante de chegada ao RUMED;
- 4) Para cada instante de chegada, foram agrupados os DMs de acordo com a sua tipologia, i.e., DMs individuais, caixas cirúrgicas ou DMs consignados e da US de que provêm.

Para este processo foi considerado o seguinte:

- A estimativa teve como base os registos da atividade dos esterilizadores durante o mês de julho de 2020, que a gestão do RUMED considerou representativo;
- Assumiu-se que o número de UTEs de uma US no esterilizador, chegou ao RUMED no mesmo instante;
- Assumiu-se que o mix de DMs que chegou de cada hospital, era o mesmo e equivalente ao apresentado na Secção 3.4;

Considere-se, a título de exemplo, 3 UTEs de DMs da Clínica C, cujo registo indica que entraram no esterilizador às 13:45h. Segundo a lógica apresentada, conclui-se que estas 3 UTEs chegaram ao RUMED por volta das 11:45h. Considere-se também que existem 2 rotas diárias provenientes da Clínica C, uma às 12:00h e outra às 18:00h. Atendendo à lógica e às considerações apresentadas, conclui-se que as 3 UTEs chegaram ao RUMED às 18:00h do dia anterior. Os resultados obtidos foram validados pela coordenação do RUMED.

4.2.2. Chegadas de DMs consignados para utilização

Como as chegadas de DMs provenientes das organizações de DMs são aleatórias, procedeu-se ao registo das chegadas de DMs durante aproximadamente 3 semanas para que fosse possível caracterizar o intervalo de tempo entre chegadas consecutivas destes DMs. Chegou-se à conclusão de que se registam em média 4 chegadas destes DMs ao RUMED e que o intervalo de tempo entre estas chegadas é de 01h:30m. A partir deste ponto já se possui toda a informação necessária para se responder às questões (i), (ii), (iii) e (iv) da Secção 4.1 e, por isso, estão reunidas as condições para se construir o modelo de simulação do RUMED.

4.3. Desenvolvimento do modelo de simulação

O sistema RUMED foi modelado através do *software* Arena. Numa primeira fase são apresentados os pressupostos associados à modelação. De seguida, explica-se o processo de construção do modelo de simulação, com recurso aos módulos e funcionalidades do Arena. Por último, procede-se à verificação e validação do modelo.

4.3.1. Pressupostos

Para a modelação em Arena tiveram-se em consideração os seguintes pressupostos:

- A produtividade da equipa de TOEs é constante ao longo dos turnos e igual a 7 UTE/Turno *TOE para a descontaminação e inspeção e embalamento e 48 UTE/turno para o CQ;
- A % de DMs das EM oftalmologia, laparoscopia e restantes EM é igual para os hospitais S e C. O mesmo é válido para as EM das Clínicas C e S;
- Cada turno de trabalho tem 8 horas, com uma pausa para refeições com a duração de 45 minutos. A pausa para refeição de cada equipa de TOEs está repartida em 2 fases, numa primeira fase vai metade da equipa e quando regressam, vai a segunda metade da equipa;
- As pausas para as refeições são realizadas simultaneamente para os TOEs da descontaminação e CQ, 4 horas após o início do turno, mas desfasadas em 1 hora da equipa da inspeção e embalamento, que inicia as refeições 5 horas após o início do turno;
- A quantidade de DMs (UTE) que chega ao RUMED diariamente proveniente de cada US é igual;
- Como a recolha dos tempos de todos os processos considerou as respetivas movimentações, não se consideraram tempos de movimentação;
- Como se trata de um sistema do tipo *Terminating*, considerou-se que se pretendia estudar o sistema durante um determinado período, neste caso, uma semana. Visto que os DMs que chegam nas rotas da noite, apenas são reprocessados no dia seguinte, ao escolher o horizonte temporal de uma semana conseguiu assegurar-se a continuidade no reprocessamento dos DMs de um dia para o outro;
- Os DMs não regressam aos processos anteriores. A incidência de falhas nos processos, de descontaminação, inspeção e lavagem é tão reduzida que não foi incorporada na modelação;
- Não há paragens nos equipamentos, nem faltas de material;
- Não há atrasos na entrega, nem recolha dos DMs.

4.3.2. Modelo de simulação do sistema

O modelo de simulação foi desenvolvido no *software* Arena. Visto que a modelação tem como objetivo avaliar se o RUMED cumpre os SLAs acordados com as US, considerou-se que as entidades a gerar correspondem aos DMs de cada uma das categorias mencionadas na Secção 3.4. Pretende obter-se, como *output*, o TC no RUMED dos DMs para cada categoria de SLA. No Anexo G, explica-se detalhadamente como foram modeladas:

- i) As entidades e os atributos;
- ii) Os recursos e as operações;
- iii) As prioridades do reprocessamento;
- iv) As medidas de desempenho;
- v) O período de simulação e o número de replicações.

4.3.3. Verificação e validação

As etapas de verificação e de validação foram realizadas de acordo com o sugerido na Secção 2.3.3.

a) Verificação do modelo de simulação

A verificação do modelo de simulação tem como objetivo verificar se o modelo computacional é fiel ao modelo conceptual. A verificação foi realizada adotando as técnicas seguintes:

- (i) Simulação do modelo com *inputs* determinísticos - Como os resultados da simulação manual e computacional da atividade do RUMED durante 1 dia, equivalente a 24 horas, coincidem, conclui-se que o modelo está computacionalmente bem desenvolvido;
- (ii) Animação do modelo - Através das animações foi possível confirmar que o percurso das entidades bem como o estado de ocupação dos recursos ao longo do dia no sistema modelado estavam de acordo com o sistema real.

b) Validação do modelo de simulação

A validação do modelo dividiu-se que duas partes, nomeadamente:

- (i) A validação conceptual teve origem nas sessões realizadas ao longo do desenvolvimento do modelo conceptual e de simulação com trabalhadores muito experientes no reprocessamento de DM, durante as quais foram realizadas correções e incorporadas melhorias;
- (ii) A validação operacional do modelo de simulação trata da comparação entre o valor de um dado *output* recolhido através da simulação e um valor de referência para esse *output*. Neste caso, o *output* é referente à medida de desempenho TC dos DMs no RUMED.

Como foi abordado na Secção 2.3.3, existem vários métodos para se validar um modelo de simulação, nomeadamente: os testes de hipótese, os intervalos de confiança ou métodos gráficos. Para o contexto do estudo de caso, considerou-se que a validação através de intervalos de confiança era o método mais apropriado, pois permite a quantificação da diferença entre o TC estimado e o TC recolhido através da simulação. Consequentemente é possível ter uma ideia do quão perto o modelo de simulação desenvolvido está de ser uma representação fidedigna do sistema real.

Ainda assim, dado que o RUMED nunca recolheu informação sobre os TC passados, não existiam registos históricos relativos a este tempo e, por isso, houve necessidade de recolher mais dados por forma que se obtivesse um valor de referência com o qual se pudesse comparar os *outputs* da simulação.

Neste sentido procedeu-se à recolha de mais dados relativos ao TC médio dos DMs de 3 categorias de US: Hospitais C, Hospital S e Clínicas S diretamente do sistema. As razões pelas quais se recolheram dados apenas de 3 e não de todas as US foram: a pandemia COVID-19, que impossibilitou o acesso às instalações da empresa e o reduzido tempo disponível. A recolha de dados guiou-se pelo estudo de cronometragem apresentado no Anexo D. Os valores para o TC médio estimado e obtido através da simulação estão representados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Comparação do TC médio estimado com obtido através da simulação (hh:mm)

	Hospitais C	Hospital S	Clínicas S
TC médio estimado (hh:mm)	08:32	06:18	12:35
TC médio obtido pela simulação (75 replicações)	08:14	05:59	12:52
<i>Half width</i>	00:09	00:06	00:25

De entre as 3 US, apenas o TC médio estimado para as Clínicas S coincide com o intervalo de confiança obtido através da simulação. No entanto, o TC médio estimado para os Hospitais C e S distam apenas em 9 e 13 minutos dos respetivos intervalos de confiança, não sendo consideradas críticas. Deste modo, considera-se que não existem diferenças significativas entre os resultados obtidos para o TC através do sistema real e por via da simulação e que, por isso, se pode considerar que o modelo de simulação válido.

Uma vez validado, realizou-se uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto do número de replicações no *half width* do TC no sistema. Comprova-se que à medida que o número de replicações aumenta, o *half width* diminui. Verifica-se, no entanto, que para 75 e 100 replicações, os valores do *half width* e do TC se mantêm quase inalterados, pelo que foram utilizadas 75 replicações (Figura 4.4).

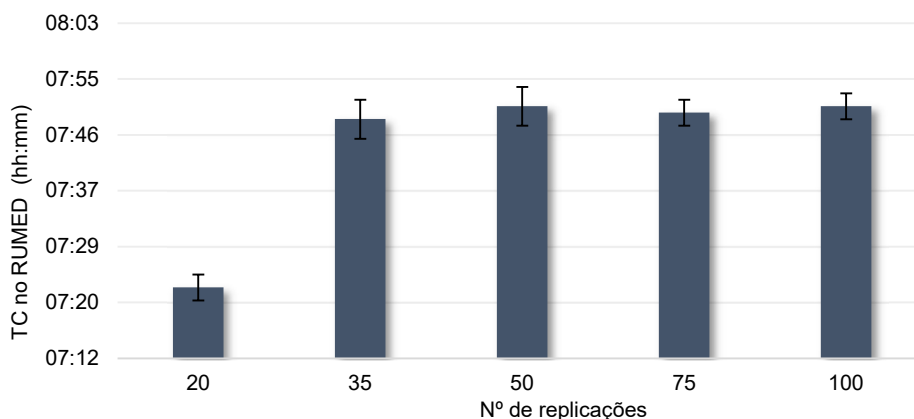


Figura 4.4 - TC para vários números de replicações

4.4. Resultados da simulação

A partir do modelo computacional validado, obtiveram-se os resultados da simulação relativos às medidas de desempenho abordadas na Secção 4.3.2.

a) Tempo de Ciclo Médio (TC)

Os TC dos DMs de cada US no RUMED estão apresentados na Tabela 4.3, com exceção dos DMs consignados para devolução. Conclui-se que o RUMED está a cumprir o SLA acordado apenas com as Clínicas C e o Hospital C. Os resultados da Tabela 4.3 dão resposta ao objetivo i).

No sentido de se analisarem os motivos adjacentes ao incumprimento do SLA com as restantes US, recolheram-se os resultados de outras medidas de desempenho: a taxa média de ocupação dos recursos e o TME DMs nas filas para o reprocessamento. Para conhecer a capacidade do RUMED, recolheu-se também informação sobre a quantidade média de DMs reprocessados por dia.

Tabela 4.3 - TC obtido por simulação

US	TC (hh:mm)	HW (hh:mm)	SLA (hh:mm)	Cumprir SLA?	% de Incumprimento
Clínicas C	16:50	00:34	23:00	Sim	-
Clínica T	13:13	00:28	11:00	Não	20
Clínicas S	12:52	00:25	11:00	Não	17
Clínica S única	06:04	00:08	04:30	Não	35
Hospital S	05:59	00:06	04:30	Não	33
Hospitais C	08:14	00:09	11:00	Sim	-

A Tabela 4.3 permite dar resposta ao objetivo (ii).

b) Taxa média de ocupação dos recursos

A taxa média de ocupação dos recursos é obtida através dos relatórios do Arena (Figura 4.5). As taxas médias de ocupação dos recursos permitem concluir que, muito provavelmente, o facto do TC das US, com as quais o SLA não está a ser cumprido, não se deve à falta de recursos disponíveis, que ainda têm alguma folga, mas ao facto de os recursos estarem dimensionados para valores máximos da procura da atividade. O gargalo do reprocessamento (*bottleneck*), i.e., o processo que limita o reprocessamento em termos de capacidade dos recursos é a inspeção e embalagem, com uma taxa média de ocupação de 75%.

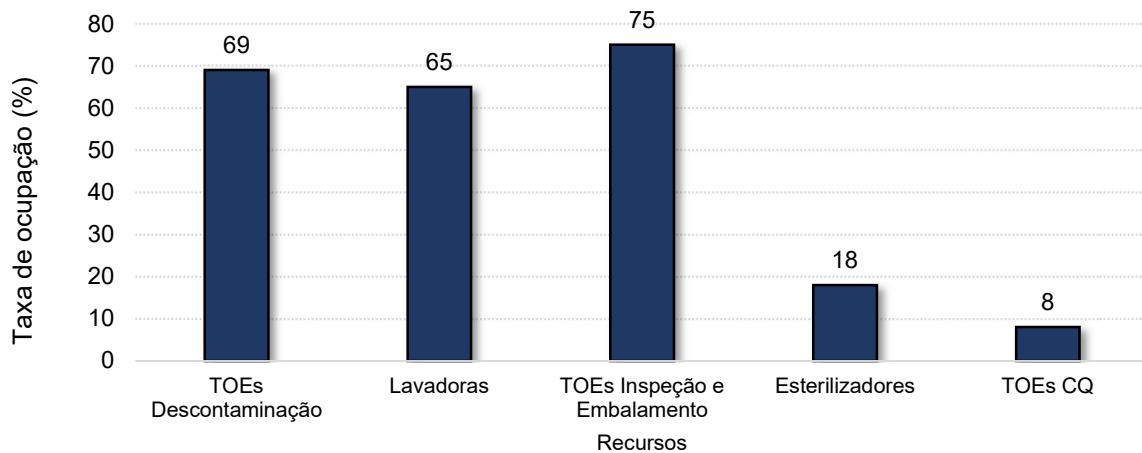


Figura 4.5 - Taxa média de ocupação obtida dos recursos (%)

c) Tempo Médio de Espera (TME) na fila

Analisou-se o TME dos DMs na fila, para se perceber quais as filas de espera mais críticas e qual o seu impacto no TC. O TME dos DMs nas filas foi analisado através de um Diagrama de Pareto (Figura 4.6). O Diagrama de Pareto, bem como as respetivas funcionalidades são caracterizadas mais detalhadamente no Anexo H.

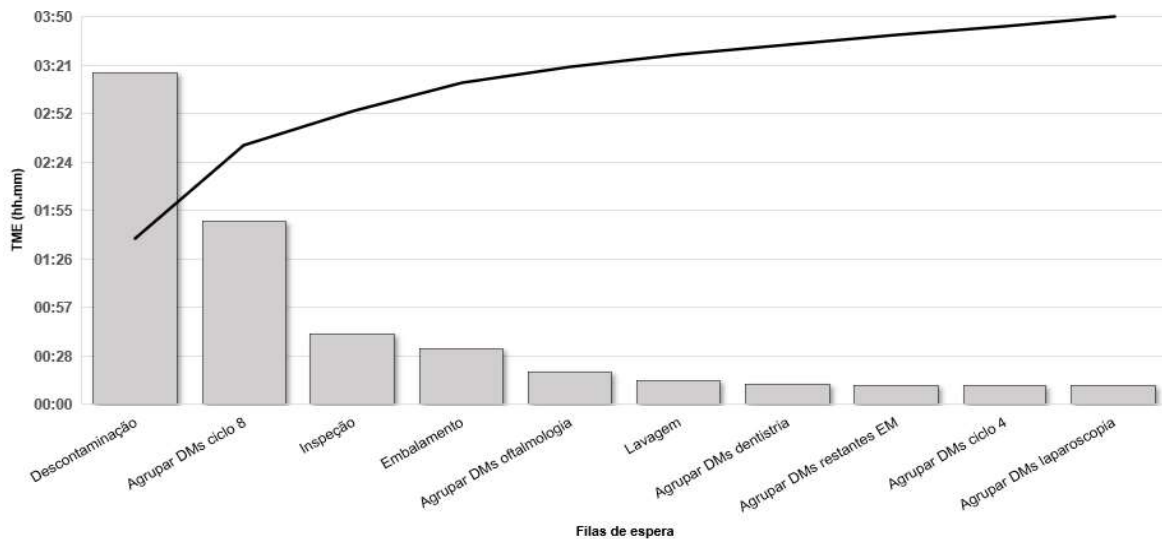


Figura 4.6 - Tempo médio de espera em cada fila

A principal razão que justifica a existência de filas de esperas, quando os recursos associados ao reprocessamento têm disponibilidade, é o facto de se considerarem valores médios para ambas as medidas de desempenho. Note-se que as filas de espera só existem para os momentos em que os TOEs estão ocupados a 100%.

As filas de espera com maior urgência em estudar são que têm um maior TME associado, nomeadamente as filas para: (i) Descontaminação, (ii) Agrupar DMs ciclo 8, (iii) inspeção e (iv) embalagem. O tempo que cada entidade demora em cada fila de espera é contabilizado através da expressão *TAVG (Agrupar Nome da fila.Queue.WaitingTime)* nos módulos *Record*.

Para cada fila de espera são analisados tanto o TME de cada categoria de US e o impacto do tempo de espera no TC das US, calculado através do quociente entre o tempo TME na fila e o TC associado. O estudo do impacto tem como objetivo a identificação de potenciais áreas de melhoria que permitam às US cumprir os SLAs acordados. Quanto maior for o impacto de uma fila de espera, maior é a urgência em implementar propostas de melhoria para a redução do TME nessa fila. Note-se que o TC, tal como o TME estão definidos por US.

Atendendo a que a regra que rege as filas de espera é definida com base no menor valor do SLA e que os DMs com destino aos hospitais podem também ser consignados para devolução e estes últimos que não têm SLA contratualizado, é importante fazer duas análises ao TME em cada fila: uma que considere os DMs consignados para devolução e outra que não os considere.

O TME na fila para a descontaminação considerando os DMs consignados para devolução é aproximadamente o dobro da situação em que não são considerados (Figura 4.7). Isto deve-se ao facto de a regra associada às filas de espera ser o menor valor do SLA. O TME para o início da descontaminação sem considerar os DMs consignados tem uma duração semelhante para as várias US, aproximadamente igual a 1 hora e 30 minutos.

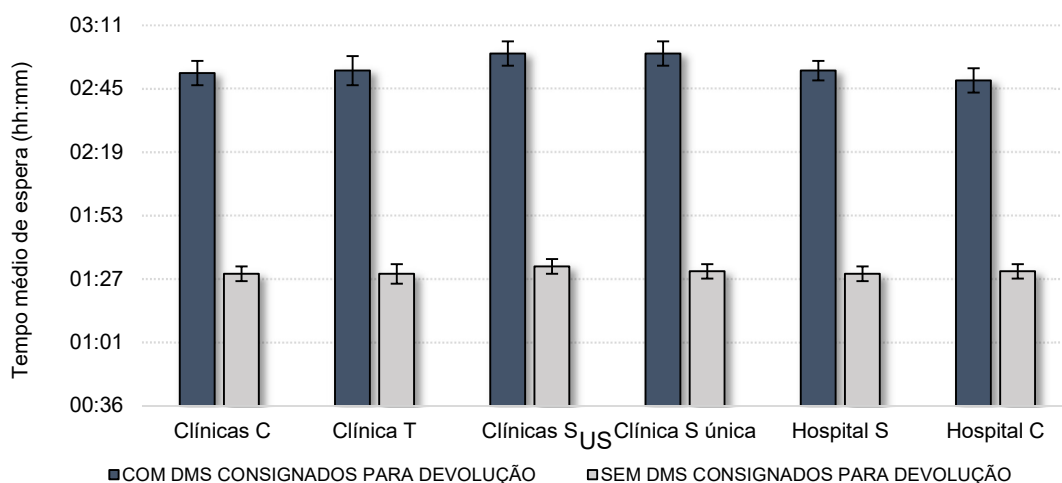


Figura 4.7 - Tempo médio de espera na fila para a descontaminação

Como o ciclo 8 se destina apenas a DMs consignados para utilização, a fila para agrupar os DMs para o ciclo 8 só agrega DMs dos hospitais C e S. Neste caso, os DMs consignados para devolução não têm qualquer impacto neste tempo. O TME para os DMs consignados do Hospitais C nesta fila de espera é de aproximadamente 1 hora e 56 minutos e do Hospital S é de 1 hora e 45 minutos.

O TME para o início de inspeção e embalagem segue o mesmo padrão que a descontaminação, ou seja, é aproximadamente o dobro quando se consideram os DMs consignados para devolução e o motivo é o mesmo, a regra que rege a fila ser o menor valor do SLA. Para dar resposta aos objetivos do estudo de caso contabilizaram-se os tempos de descontaminação, inspeção e embalagem sem os DMs (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - TME nas filas de descontaminação, inspeção e embalagem

Filas de espera	Clínicas C	Clínica T	Clínicas S	Clínica S única	Hospital S	Hospitais C
Descontaminação (hh:mm)	01:30	01:30	01:33	01:31	01:30	01:31
Inspeção (hh:mm)	00:20	00:18	00:19	00:19	00:18	00:18
Embalamento (hh:mm)	00:17	00:15	00:17	00:17	00:15	00:18

Por último, avaliou-se o impacto do TME em cada fila no TC das US (Tabela 4.5). Concluiu-se que o tempo de espera para a descontaminação é o que tem maior impacto sobre o TC para as US, quando não são considerados os DMs consignados. Quando são considerados os DMs consignados, o TME na fila para a agrupamento de DMs para entrar no ciclo de esterilização 8 é a mais relevante. O impacto do tempo de espera das restantes filas sobre o TC varia consoante a US. Para as clínicas T, S e S única, que não cumprem o SLA, por ordem decrescente de impacto, estão as filas para a descontaminação, a inspeção e o embalagem. Para o Hospital S, a seguir à fila para o agrupamento de DMs para o ciclo 8, a fila de espera para a descontaminação é a de maior impacto no TC, seguida pela fila para a inspeção e depois a do embalagem.

Tabela 4.5 - Impacto no TC das US do TME nas filas

Fila de espera	Clínica C	Clínica T	Clínicas S	Clínica S única	Hospital S	Hospitais C
Descontaminação (%)	8,9	11,3	11,9	18,2	27,2	24,8
Agrupar DMs Ciclo 8 (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	31,7	31,6
Inspeção (%)	2,0	2,3	2,4	3,8	5,4	4,9
Embalamento (%)	1,7	1,9	2,2	3,4	4,5	4,9
TOTAL (%)	12,6	15,5	16,7	34,9	63,5	49,2

d) Quantidade média de DMs reprocessada por dia

Por semana são reprocessadas em média 1522 UTE de DMs, o que equivale a 254 UTE/dia. Na Tabela 4.6 estão representadas as quantidades de DMs reprocessadas semanalmente por US.

Tabela 4.6 - Quantidade de DMs reprocessada semanalmente em cada US

US	Quantidade de DMs (UTE)
Clínicas C	74
Clínica T	21
Clínicas S	42
Clínica S única	114
Hospital S	374
Hospitais C	897
Total	1522

Uma vez obtidos os resultados para o TC e TME dos DMs, bem como à taxa de ocupação dos recursos e à capacidade do RUMED, conclui-se que está cumprido o objetivo ii).

4.5. Síntese

Ao longo deste capítulo explica-se como se desenvolveu o modelo de simulação para o RUMED.

Numa primeira fase apresentam-se os *inputs* relativos à duração dos processos de descontaminação, inspeção e embalamento e explica-se de que forma foram modelados para servir os propósitos do modelo.

Numa segunda fase, é construído o modelo de simulação para o RUMED utilizando as funcionalidades do Arena e com base nos conceitos recolhidos da literatura e apresentados na Secção 2.3.

Após a verificação e validação do modelo, foram extraídos os resultados, dos quais se destacam:

- i. o incumprimento do SLA por parte das Clínicas T, S, S única e do Hospital S;
- ii. o impacto das filas de espera de descontaminação, de agrupamento de DMs para o ciclo 8 de esterilização, de inspeção e de embalamento no TC.

Estes resultados permitem dar resposta aos objetivos i) e ii) delineados na Secção 1.2.

5. Propostas de melhoria

O objetivo deste capítulo é gerar e avaliar propostas de melhoria para o processo de reprocessamento de DMs que permitam ao RUMED cumprir os SLA acordados com as US. A partir dos resultados da simulação apresentados na Secção 4.4, é apresentado um diagnóstico dos obstáculos com a finalidade de identificar as principais causas para o incumprimento dos SLAs acordados. Com base nas principais causas identificadas são propostas melhorias, cada uma das quais responsável por um cenário. Por último é analisado o impacto de cada cenário de melhoria no sistema real, com base no modelo de simulação e comparam-se os resultados obtidos para os vários cenários.

5.1. Diagnóstico dos obstáculos

Face ao incumprimento do SLA para 4 das 6 US com as quais o RUMED tem contrato, realizou-se uma apreciação em conjunto com a coordenação do RUMED para averiguar quais os cenários de melhoria a desenvolver por forma a que o SLA fosse cumprido e a que os seguintes requisitos da gestão de topo fossem também satisfeitos:

- Manter a carteira de clientes atual;
- Otimizar o processo, tanto quanto fosse possível, com os recursos atualmente disponíveis.

Atendendo às recomendações da gestão de topo, foi estudada a possibilidade de diminuição do TC das US através da redução do TME nas filas de espera.

Em conjunto com a coordenação do RUMED, foram identificadas como principais causas responsáveis pelos TME: (i) o processo não nivelado, (ii) a variabilidade associada à chegada dos DMs consignados para utilização ao RUMED e (iii) a falta ou alocação ineficiente de TOEs.

5.1.1. Processo não nivelado

Como o RUMED está responsável pela recolha dos DMs desde as US até às suas instalações, a coordenação logística, que está encarregue do transporte e receção dos DMs no RUMED, planeia as rotas de modo a que seja transportado o maior número de UTEs numa só rota. Isto provoca a chegada de uma grande quantidade de DMs, de forma discreta ao longo do dia, causando picos de atividade que resultam em filas de espera.

A chegadas dos DMs provenientes das US ao RUMED (Anexo F), bem como as filas de espera observadas, nomeadamente para a descontaminação revelam que o reprocessamento não está nivelado. Esta é a principal causa identificada para os tempos de espera registados na zona de descontaminação. De acordo com os princípios *Lean* abordados na Secção 2.4, as esperas resultam em problemas de sincronização, tarefas com longos tempos de preparação ou problemas com a organização dos sistemas de informação. Por isso, é tanto possível quanto desejável, eliminá-las.

Uma das ferramentas apresentadas na Secção 2.4 que permite fazer face a este problema é o *Heijunka* e o *Takt Time* (TT). Através da aplicação destas ferramentas, pretende-se fasear as chegadas dos DMs para que deem entrada contínua na zona de descontaminação, promovendo o princípio *Lean* do fluxo contínuo e mitigando o tempo de espera durante o reprocessamento.

No entanto, para que a aplicação das ferramentas *Lean* ao nivelamento da produção tenha o impacto desejado, devem ter-se em consideração as chegadas dos DMs consignados para utilização, cujo volume de reprocessamento é aproximadamente 22% do volume total dos DMs a reprocessar. A variabilidade associada às chegadas dos DMs consignados para utilização ao RUMED é apontada como a segunda causa que mais contribui para a existência de filas de espera.

5.1.2. Variabilidade nas chegadas dos DMs consignados para utilização

Os DMs consignados para utilização chegam ao RUMED aleatoriamente ao longo do dia, em quantidades de aproximadamente 1 UTE por chegada. Estes DMs chegam sempre com mais de 24 horas de antecedência face ao necessário e são entregues pelas organizações suas proprietárias nos horários que mais lhe são convenientes. Verifica-se que estes DMs contribuem para as filas de espera pela antecedência com que são entregues.

O nivelamento do reprocessamento teve como base o TT, que corresponde ao quociente entre o tempo disponível para o reprocessamento de uma UTE de DMs e o número de UTEs a reprocessar durante esse tempo. Todos os dias chegam em média ao RUMED aproximadamente 142 UTEs provenientes de US. Para além destas, chegam ainda mais 22% correspondente aos consignados para utilização, o que totaliza uma quantidade de 182 UTEs a reprocessar diariamente. Através da Equação 5.1, obtém-se o TT:

$$TT = \frac{1440 \text{ min}}{182 \text{ UTE}} \approx 7,9 \text{ min}/(\text{UTE} * \text{TOE}) \quad (5.1)$$

É importante relembrar que os DMs podem ser reprocessados simultaneamente, e que por isso, o TT é referente ao tempo médio que o RUMED tem por TOE para reprocessar 1 UTE de DMs. A partir do TT, é possível induzir que, caso pretenda um processo nivelado, o RUMED deve reprocessar a uma cadência de 7,6 UTE/h.

A cadência sugerida foi definida com base no TT. Com base na cadência, foram definidas as taxas a que é recomendável que os DMs deem entrada na zona de descontaminação a cada hora do dia. Estas taxas estão representadas no Anexo I. A cadência de entrada sugerida tem como base o plano de rotas atuais e o cumprimento dos SLAs. Como os DMs consignados para utilização chegam sempre com mais de 24 horas de antecedência, concluiu-se que a melhor altura para que dessem entrada na zona de descontaminação seria entre as 4 e as 7 horas do turno da noite.

De seguida, foi delineado um plano de reprocessamento com base no horário de chegada dos DMs provenientes das US, no SLA acordado com cada US, na cadência sugerida e nas chegadas dos DMs

consignados para utilização ao RUMED (Anexo J). Este plano teve em consideração alguns pressupostos, nomeadamente:

- O plano de rotas definido pela coordenação logística é o ponto de partida para a análise das chegadas dos DMs ao RUMED. Considerou-se que os DMs vão continuar a chegar nas mesmas quantidades e às mesmas horas, no entanto a sua entrada na zona de descontaminação será faseada;
- Até darem entrada na zona de descontaminação, os DMs são armazenados numa zona, adjacente à descontaminação, onde existem estruturas próprias para armazenamento de DMs com uma capacidade para aproximadamente 20 UTEs. Estas estruturas atualmente estão inutilizadas porque os TOLs têm por hábito descarregar os DMs diretamente para a zona de descontaminação para ficarem mais perto dos postos de trabalho. Isto faz sentido dada imprevisibilidade da situação atual, mas no futuro, como está disponível um plano de reprocessamento, as descargas serão realizadas para as estruturas de armazenamento. Esta medida já foi aprovada pelo responsável operacional do RUMED.
- Os DMs com menor SLA são desejavelmente os primeiros a serem reprocessados;
- Os DMs fluem ao longo do processo de reprocessamento de acordo com o TT definido.

De acordo com o plano sugerido, durante os turnos da manhã, tarde e noite são reprocessadas aproximadamente 57,5, 54,2 e 48,5 UTEs, respetivamente. As chegadas ao RUMED de DMs provenientes de US com diferentes SLA é a razão pela qual esta quantidade varia ao longo dos turnos e pela qual a cadência de reprocessamento não é constante ao longo dos turnos.

A Figura 5.1 ilustra a quantidade de DMs (UTES) que chega atualmente ao RUMED ao longo do dia e a quantidade (UTES) proposta para cada chegada, com base no plano de reprocessamento definido.

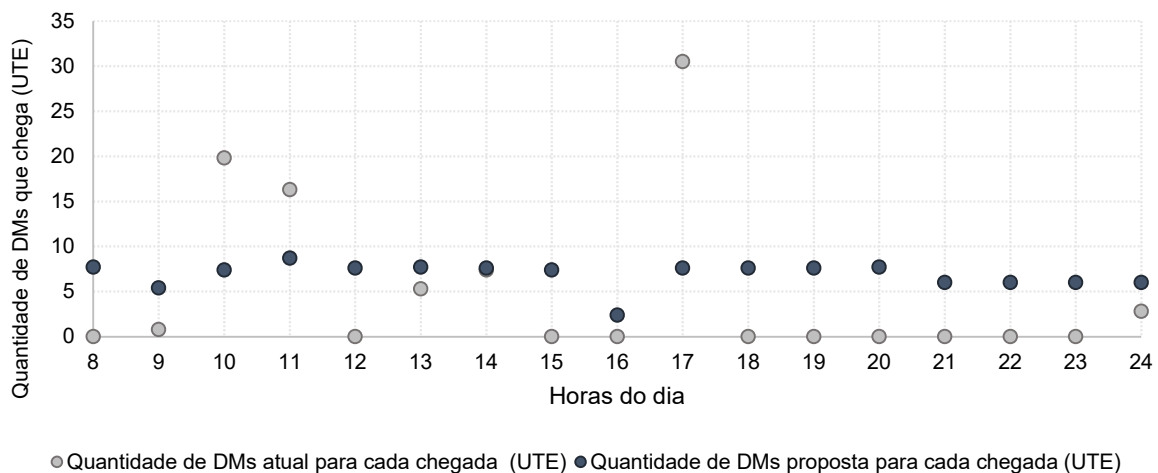


Figura 5.1 - Quantidade atual versus quantidade proposta de DMs para cada chegada

5.1.3. Excesso ou ineficiência na alocação de TOEs

Por último analisou-se a equipa de TOEs, que está dimensionada para os picos de atividade, que ocorrem geralmente por volta das 10 e 11 horas da manhã e pelas 17h da tarde na zona de descontaminação. Os picos de atividade provocam um sobredimensionamento das equipas de TOEs, cuja taxa de ocupação oscila ao longo do dia de trabalho. Durante os picos de atividade os TOEs estão muito ocupados e nas fases seguintes estão desocupados.

5.2. Metodologia para identificação e avaliação de cenários de melhoria

A ineficácia do processo de reprocessamento do RUMED em estudo, evidencia uma necessidade de se identificarem propostas de melhoria que promovam o cumprimento do SLA acordado com as US. As propostas de melhoria foram elaboradas com base nas causas identificadas na Secção 5.1, sendo que as primeiras propostas de melhoria apresentadas são referentes às causas com maior impacto nas filas de espera.

A metodologia para a identificação e avaliação das propostas de melhoria está representada na Figura 5.2. Inicialmente é identificada uma proposta de melhoria que é testada no modelo de simulação e são analisados os *outputs* da simulação. Caso a proposta de melhoria contribua para alcançar o objetivo, i.e., para reduzir o TC, e seja possível implementar esta proposta dadas as restrições em termos de capacidade, então a proposta é implementada. Se a proposta não for implementável, é imediatamente excluída. A sugestão de propostas de melhoria termina assim que estiver reunido um conjunto de propostas de melhoria das quais obtenha um TC para todas as US análogo ao respetivo SLA.

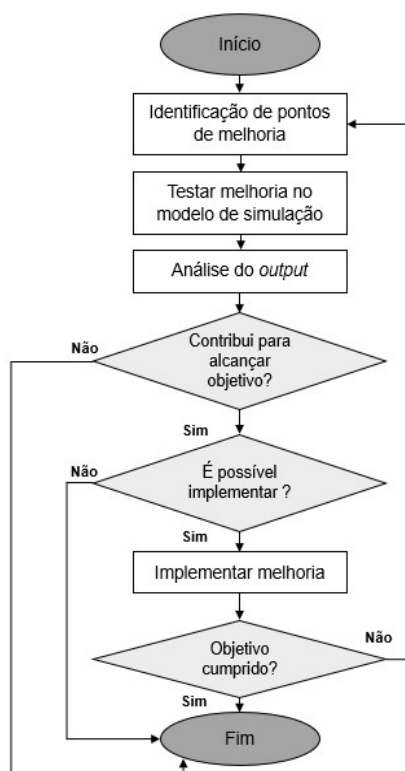


Figura 5.2 - Metodologia para identificação e avaliação de cenários de melhoria

5.3. Cenários de melhoria

No sentido de se diminuir o TC dos DMs no RUMED e com destaque para os DMs cujo SLA não está a ser cumprido, foram desenvolvidos seis cenários de três tipos (A, B e C). O primeiro cenário (Cenário A) baseia-se no nivelamento do reprocessamento para redução do TC. A partir dos resultados da simulação obtidos do Cenário A, desenvolveram-se os Cenários B e C que analisam o impacto da alteração do número de TOEs atribuídos à zona de descontaminação e inspeção e embalagem, respetivamente.

5.3.1. Cenário A

O Cenário A foi desenvolvido com o objetivo de reduzir o TC através da diminuição do TME para a descontaminação. Para que isto fosse possível, a entrada de DMs na descontaminação foi nivelada por forma a que os DMs provenientes das US entrassem no RUMED de acordo com o plano de reprocessamento sugerido no Anexo J. Os resultados referentes ao Cenário A estão representados na Figura 5.3. O TC é reduzido para todas as US com exceção da Clínica S única, para a qual aumenta em aproximadamente 21 minutos. O nivelamento das chegadas proporciona uma diminuição no TC que já permite às Clínicas S e T cumprirem o SLA acordado.

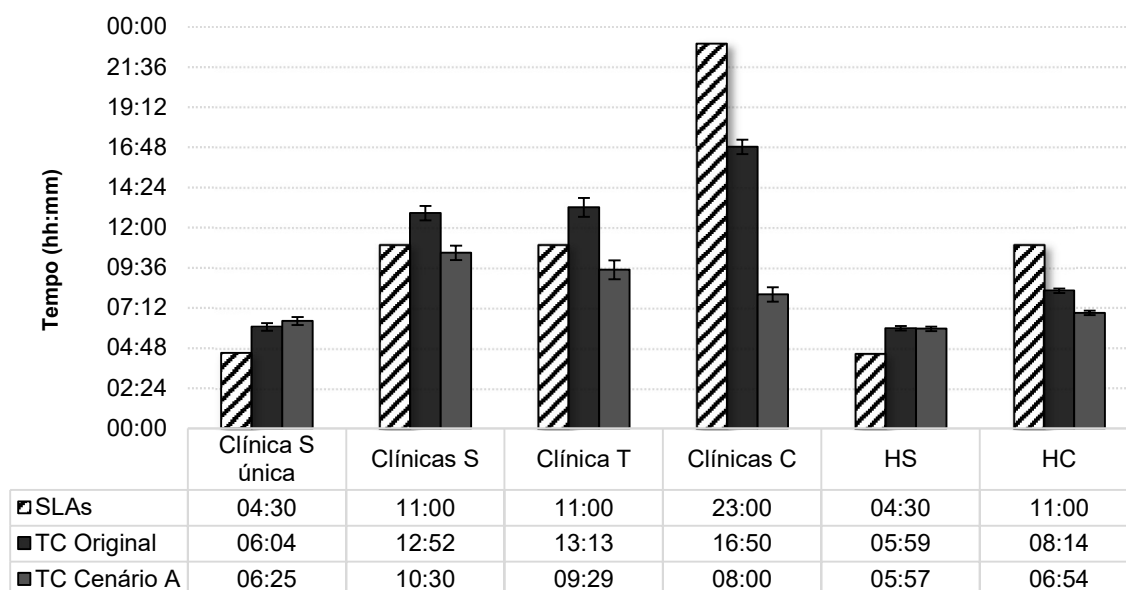


Figura 5.3 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original e A

Como existe alguma variabilidade associada ao TC, compararam-se os *outputs* obtidos a partir da simulação do sistema original e do sistema correspondente ao Cenário A para 75 replicações, através de um teste emparelhado à diferença de médias (Paired t test), disponível no *Output Analyzer*. Para um nível de confiança de 95%, verificou-se que os intervalos de confiança para o TC de qualquer US obtidos para os dois sistemas não se sobrepõem e, por isso, existem evidências estatísticas que permitem confirmar que o TC médio obtido para o Cenário A é diferente do original. Mais

concretamente, estima-se que o TC médio obtido para o Cenário A seja menor para todas as US (Anexo L.1).

Estima-se que o Cenário A permita ao RUMED reprocessar em média 261,5 UTE diárias. O TME obtido é inferior em 2 horas e 21 minutos face ao Cenário Original. O novo *bottleneck* do reprocessamento é o processo de descontaminação, devido ao facto da taxa de ocupação para este processo ser superior à dos restantes (Anexo M).

Na Figura 5.4 estão representadas as filas de espera por ordem decrescente do TME. As filas de espera para a descontaminação e para agrupar os DMs para o ciclo 8 são as que maior impacto têm no TC. Atendo aos resultados obtidos, é delineado o próximo cenário (Cenário B1), com o objetivo de reduzir o TME para início da descontaminação e conseqüentemente o TC.

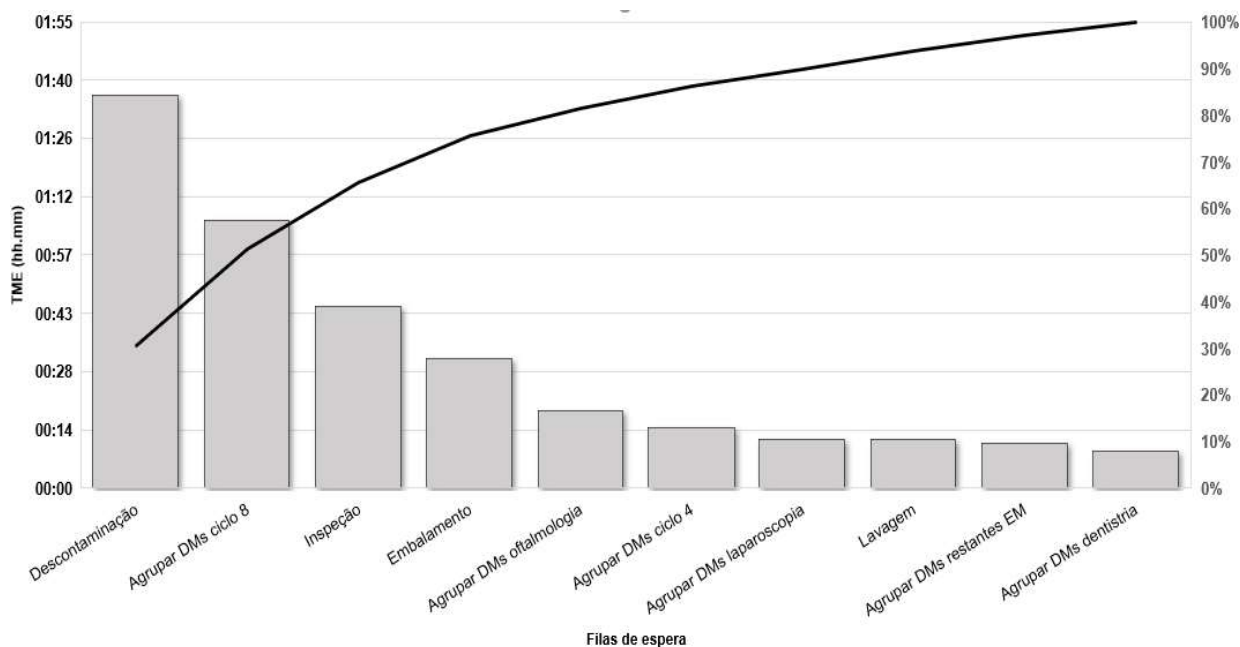


Figura 5.4 - Diagrama de Pareto para as filas de espera do Cenário A

5.3.2. Cenário B1

Para o Cenário B1, manteve-se o nivelamento proposto no Cenário A pelos benefícios associados e foi alocado mais um TOE à zona de descontaminação durante o período da manhã com o objetivo de reduzir o TC, através da diminuição do TME na descontaminação. Escolheu-se o turno da manhã porque, de acordo com o plano de reprocessamento proposto, este é o turno com maior número de UTEs a reprocessar. Os resultados da simulação sugerem que o Cenário B1 permite uma redução no TC de todas as US face aos Cenários Original e A, sendo possível cumprir o SLA acordado com todas as US, com exceção da Clínica S única e do Hospital S (Figura 5.5).

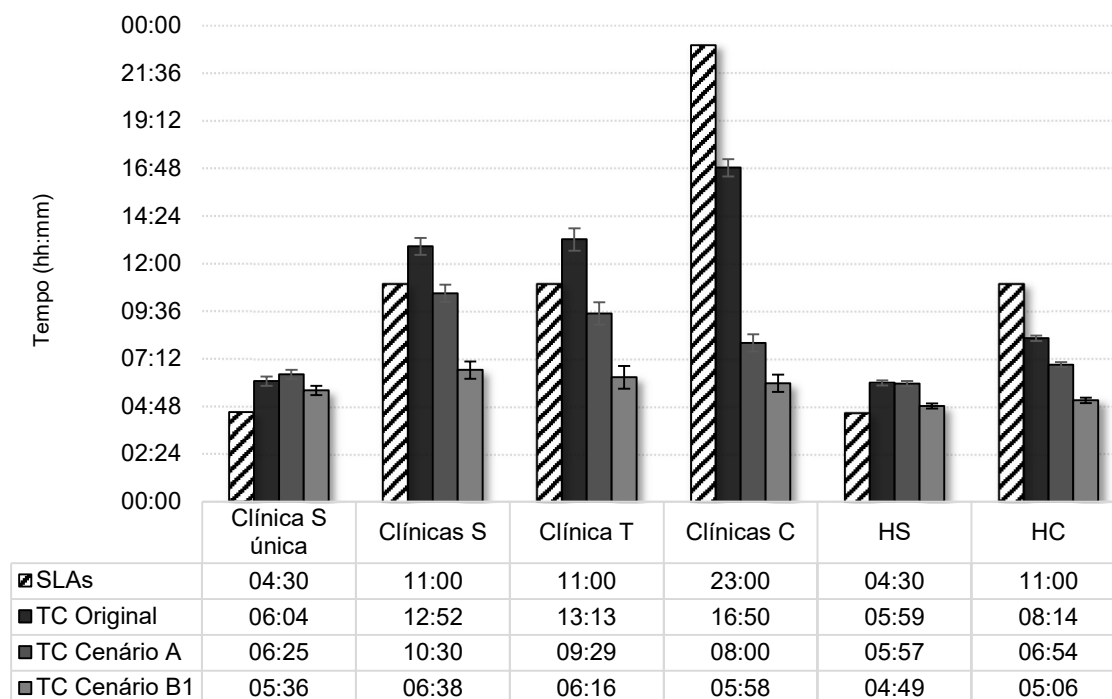


Figura 5.5 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A e B1

Utilizando o *Output Analyzer*, compararam-se os TC obtidos nos Cenários A e B1 aplicando um teste emparelhado à diferença de médias e conclui-se que não são iguais, pois é rejeitada a hipótese nula que estabelece que as médias são iguais para um nível de confiança de 95%. Neste caso, com mais um TOE na descontaminação durante o turno da manhã, o TC diminui em aproximadamente 4 horas e 22 minutos e 49 minutos para as Clínicas S e S única, respectivamente. Para as restantes US, a H_0 não é rejeitada, o que significa que não existem evidências estatísticas que permitam concluir que os TC obtidos para as restantes clínicas sejam diferentes para ambos os cenários (Anexo L.2).

Estima-se que o Cenário B1 permita ao RUMED reprocessar em média 266 UTE diárias, cerca de mais 10 UTEs comparativamente com o Cenário Original. O TME obtido é de 1 hora e 52 minutos. Neste ponto, o *bottleneck* do reprocessamento mantém-se o processo de descontaminação. Na Figura 5.6 estão representadas as filas de espera por ordem decrescente do TME, sendo as filas de espera para a descontaminação e para agrupar os DMs para o ciclo 8 as com maior impacto no TC. Com o objetivo de se reduzir o tempo de espera para a descontaminação, estudaram-se os benefícios associados à alocação de mais um TOE à zona de descontaminação durante o turno da noite. É neste seguimento que surge o Cenário B2.

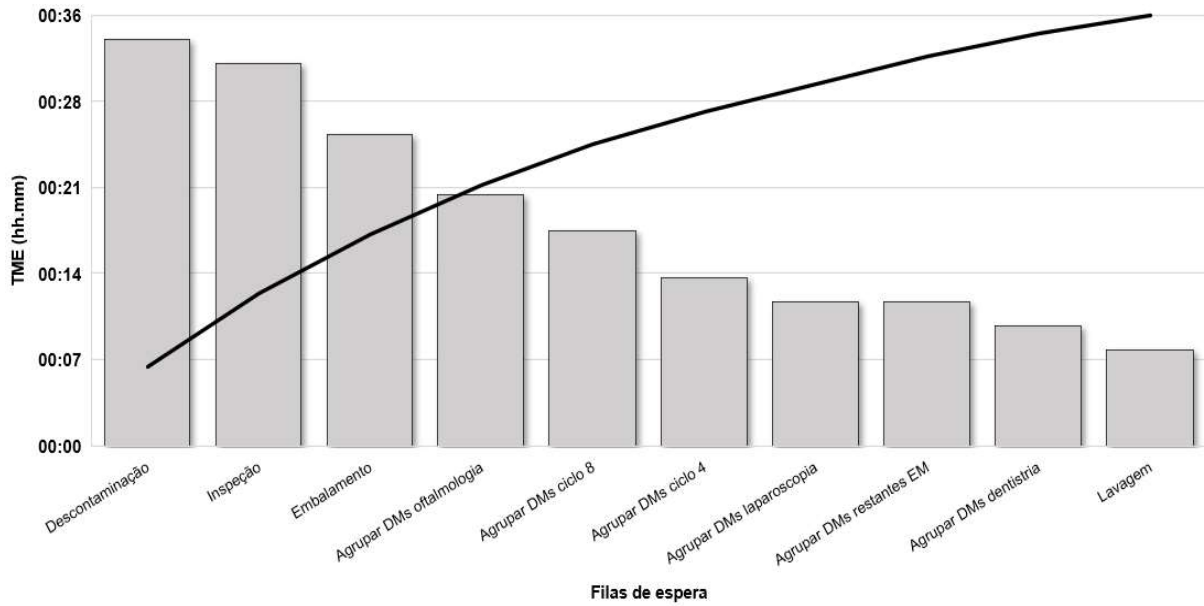


Figura 5.6 - Diagrama de Pareto para as filas de espera do Cenário B1

5.3.3. Cenário B2

O Cenário B2 testa o impacto da alocação de mais 1 TOEs na descontaminação durante o turno da noite, na diminuição do TME na descontaminação e consequentemente no TC. Os resultados da simulação é possível cumprir o SLA acordado com todas as US, com exceção da Clínica S única e do Hospital S (Figura 5.7). Utilizou-se o *Output Analyzer* para comparar o Cenário B2 com o Cenário B1.

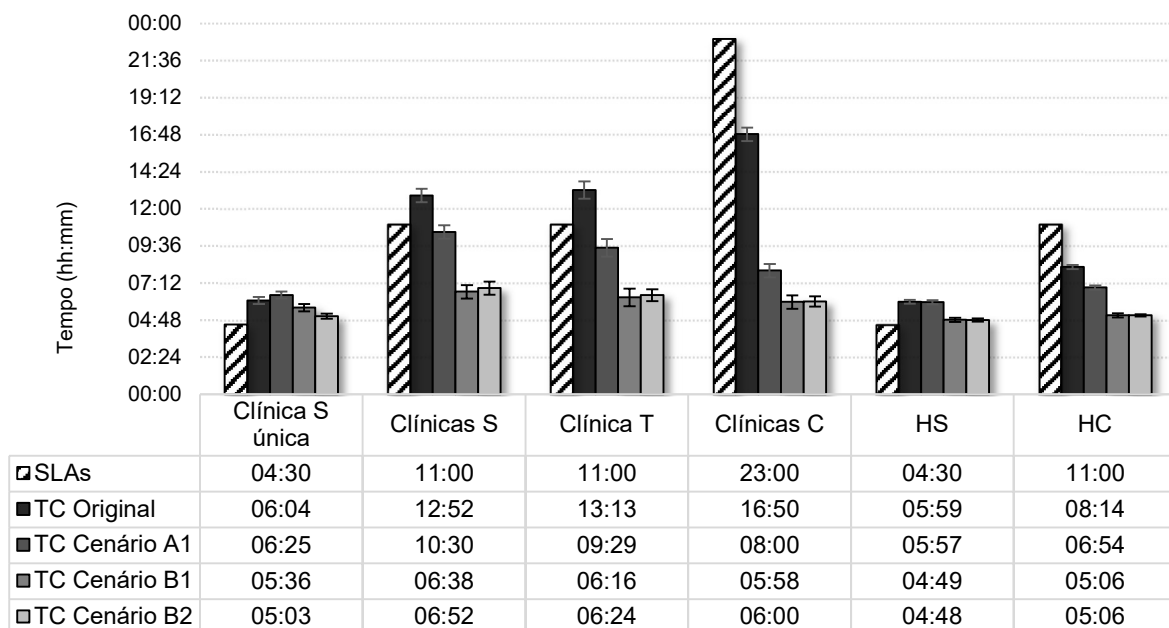


Figura 5.7 - SLA contratualizado e TC obtidos para os Cenários original, A, B1 e B2

Através do *Output Analyzer*, compararam-se os TC obtidos dos através do Cenário B1 e B2 e concluiu-se que os intervalos de confiança para o TC médios obtidos para as Clínicas S única e S em ambos os cenários não se sobrepõem, para um nível de confiança de 95%, havendo uma redução do TC 33 minutos para a Clínica S única, mas um aumento em 14 minutos para a Clínica S. Para as restantes US, o *Output Analyzer* sugere a não rejeição de H_0 , o que significa que não existem evidências estatísticas que permitam concluir que os TC obtidos para as restantes clínicas sejam diferentes para ambos os cenários (Anexo L.3).

Estima-se que o Cenário B2 permita ao RUMED reprocessar em média 261 UTEs diárias, o que corresponde aproximadamente a mais 7 UTEs diárias comparativamente com o Cenário Original. O TME obtido é de 1 hora e 55 minutos. Identificou-se como *bottleneck* do reprocessamento o processo de inspeção. Na Figura 5.8 estão representadas as filas de espera por ordem decrescente do TME. As filas de espera para a inspeção e embalamento são as que têm maior impacto no TC.

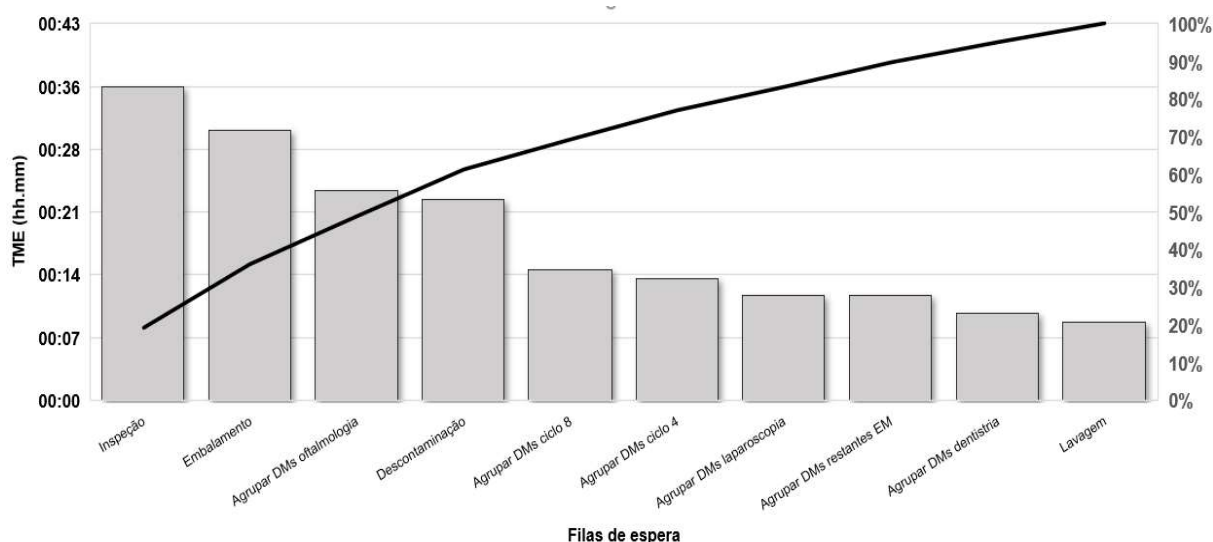


Figura 5.8 - Diagrama de Pareto para as filas de espera do Cenário B2

O Cenário C1 foi concebido por forma a distribuir uniformemente número de TOEs atual pela zona de inspeção e embalamento. Uma vez que o reprocessamento já está nivelado ao longo do dia, não faz sentido que as equipas de TOEs dos vários turnos tenham uma constituição tão diferente. Como o número médio de UTEs a reprocessar durante o turno da manhã é mais elevado do que para os restantes turnos, o número de TOEs alocados será 8, face aos 7 alocados à zona de inspeção e embalamento.

5.3.4. Cenário C1

Para o Cenário C1 foi estudado o impacto no TC resultante da alocação de 7 TOEs à zona de inspeção e embalamento durante os turnos da tarde e noite e de 8 TOEs durante o turno da manhã. Os resultados da simulação sugerem que este cenário permite uma redução no TC de todas as US face a todos os cenários anteriores, sendo possível cumprir o SLA acordado com todas as US (Figura 5.9).

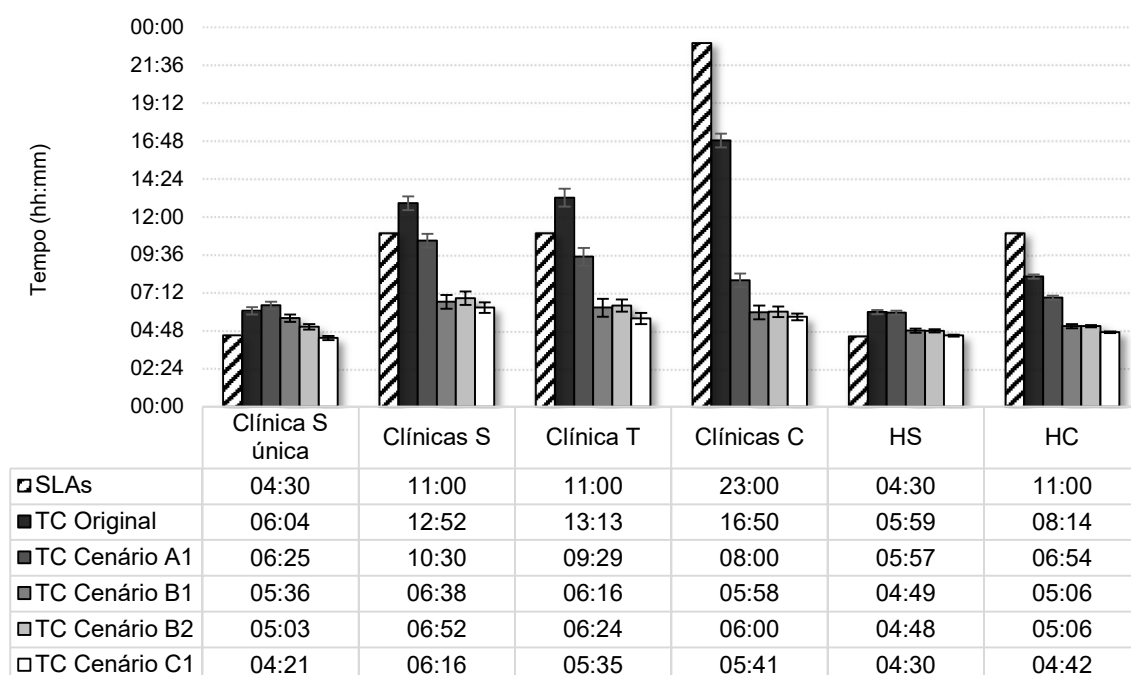


Figura 5.9 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A, B1, B2 e C1

De seguida, recorreu-se ao *Output Analyzer*, para se compararem os TC obtidos através do Cenário B2 e C1 e conclui-se que os intervalos de confiança para o TC médio obtido para qualquer US e cada cenário não se sobrepõem, para um nível de confiança de 95%. Isto significa que existem evidências estatísticas que permitem concluir que os TC obtidos são diferentes para ambos os cenários (Anexo L.4). Estima-se que o Cenário C1 permita ao RUMED reprocessar em média 262,5 UTEs por dia. O TME obtido é de 1 hora e 52 minutos. O *bottleneck* do reprocessamento mantém-se a inspeção.

Antevê-se que, através da proposta inerente ao Cenário C1, o TME em filas críticas seja reduzido em aproximadamente 10 minutos face ao Cenário B2.

Pode concluir-se que os seguintes pontos possibilitam atingir o objetivo de cumprimento dos SLAs acordados com todas as US:

- Entradas dos DMs niveladas de acordo com um plano de reprocessamento bem definido;
- Uma equipa de 3 TOEs na descontaminação ao longo dos 3 turnos diários;

- Uma equipa de 8 TOEs na inspeção e embalagem durante o turno da manhã e de 7 TOEs durante os turnos da tarde e noite.

Contudo, apesar de se terem proposto alterações para a equipa de TOEs na inspeção e embalagem, ainda não se verificou se o número de TOEs alocado é o mais correto. Por este motivo, os próximos cenários estudam a possibilidade de redução do número de TOEs nesta zona.

5.3.5. Cenário C2

No Cenário C2 é explorada a possibilidade de reduzir a equipa de TOEs da inspeção e embalagem durante o período da manhã para 7 TOEs, à semelhança do sucedido durante os turnos da tarde e da noite. Os resultados referentes ao Cenário C2 estão representados na Figura 5.10. Apesar do TC aumentar para todas as US, o SLA continua a ser cumprido.

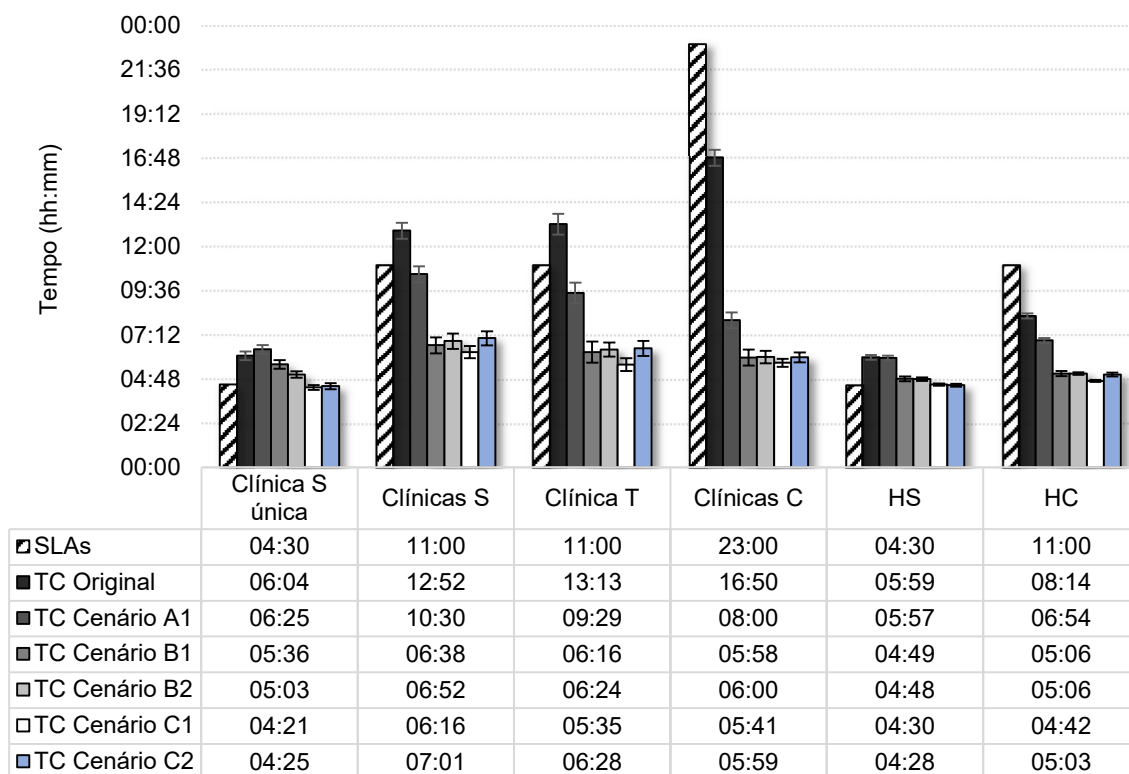


Figura 5.10 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A, B1, B2, C1 e C2

Através do *Output Analyzer*, compararam-se os TC obtidos através do Cenário C1 e C2 e conclui-se que os intervalos de confiança para o TC médios não se sobrepõem, para um nível de confiança de 95%, logo os TC obtidos para as restantes clínicas são diferentes para ambos os cenários (Anexo L.5).

Estima-se que o Cenário C2 permita ao RUMED reprocessar em média 263,3 UTE diárias. O TME obtido é de 2 horas e 19 minutos. O novo *bottleneck* do reprocessamento é o processo de

descontaminação, devido à taxa de ocupação para este processo ser superior à dos restantes (Anexo L.5).

As filas de espera para a descontaminação e para agrupar os DMs para o ciclo 8 são as que maior impacto têm no TC. Estima-se que através da proposta inerente ao Cenário C2, o TME em filas críticas aumente em aproximadamente 26 minutos face ao cenário anterior. Pode concluir-se que os seguintes pontos possibilitam atingir o objetivo de cumprimento dos SLAs acordados com todas as US:

- Entradas dos DMs niveladas de acordo com um plano de reprocessamento bem definido;
- Uma equipa de 3 TOEs na descontaminação ao longo dos 3 turnos diários;
- Uma equipa de 7 TOEs na inspeção e embalamento durante os três turnos do dia;

5.3.6. Cenário C3

Neste cenário, é explorada a possibilidade de reduzir a equipa de TOEs da inspeção e embalamento no turno da noite para 6 TOEs. Os resultados referentes ao Cenário C3 estão representados na Figura 5.11. Neste caso, o aumento do TC já não possibilita o cumprimento do SLA da Clínica S única.

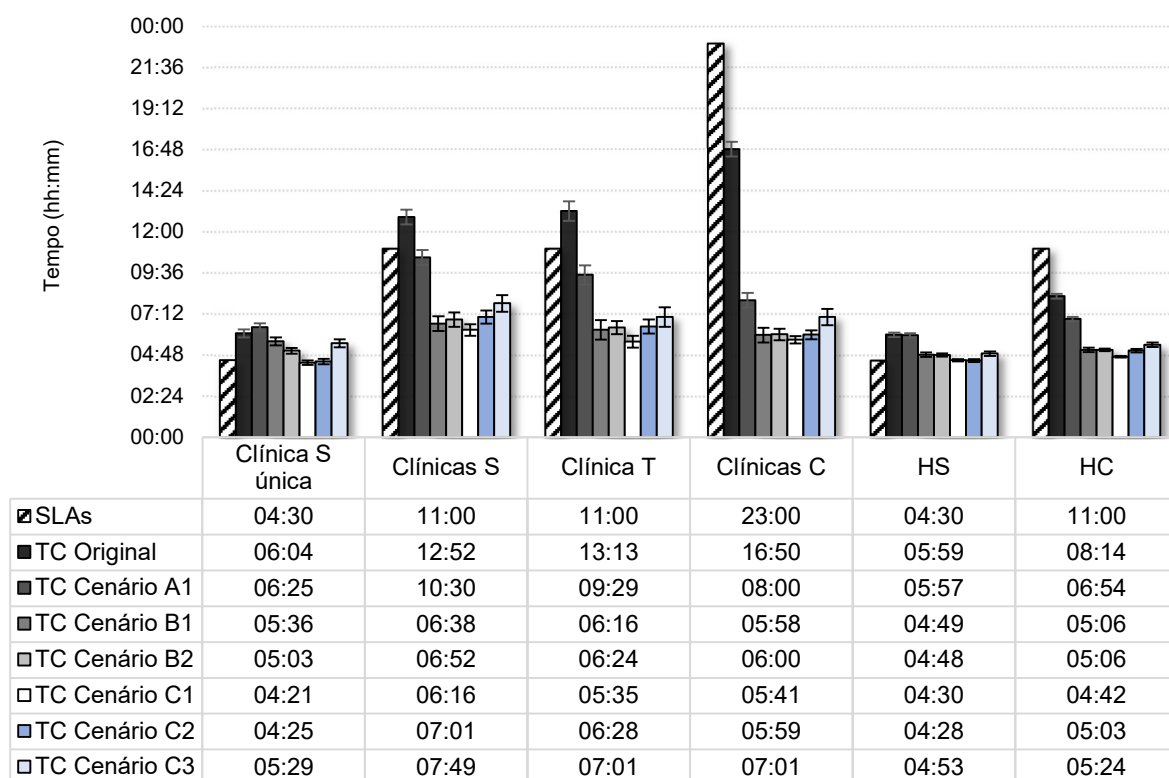


Figura 5.11 - SLA contratualizado e TC obtido para os Cenários original, A, B1, B2, C1, C2 e C3

Estima-se que através da proposta inerente ao Cenário C3, o TME em filas aumente em aproximadamente 36 minutos face ao cenário anterior. Utilizou-se o *Output Analyzer* para comparar o

Cenário C3 ao C2 e conclui-se que o intervalo de confiança para o TC não se sobrepõe e, por isso, o TC é diferente para as US segundo qualquer um dos dois cenários. Neste caso, há um aumento do TC para todas as US (Anexo L.6).

5.4. Comparação de cenários e hipóteses de solução

A informação mais relevante sobre os seis cenários desenvolvidos está sintetizada na Tabela 5.1. Tendo em conta que o objetivo é selecionar de que forma o RUMED pode cumprir com maior eficiência os SLAs acordados, de entre os 6 cenários simulados, apenas os Cenários C1 e C2 são elegíveis. A principal diferença entre estes dois cenários é que o C1 tem mais um TOE alocado à zona de inspeção e ao embalamento face ao Cenário C2. Uma vez que com menos recursos, o Cenário C2 dá resposta aos objetivos, considera-se que este cenário é não só eficaz, como o mais eficiente.

Tabela 5.1 - Comparação dos cenários desenvolvidos

Cenários	TC cumprido para todas as US	US que não cumprem o SLA	Nº TOEs por dia	Nº de UTEs reprocessadas diariamente	TME (hh:mm)
Original	Não	Clínica S única, Clínicas S, Hospital S e Clínica T	32	254	05:10
Cenário A	Não	Clínica S única e Hospital S	32	262	02:21
Cenário B1	Não	Clínica S única	33	266	04:32
Cenário B2	Não	Clínica S única	34	261	04:33
Cenário C1	Sim	Nenhuma	34	263	04:43
Cenário C2	Sim	Nenhuma	33	263	04:17
Cenário C3	Não	Clínica S única	32	264	03:41

Tendo em conta os objetivos da gestão de topo mencionados são propostas decisões para a situação futura (Figura 5.12).

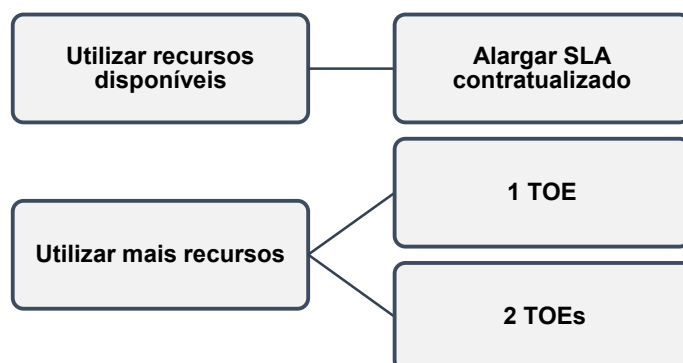


Figura 5.12 - Sugestão de decisões para o futuro

Caso o RUMED pretenda cumprir os SLAs com os recursos disponíveis, terá, para além de nivelar o seu reprocessamento de alargar o SLA contratualizado com a Clínica S única e com o Hospital S, por forma a que sejam cumpridos os respetivos TC. Segundo os resultados do Cenário A, i.e., o cenário que se baseia apenas no nivelamento sem aumento do número de TOEs, os SLA das Clínicas S única e do Hospital S teriam de ser superiores a 6 horas e 25 minutos e 5 horas e 57 minutos, respetivamente.

Caso o RUMED pretenda cumprir o SLA, mas estando disposto utilizar mais recursos, i.e., a contratar mais TOEs, tem três opções disponíveis: (i) contrata mais um TOE ou (ii) contrata mais dois TOEs ou (iii) contrata um número de TOEs suficiente para um dado valor de capacidade que pretenda ter disponível. Para cada uma destas opções ainda há a possibilidade de o fazer aumentando o preço previamente acordado com o cliente ou mantendo, ainda assim as opções de negociação do preço não foram exploradas por o preço acordado com o cliente ser confidencial.

Ao adotar o Cenário C2, o RUMED consegue dar resposta aos objetivos como menos recursos, por isso, é considerado o cenário mais eficiente. Ainda assim, atendendo à revisão de literatura realizada no âmbito do reprocessamento dos DMs, é expectável que a procura pelo reprocessamento dos DMs em RUMEDs aumente no futuro e, por isso, a empresa avaliar o mercado onde está inserida e tomar uma decisão em função da capacidade que pretende ter disponível para o reprocessamento futuro.

Este impacto está representado na Tabela 5.2, com exceção do TC que foi apresentado na Secção 5.3. Os resultados estão em % face ao Cenário Original.

Tabela 5.2 - Impacto da contratação de mais 1 e 2 TOEs

Parâmetros	Mais 1 TOE	Mais 2 TOEs
TME	62%	56%
Taxa de ocupação dos recursos	10%	9%
Capacidade disponível	3%	4%
Custo	2,8%	5,6%

Com base nas possíveis hipóteses de decisão, bem como nos resultados da simulação e revisão de literatura sobre o reprocessamento de DMs, conclui-se que o Cenário C2 que prevê a contratação de mais 1 TOE é o que permite ao RUMED ser mais eficiente. Através das propostas adjacentes a este cenário, o RUMED diminui o TME em aproximadamente 62%, diminuir a taxa de ocupação dos TOEs em 10%, o que lhe permite aumentar a capacidade disponível em 3%, face ao Cenário Original. Por outro lado, devido ao facto de se estar a contratar mais um TOE, o custo também aumenta, neste caso, em 2,8%.

5.5. Síntese

Neste capítulo foi realizado um diagnóstico dos principais problemas do RUMED responsáveis pelos elevados tempos de espera registados nas zonas de descontaminação e inspeção e embalamento. A falta de nivelamento no reprocessamento, a variabilidade associada à chegada dos DMs consignados

para utilização ao RUMED e a alocação ineficiente dos TOES foram identificadas como as causas que mais contribuem para as esperas e conseqüentemente para o não cumprimento do SLA. Em seguida, foi apresentada a metodologia para a identificação e avaliação das propostas de melhoria.

Com base no diagnóstico realizado foram delineados cenários, que foram testados utilizando o modelo de simulação do RUMED. Ao todo foram propostos 6 cenários. O primeiro cenário (Cenário A) tem como objetivo avaliar o impacto do nivelamento do reprocessamento e os Cenários B e C pretendem avaliar o impacto do número de TOEs nas zonas de descontaminação e de inspeção e embalagem, respetivamente. Os cenários foram avaliados e comparados com base no TC, cumprimento do SLA, recursos envolvidos e tempo médio de espera. De todos os cenários apenas o C1 e C2 permitem ao RUMED cumprir o SLA acordado com todas as US. O Cenário C2, que conjuga um reprocessamento nivelado com uma equipa de 3 TOEs na descontaminação, de 7 TOES na inspeção e embalagem e 1 TOE no CQ em todos os turnos, é o que permite ao RUMED cumprir o SLA acordado com todas as US e com o menor número de recursos associado.

6. Conclusões

Uma vez atingidos os objetivos a que o modelo de simulação desenvolvido pretende dar resposta, são sintetizadas neste capítulo as conclusões gerais do estudo de caso, bem como os principais obstáculos e limitações encontrados. Por último, são propostas sugestões para realizar em trabalhos futuros que se consideram interessantes e que complementam este trabalho, mas que não foram alvo de análise devido a restrições de tempo.

6.1. Conclusões gerais

Os objetivos delineados na Secção 1.2 foram cumpridos. Para dar resposta aos objetivos foi realizada uma revisão da literatura que incidiu sobre três temas principais: (i) o reprocessamento de DMs, (ii) a filosofia *Lean*, com especial foco na sua aplicação ao contexto da saúde e (iii) a simulação.

O primeiro objetivo consistia em estimar a capacidade atual do RUMED, o Tempo de Ciclo Médio (TC) e o Tempo Médio de Espera do reprocessamento (TME) dos DMs das principais categorias de US, bem como a taxa de ocupação dos recursos. A capacidade equivale ao número máximo de UTEs que o RUMED consegue reprocessar diariamente. O TC representa o tempo médio requerido pelo RUMED para o reprocessamento de uma Unidade Técnica de Esterilização de DMs (UTE) de DMs. O TME corresponde ao tempo médio que 1 UTE de DMs espera ao longo do seu reprocessamento ou para a realização de um dado processo. O TME é uma porção do TC. A taxa de ocupação dos recursos reflete em termos % o tempo que os recursos estão ocupados.

Para dar resposta a este objetivo realizou-se um estudo de cronometragem para recolher informação sobre a duração dos processos de reprocessamento. De seguida, os dados recolhidos foram ajustados a distribuições de probabilidade como intuito de compreender melhor o seu comportamento. Numa segunda fase, foi construído o modelo de simulação para o RUMED através do *software* Arena, para o qual se utilizaram os conceitos recolhidos da revisão de literatura apresentados na Secção 2.3, bem como a duração dos processos de reprocessamento estimados.

Os resultados da simulação sugerem que a capacidade diária atual do RUMED seja de 254 UTEs. O TC foi estimado em 16 horas e 50 minutos, 13 horas e 13 minutos, 12 horas e 52 minutos, 6 horas e 4 minutos, 5 horas e 59 minutos e 8 horas e 14 minutos para as Clínicas C, T, S e S única e para os Hospitais S e C, respetivamente. Prevê-se que o TME para as Clínica C, T, S e S única e para os Hospitais S e C seja de 2 horas e 7 minutos, 2 horas e 3 minutos, 2 horas e 9 minutos, 2 horas e 7 minutos, 3 horas e 48 minutos e 4 horas e 3 minutos, respetivamente. As taxas de ocupação são estimadas em 69% para descontaminação, 65% para a lavagem, 75% para inspeção e embalamento, 18% para esterilização e 8% para o controlo da qualidade. A inspeção e embalamento constitui o *bottleneck* do reprocessamento, ou seja, o processo que limita o RUMED em termos de capacidade.

O segundo objetivo consistia em avaliar o desempenho atual do RUMED no que diz respeito ao cumprimento do nível de serviço (SLA) acordado com as US. O modelo de simulação foi o método

utilizado para dar resposta a este objetivo. Os relatórios obtidos através do Arena concluem que o desempenho atual do RUMED não é satisfatório para o total das US avaliadas, uma vez que o TC das Clínicas S, S única, T e Hospital é superior ao SLA em 20%, 17%, 35% e 33%, respetivamente.

O terceiro e último objetivo era melhorar o desempenho atual do reprocessamento de DMs, caso o objetivo imediatamente anterior não fosse atingido. As propostas de melhorias basearam-se na filosofia *Lean*, em particular no nivelamento da produção através de ferramentas como o *Heijunka* e o *Takt-time* e foram testadas no modelo de simulação desenvolvido.

Em conjunto com a coordenação do RUMED identificaram-se as principais causas para o não cumprimento do SLA, nomeadamente: (i) a falta de nivelamento do reprocessamento, que provoca períodos de atividade acentuada, seguidos por períodos de baixa atividade, o que explica, em parte, o facto do RUMED não cumprir os SLAs; (ii) a variabilidade associada à chegada dos DMs consignados para utilização ao RUMED e (iii) a alocação ineficiente dos TOES. Como as causas i) e ii) permitem melhorar o processo com os recursos disponíveis, consideraram-se prioritárias. Neste sentido, foram delineados cenários, posteriormente testados no modelo de simulação do RUMED. Ao todo foram propostos 6 cenários. Os cenários foram avaliados e comparados com base no TC. Para cada cenário, foram ainda apresentadas: a capacidade, o TME e a taxa de ocupação dos TOES. Para a avaliação dos cenários, tiveram-se em consideração alguns requisitos da gestão de topo, nomeadamente: (i) manter a carteira de clientes atual e (ii) otimizar o processo, tanto quanto fosse possível, com os recursos atualmente disponíveis.

O Cenário A tem como base um plano de reprocessamento nivelado baseado no *Takt Time* (TT) e na ausência de variabilidade na chegada dos DMs consignados para utilização ao RUMED. Estima-se que o Cenário A proporcione uma diminuição no TC que já permita às Clínicas S e T cumprirem o SLA acordado, ficando apenas o Hospital S e a Clínica S única em incumprimento. Segundo este cenário, o RUMED aumenta a sua capacidade produtiva para 261,5 UTEs por dia e diminui o TME para 4 horas e 4 minutos face ao Cenário Original. Como a fila para a descontaminação é a fila com maior impacto no TC e o processo de descontaminação é o *bottleneck* do reprocessamento, o próximo cenário (Cenário B1) foi desenvolvido com a finalidade de diminuir o TME no *bottleneck*. Pelos benefícios inerentes a este cenário, daqui em diante os cenários desenvolvidos pressupõem que o reprocessamento está nivelado.

Para o Cenário B1 foi alocado mais um TOE à zona de descontaminação durante o período da manhã com o objetivo de reduzir o TC. Os resultados da simulação sugerem que o Cenário B1 permite uma redução no TC de todas as US face aos Cenários Original e A, sendo possível cumprir o SLA acordado com todas as US, com exceção da Clínica S única e do Hospital S. Estima-se que através da proposta inerente ao Cenário B1, a capacidade diária de reprocessamento do RUMED aumente para 266 UTE e o TME do reprocessamento seja de aproximadamente 1 hora e 52 minutos. Apesar das melhorias registadas, o *bottleneck* mantém-se no processo de descontaminação.

O Cenário B2 testa o impacto da alocação de mais 1 TOE na descontaminação durante o turno da noite. Os resultados da simulação sugerem que este cenário permite uma redução no TC de todas as US face ao Cenário Original, sendo possível cumprir o SLA acordado com todas as US, com exceção da Clínica S única e do Hospital S cujo TC se mantém superior ao SLA. Para este cenário, estima-se uma capacidade diária de reprocessamento de 260 UTEs e que o *bottleneck* seja a inspeção e o embalamento.

No Cenário C1 foi estudado o impacto da redistribuição do número de TOEs na zona de inspeção e embalamento ao longo dos três turnos, através da alocação de 7 TOEs durante os turnos da tarde e noite e 8 TOEs durante o turno da manhã. Os resultados da simulação sugerem uma redução no TC de todas as US face a todos os cenários anteriores, sendo possível cumprir o SLA acordado com todas as US. Antevê-se uma capacidade diária de reprocessamento de 262 UTE e um TME de 1 hora e 52 minutos.

No Cenário C2 é explorada a possibilidade de reduzir a equipa de TOEs da inspeção e embalamento durante o período da manhã para 7 TOEs. Apesar do TC aumentar para todas as US, o SLA continua a ser cumprido. Para este cenário, estima-se uma capacidade diária de reprocessamento de 262 UTEs e um TME de 2 horas e 19 minutos. Como o SLA é cumprido para todas as US, o próximo cenário pretende testar se o SLA continua a ser cumprido com todas as US, se se retirar mais um TOE à zona de inspeção e embalamento durante o turno da noite. Este é o turno com um menor número de UTEs a reprocessar.

O Cenário C3 estuda o impacto no reprocessamento de alocar apenas 6 TOEs à zona de inspeção e embalamento durante o turno da noite, mantendo os 7 TOEs durante os restantes turnos. Os resultados apontam para um aumento do TC que já não possibilita o cumprimento do SLA com Clínica S única, nem com o Hospital S. A capacidade para este cenário é estimada em 264 UTEs diárias e o TME associado ao reprocessamento em 2 horas e 54 minutos.

De entre os 6 cenários delineados, conclui-se que apenas os cenários C1 e C2 permitem dar resposta ao terceiro objetivo. Este objetivo pode ser alcançado por duas vias.

Caso o RUMED pretenda cumprir os SLAs com os recursos disponíveis, terá, para além de nivelar o reprocessamento dos DMs, de alargar o SLA contratualizado com a Clínica S única e com o Hospital S, por forma a que sejam cumpridos os respetivos TC. Segundo os resultados do Cenário A, i.e., o cenário que se baseia apenas no nivelamento sem aumento do número de TOEs, os SLA das Clínicas S única e do Hospital S teriam de ser superiores a 6 horas e 25 minutos e 5 horas e 57 minutos, respetivamente.

Caso o RUMED pretenda cumprir o SLA, mas esteja disposto a utilizar mais recursos, i.e., a contratar mais TOEs, tem três opções disponíveis: (i) contrata mais um TOE (Cenário C1); (ii) contrata mais dois TOEs (Cenário C2) ou (iii) contrata um número de TOEs suficiente para um dado valor de capacidade que pretenda ter disponível..

Conclui-se que ao adotar o Cenário C2, o RUMED diminua o TME em, aproximadamente, 62%, diminua a taxa de ocupação dos TOEs em 10%, o que lhe irá permitir aumentar a capacidade disponível em 3%, face ao Cenário Original. Por outro lado, devido ao facto de se estar a contratar mais um TOE, o custo também aumenta, neste caso, em 2,8%.

Ainda assim, atendendo à revisão de literatura realizada no âmbito do reproprocessamento dos DMs, é expectável que a procura pelo reproprocessamento dos DMs em RUMEDs aumente no futuro (Frost et al. 2016). Por isso, cabe à empresa avaliar o mercado onde está inserida e tomar uma decisão em função da capacidade que pretende ter disponível para o reproprocessamento.

6.2. Principais obstáculos e limitações do estudo de caso

Ao longo do estudo de caso, foram identificados como principais obstáculos:

- (i) A imprevisibilidade da entrada dos DMs no reproprocessamento.
- (ii) A validação, na medida em que a empresa não possuía dados históricos com os quais se pudessem comparar os resultados obtidos por simulação e, nessa medida, houve uma necessidade de recolher dados extra, para se validarem os resultados.

Os resultados deste trabalho encontram-se limitados pelos seguintes motivos:

- (i) A pandemia COVID-19. A pandemia limitou o estudo na medida em que apenas possibilitou a recolha dos dados relativamente à duração das atividades durante o mês de agosto e primeira metade do mês de setembro. Este é considerado um período curto para se extrapolar resultados;
- (ii) Os dados terem sido recolhidos apenas durante os turnos da manhã e tarde. O RUMED estima que a produtividade durante o turno da noite seja inferior pelo facto da haver menos DMs a reprocessar e, que isso implique um TC maior. Deste modo, ao não considerar o reproprocessamento durante o turno da noite, estima-se que o valor do TC calculado esteja abaixo do valor real;
- (iii) Não se considerarem os atrasos na chegada de DMs ao RUMED. Durante o período do estágio curricular verificou-se a existência de atrasos na entrega de DMs provenientes das US quase todos os dias. Ainda assim, dado que a recolha de dados foi realizada apenas por um colaborador, não foi possível estudar o comportamento dos atrasos e incluí-los na modelação;
- (iv) Não se considerarem os pedidos urgentes de reproprocessamento. Sabe-se que ocorrem pedidos urgentes para o reproprocessamento de DMs semanalmente, sobre os quais o RUMED não tem informação. Os pedidos de urgência são aceites, mediante a ocupação dos recursos, tempos disponível para reproprocessamento, bem como o preço negociado para a urgência. Cada caso é um caso.

6.3. Sugestões para trabalhos futuros

Em linha com o trabalho desenvolvido e atendendo às limitações enumeradas são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros, que se consideram interessantes desenvolver no seguimento deste trabalho de dissertação, mas que devido a restrições no tempo disponível, não foram possíveis desenvolver.

- (i) Análise e avaliação do plano de rotas. Perante as conclusões e o plano base de reproprocessamento proposto, é recomendável que se analise novamente o plano de rotas e, se possível, adaptá-lo à nova realidade proposta, por forma a que os DMS entrassem no RUMED à cadência sugerida.
- (ii) Uma vez que foi definido que os DMs consignados só são reproprocessados de preferência na segunda metade do turno da noite, o RUMED poderia comunicar às respetivas organizações um horário conveniente para as entregas, nomeadamente durante a segunda metade do turno da tarde. Desta forma, evitava-se a interrupção dos TOEs sempre que ocorre uma chegada e a acumulação de DMs na zona de descontaminação.
- (iii) Seria interessante também que o RUMED estudasse a possibilidade de adotar um sistema de informação a partir do qual obtivesse informação relativamente ao planeamento de consultas e cirúrgico das US e do respetivos DMs requisitados. Esta plataforma de informação iria diminuir a variabilidade associada às chegadas, permitindo que o RUMED definisse planos de reproprocessamento diários ou semanais, aos quais fosse alocado o número exato de TOEs necessário.
- (iv) Por último, atendendo ao aumento expectável pela procura dos serviços de RUMEDs, seria importante que o RUMED estudasse quão viável seria a opção de subcontratar o serviço de transporte atualmente prestado a entidades designadas para o efeito e de se concentrar nas questões mais operacionais do reproprocessamento, acompanhar a inovação nesta área e dar a respetiva formação aos TOEs.

Bibliografia

- Ahmed, M., & Ahmad, N. (2011). An Application of Pareto Analysis and Cause-and-Effect Diagram (CED) for Minimizing Rejection of Raw Materials in Lamp Production Process. *Management Science and Engineering*, 5(3), 87-95. <https://doi.org/10.3968/j.mse.1913035X20110503.320>.
- Alvarez, R.R., & Antunes, J.A.V. (2001). Takt-time: concepts and context. *Toyota Production System. Gestão & Produção*, 8 (1), 1-18. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2001000100002>.
- Augusto, B.P., & Tortorella, G.L. (2019). Literature review on *Lean* healthcare implementation: assessment methods and practices. *International Journal of Services and Operations Management*, 32(3), 285–306. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2019.098351>.
- Banks, J., II, J.S.C., & Nelson, B.L. (2010). *Discrete-event System Simulation*. Prentice Hall international series in industrial and systems engineering, 1, <https://doi.org/10.1057/palgrave.jos.4250022>.
- Barnabè, F., & Giorgino, M.C. (2017). Practicing *Lean* strategy: Hoshin Kanri and X-Matrix in a healthcare-centered simulation. *The Total Quality Management Journal* 29 (4), 590-609. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2016-0057>.
- Barnes, R. (1977). Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho. *Blucher*, 6, 264-469.
- Biller, B., & Gunes, C. (2010). Introduction to simulation input modeling. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 49-58, Baltimore, Estados Unidos da América. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679176>.
- Block, S.S. (2001). *Disinfection, Sterilization, and Preservation*. Lippincott Williams & Wilkins, 95-1300. <https://doi.org/10.1017/S0195941700084289>.
- Borges, G.A., Tortorella, G., Rossini, M., & Portioli-Staudacher, A. (2019). *Lean* implementation in healthcare supply chain: a scoping review. *Journal of Health Organization and Management*, 33(3), 304-322. <https://doi.org/10.1108/JHOM-06-2018-0176>.
- Cohen, R.I., (2018). *Lean Methodology in Health Care*. *Chest*, 154(4), 1448-1454. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.06.005>.
- Costa, L.B.M., Filho, M.G., Rentes, A.F., Bertrani, T.M., & Mardegan, R. (2017). *Lean* healthcare in developing countries: evidence from Brazilian hospitals. *The International Journal of Health Planning and Management*, 32 (1), 99-120. <https://doi.org/10.1002/hpm.2331>.
- Costa, A., Carvalho, I., Mendonça, E., Oliveira, C., Contente, F., & Loureiro, A. (2002). *Manual de normas e procedimentos para um serviço central de esterilização em estabelecimentos de saúde: Central de Esterilização*.
- Delgado, A., Gomes, E., Morais, R., & Grande, M. (2015). Custos da qualidade na garantia de produtos: um estudo de caso em uma empresa de pequeno porte de refrigeração comercial por projetos. *Revista Uniara*, 18(1), 116-123. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2015.v18i1.342>.
- El-sokkary, R.H., Ramadan, R.A., & Soliman, M.H. (2015). Performance improvement project in the sterile processing department at a university hospital in Egypt - Redesign to centralize the process. *International Journal of Infection Control*, 11(2). <https://doi.org/10.3396/ijic.v11i4.028.15>

- Ferreira, C., Sá, J.C., Ferreira, L.P., Lopes, M.P., Pereira, T., & Silva, F.J.G. (2019). *iLeanDMAIC – A methodology for implementing the Lean tools*. *Procedia Manufacturing*, 41(4), 1095-1102. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.038>.
- Filser, L.D., da Silva, F.F., & de Oliveira, O.J. (2017). State of research and future research tendencies in *Lean* healthcare: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, 112(2), 799-816. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2409-8>.
- Fishman, G. (2001). *Discrete-Event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis*. Springer Science & Business Media, 5 (1), 271-520. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3552-9>.
- Forno, A.J.D., Pereira, F.A., Forcellini, F.A., & Kipper, L.M. (2014). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of *Lean* tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72 (8), 779-790. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5712-z>.
- Frost & Sullivan (2016). *Third Party Sterilization Services for Care Providers in the US and Western Europe, Forecast to 2022*. Acedido a 2 de Outubro de 2020 de <https://store.frost.com/third-party-sterilization-services-for-care-providers-in-the-us-and-western-europe-forecast-to-2022.html>.
- Gamma Industry Processing Alliance, International Irradiation Association (2017). *A Comparison of Gamma, E-beam, X-ray and Ethylene Oxide Technologies for the Industrial Sterilization of Medical Devices and Healthcare Products - International Irradiation Association*. Acedido a 22 de Setembro de 2020 de <https://iiaglobal.com/news/iaa-gipa-whitepaper/>.
- Graban, M., & Swartz, J.E. (2018). *Healthcare Kaizen: Engaging Front-Line Staff in Sustainable Continuous Improvements*. CRC Press, 1(2) 133-396. <https://doi.org/10.1201/b12274>.
- Guédon, A.C.P., Wauben, L.L., van der Eijk, A.C., Vernooji, A.S.N., Meeuwse, F.C., van der Elst, M., Hoeijmans, V., Dankelman, J., & van den Dobbelsteen, J.J. (2016). Where are my instruments? Hazards in delivery of surgical instruments. *Surgical Endoscopy* 30 (4), 2728–2735. <https://doi.org/10.1007/s00464-015-4537-7>.
- Hasle, P., Nielsen, A.P., & Edwards, K. (2016). Application of *Lean* Manufacturing in Hospitals - the Need to Consider Maturity, Complexity, and the Value Concept. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(4), 430-442. <https://doi.org/10.1002/hfm.20668>.
- Ignácio, P.S. (2017). Application of heijunka leveling in a medical devices company. *Journal of Lean Systems*, 3 (2), 2-23.
- Kartikasari, D., & Wardhani, V. (2020). Should the Central Sterile Supply Department in Every Hospital?. *Jurnal Medicoeticolegal dan Manajemen Rumah Sakit*, 9(2), 61-75. <https://doi.org/10.18196/jmmr.91117>.
- Klacik, S.G. (2019). Transitioning from High-Level Disinfection to Sterilization for Semicritical Devices. *Biomedical Instrumentation & Technology*, 53(2), 23-31. <https://doi.org/10.2345/0899-8205-53.s2.23>.
- Kovacevic, M., Jovicic, M., Djapan, M., & Ivana, Z-M. (2016). *Lean* thinking in healthcare: review of implementation results. *International Journal for Quality Research*, 12(8): 219-230. <https://doi.org/10.18421/IJQR10.01-12>.
- Lacerda, A.P., Xambre, A.R., & Alvelos, H.M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research* 54(1):1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>.

- Lambert, B.J., Lam, S., Hansen, J.M., & Bryans, T.D. (2019). Assurance of Sterility for Sensitive Combination Products and Materials: New Paradigms to Bring Innovative Healthcare Products to Patients. Academic Press, 123-198. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03866-X>.
- Law, A.M. (2019). How to Build Valid and Credible Simulation Models. In: 2019 Winter Simulation Conference (WSC), 1402–1414, National Harbour, Estados Unidos da América. <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004789>.
- Leite, H., Bateman, N., & Radnor, Z. (2020). Beyond the ostensible: an exploration of barriers to *Lean* implementation and sustainability in healthcare. *Production Planning & Control*, 31 (4), 1–18. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1623426>.
- Matt, D.T., Arcidiacono, G., & Rauch, E. (2018). Applying *Lean* to Healthcare Delivery Processes - a Case-based Research. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(1), 118-123. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.1.4965>.
- Netland, T.H. (2016). Critical success factors for implementing *Lean* production: the effect of contingencies. *International Journal of Production Research*, 54 (6), 2433-2448. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1096976>.
- Patri, R., & Suresh, M. (2018). Factors influencing *Lean* implementation in healthcare organizations: An ISM approach. *International Journal of Healthcare Management*, 11(1), 25-37. <https://doi.org/10.1080/20479700.2017.1300380>.
- Radnor, Z. (2011). Implementing *Lean* in Health Care: Making the link between the approach, readiness and sustainability. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 2 (1), 1-12.
- Radnor, Z.J., Holweg, M., & Waring, J. (2012). *Lean* in healthcare: The unfilled promise? *Social Science & Medicine*, 74 (3), 364-371. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2011.02.011>.
- Rewers, P., Trojanowska, J., Diakun, J., Rocha, A., Reis, L.P., Hamrol, A., Ciszak, O., Legutko, S., & Jurczyk, M. (2018). A Study of Priority Rules for a Levelled Production Plan. In: Hamrol A, Ciszak O, Legutko S, Jurczyk M (eds) *Advances in Manufacturing*. Springer International Publishing, Cham: 111–120. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68619-6_11.
- Rogers, W.J. (2013). 4 - The effects of sterilization on medical materials and welded devices. In: Zhou Y, Breyen MD (eds) *Joining and Assembly of Medical Materials and Devices*. Woodhead Publishing, 79-130. <https://doi.org/10.1533/9780857096425.1.79>.
- Rossetti, M.D. (2015). *Simulation Modeling and Arena*. John Wiley & Sons, 200-746.
- Saif, A., & Elhedhli, S. (2019). Sterilization network design. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 8, 91-115. <https://doi.org/10.1007/s13676-018-0118-y>.
- Sargent, R.G. (2015). An introductory tutorial on verification and validation of simulation models. In: 2015 Winter Simulation Conference: 1729–1740. <https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408291>.
- Schonberger, R.J. (2018). Reconstituting *Lean* in healthcare: From waste elimination toward 'queue-less' patient-focused care. *Business Horizons*, 61, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.09.001>.
- Seavey, R. (2016). Troubleshooting failed sterilization loads: Process failures and wet packs/loads. *American Journal of Infection Control*, 44, 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.03.001>.
- Sheingold, B.H., & Hahn, J.A. (2014). The history of healthcare quality: The first 100 years 1860–1960. *International Journal of Africa Nursing Sciences*, 1, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.ijans.2014.05.002>.

- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Chong, H. (2017). A cross-sector review on the use of value stream mapping. *International Journal of Production Research*, 55, 3906–3928. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1311031>.
- Spaulding, E. (1971). The role of chemical disinfection in the prevention of nosocomial infections. In: *Proceedings of the International Conference on Nosocomial Infections, 1970*. American Hospital Association, 247-54, Chicago, Estados Unidos da América.
- Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., Koyuncuoğlu, O., Tekin, E., Durakbasa, N., & Gencyilmaz, M. (2019). An Application of SMED and Jidoka in *Lean* Production. *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*. Springer International Publishing, 530–545. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92267-6_45.
- Tortorella, G., Fogliatto, F., Anzanello, M., Marodin, G., Garcia, M., & Esteves, R. (2016). Making the value flow: application of value stream mapping in a Brazilian public healthcare organization. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(13), 1-15. <https://doi.org/10.1080/14783363.2016.1150778>.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *International Journal of Production Economics*, 160(C), 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.002>.
- Ugalmugle, S., & Swain, R. (2019). Sterilization Equipment Market to Hit \$9.9 Billion by 2025: Global Market Insights, Inc. Acedido a 26 de Agosto de 2020 de <https://www.prnewswire.com/news-releases/sterilization-equipment-market-to-hit-9-9-billion-by-2025-global-market-insights-inc-300964236.html>.
- Vamsi, K., Jasti, N., & Sharma, A. (2014). *Lean* manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(1), 89-116. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2012-0002>.
- Weiss, E.N., Jackson, S., English, A., & Stevenson, D. (2017). *Lean* Tools for Service Business Model Innovation in Healthcare. In: Pfannstiel MA, Rasche C (eds) *Service Business Model Innovation in Healthcare and Hospital Management: Models, Strategies, Tools*. Springer International Publishing, Cham, 233–247. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46412-1_13.
- Wilson, L. (2015). *How to implement Lean manufacturing*. McGraw Hill Professional, 150-230.
- World Health Organization and Pan American Health Organization (2016) WHO | Decontamination and Reprocessing of Medical Devices for Health-care Facilities, 200-459.

Anexo A - 7 Desperdícios *Lean* no contexto da saúde

Os 7 desperdícios *Lean* identificados no contexto da saúde estão caracterizados mais detalhadamente na Tabela A.1 (Hussain et al., 2016).

Tabela A. 1 - Os 7 desperdícios *Lean* no contexto da saúde

Desperdícios <i>Lean</i>	Exemplos no contexto da saúde
Transporte	<ul style="list-style-type: none">• Transporte de doentes• Aprovisionamento de materiais e equipamentos em pontos centrais e não no local onde são utilizados
<i>Stocks</i>	<ul style="list-style-type: none">• Existência em excesso de <i>stocks</i>, que não estão a ser utilizados• Pacientes em espera para obtenção de cuidados de saúde• Listas de espera para atendimento
Movimentação	<ul style="list-style-type: none">• Movimentação desnecessária dos prestadores de cuidados de saúde• Não ter o material todo necessário no local onde estão planeados decorrer as intervenções médicas• Falhas ao reencaminhar o doente dentro das US
Esperas ou atrasos	<ul style="list-style-type: none">• Esperas de pacientes, materiais, medicação e prescrições médicas• Esperas dos médicos para que os pacientes tenham alta nas US
Excesso de produção	<ul style="list-style-type: none">• Requisitar exames ou intervenções desnecessárias face à situação do doente
Sobre processamento	<ul style="list-style-type: none">• Informação duplicada sobre o doente• Questionar o paciente sobre informações pessoais mais do que uma vez
Defeitos	<ul style="list-style-type: none">• Readmissão de doentes devido a falhas no diagnóstico ou tratamento• Repetição de exames ou testes médicos devido a falhas de informação

Anexo B - Ferramentas *Lean*

Neste anexo são abordadas as principais ferramentas *Lean* com utilidade no contexto da saúde, mas que não foram utilizadas no estudo de caso, nomeadamente: o VSM, o 5S e o *Kaizen*.

- **VSM**

O *Value Stream Mapping* é uma ferramenta *Lean* utilizada na identificação do desperdício ao longo da cadeia de valor, principalmente no que diz respeito a produção em excesso, tempos de espera, *stocks* e transporte desnecessário. No VSM estão representados os fluxos de materiais e informação, bem como as atividades (de valor acrescentado e não acrescentado) necessárias na produção de produtos ou serviços, através de uma simbologia própria (Figura B.1). As atividades de valor acrescentado permitem a transformação do *input* num produto final útil, para o qual o cliente está disposto a pagar. Exemplos de atividade de valor acrescentado incluem as consultas e exames médicos realizados. As atividades de valor não acrescentado são necessárias à atividade produtiva, mas não contribuem para a criação de valor. A marcação de consultas e o reprocessamento de DMs após uma intervenção cirúrgica são exemplos. No VSM estão representados (i) os fluxos de informação e de material, (ii) os tempos e os recursos de cada etapa do processo produtivo, (iii) as esperas entre etapas sucessivas, (iv) as dimensões do *stock* e (v) o desempenho da força de trabalho em termos de TC por produto (Wilson, 2015).












Símbolo	Título
	Fornecedor ou cliente
	Processo partilhado
	Célula de trabalho
	Processo individual
	Caixa de informação
	Fluxo de material
	Sistema <i>pull</i>
	Armazenamento
	Sistema <i>push</i>
	<i>Stock</i> de segurança
	Transporte externo (recepção ou expedição)

Figura B. 1 - Simbologia do VSM

A aplicação do VSM para a análise do valor e do desperdício na cadeia de valor, compreende quatro fases (Lacerda et al., 2016; Shou et al., 2017):

- 1) Seleção do produto ou família de produtos, para o qual ou os quais se pretende analisar e se possível, melhorar a sua cadeia de valor;
- 2) Elaboração do *Current State Map* (CSM), cujo objetivo é representar fidedignamente o sistema atual. O CSM facilita a identificação de limitações, bem como de oportunidades de melhoria;
- 3) Análise do CSM. Numa fase inicial é concebido o VSM para o estado atual, que é a base para identificação de: *bottle-necks*, *stock* excessivo, recursos em falta no processo e definição de ações corretivas para redesenhar e reorganizar o processo por forma a atingir as melhorias necessárias. As medidas de desempenho mais utilizadas na análise do CSM variam consoante os objetivos de cada empresa. Ainda assim, as mais comuns são o número de trabalhadores envolvidos, o TC o tempo de cada operação, o tempo de valor acrescentado, a taxa de ocupação dos trabalhadores, bem como a capacidade necessária;
- 4) Elaboração do *Future State Map* (FSM), que deve compreender uma taxa de produção baseada no *Takt time*, um planeamento da produção atendendo aos estrangulamentos identificados e um fluxo contínuo que pode ser obtido através da implementação de sistemas *Pull* e melhorias no TC, face ao CSM. As medidas de desempenho utilizadas no FSM são análogas às do CSM.

Entre 1999 e 2016, vários estudos de caso remetem a uma aplicação do VSM em 69% a atividade de manufatura, 15% de saúde, 8% à construção civil, 6% ao desenvolvimento de produtos e 2% a serviços. Na Figura B.2, está representado exemplo de sucesso que remete à aplicação do VSM a um hospital universitário no Brasil (Filho et al., 2015). Este hospital, devido a episódios recorrentes de falhas na disponibilidade de DMs nas suas instalações, decidiu investigar e aplicar o VSM ao departamento de reprocessamento de DMs. Os resultados foram: o aumento do nível de serviço em 23%, a diminuição do número de horas extra dos TOEs em 6% e uma redução do número médio de reclamações mensais de 35 para 23 (Shou et al., 2017).

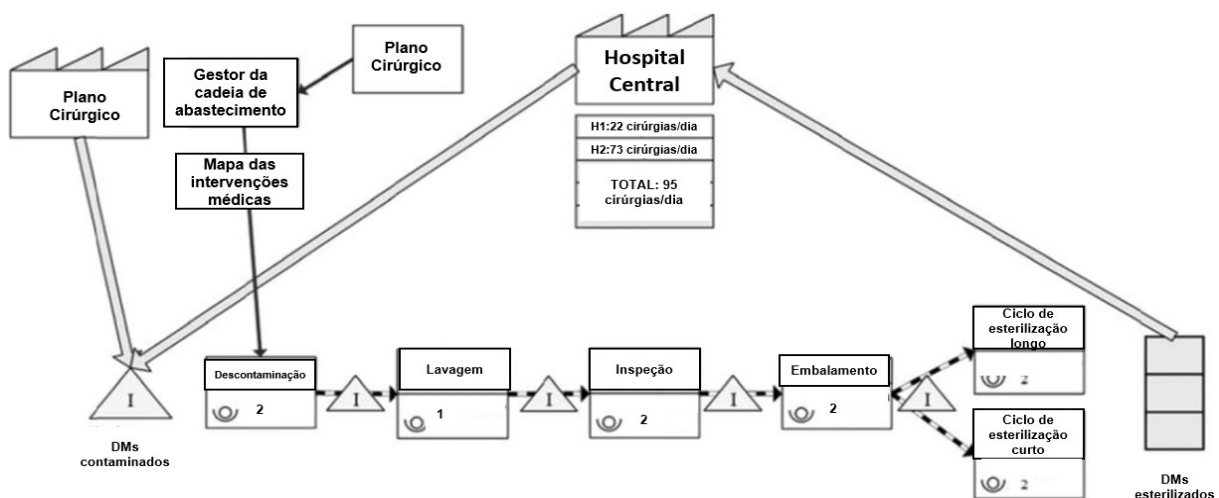


Figura B. 2 - Exemplo de um VSM de um RUMED

A aplicação do VSM permite:

- Priorizar áreas de eliminação do desperdício através de uma perspectiva mais holística da cadeia de valor;
- Estabelecer uma relação entre o fluxo de materiais ou serviços e o fluxo de informação (Forno et al., 2014);
- Criar uma percepção partilhada dos problemas correntes e de oportunidades de melhoria transversal a todos os intervenientes da cadeia de valor. Este alinhamento facilita o processo de eliminação de desperdício e consequentemente de criação de vertical de valor (Tortorella et al., 2016);
- Providenciar uma base simples e padronizada para os procedimentos (Forno et al., 2014).

Ainda assim, o VSM também tem algumas limitações:

- Em organizações com um portefólio diversificado de produtos, por vezes os produtos tomam caminhos diferentes dentro do mesmo processo. Então a mudança de um determinado processo para eliminação do desperdício nem sempre elimina o desperdício para os restantes. Alguns autores defendem o uso de técnicas de agrupamento de produtos em famílias para contornar este problema, mas tal apenas é viável quando os produtos utilizam os mesmos recursos produtivos (Tyagi et al., 2015);
- É difícil introduzir melhorias em processos não estáveis porque o mapeamento não representa a situação real porque cada dia o processo se comporta de forma diferente. Este é o motivo pelo qual a padronização do processo produtivo é importante. Antes de se aplicar o CSM deve verificar-se se os processos são estáveis, i.e., que existe estabilidade no TC, disponibilidade dos recursos para produção de acordo com as especificações, mantendo os níveis de qualidade. Por fim, deve ser assegurado que o sistema produtivo se vai comportar de forma consistente durante um certo período;
- O VSM expõe fragilidades e pontos de desperdício ao longo da cadeia de valor, mas não providencia uma solução direta dos problemas (Tyagi et al., 2015);
- Apesar de o VSM ser eficaz na apresentação de parâmetros do sistema como o TC das operações e a disponibilidade dos recursos, não possibilita a análise do impacto de diferentes configurações na performance de um dado sistema e, por isso, não permite que o FSM represente a solução ótima (Tortorella et al., 2016).

Recomenda-se que a aplicação do VSM seja integrada com outras ferramentas analíticas capazes de incorporar as variações do sistema, por forma a avaliar o impacto de alterações de melhoria futuras, sem que a sua implementação real ocorra. A modelação e a simulação computacional podem ser uma solução para alcançar uma análise mais abrangente dos sistemas *Lean*.

- **5S**

5S é o nome da metodologia para organização do local de trabalho. Geralmente é realizada no início de uma introdução ao *Lean* combinada com o estabelecimento de regras e padrões internos que

garantirão a manutenção dos resultados alcançados em um período ilimitado após a implementação. A metodologia 5S é um acrônimo para cinco atividades nomeadas por cinco palavras japonesas (e seus equivalentes em inglês), com a letra "S" que devem ser realizadas em sequência. Essas atividades descrevem como organizar um local de trabalho e um ambiente de trabalho para melhorar a eficiência e a eficácia, realizando a classificação dos itens, a ordenação e a limpeza detalhada dos locais de trabalho, seguida pela padronização e manutenção de atividades para manter a nova ordem. As últimas tendências e recomendações vão na direção da introdução do sexto "S" de Segurança. Como a segurança (pacientes e equipe) deve ser assumida como uma das principais prioridades na área da saúde, seu fortalecimento adicional através da implementação 6S (5S + 1) nas organizações de saúde pode ser um benefício adicional medido em melhorias significativas e sustentáveis nas práticas de segurança. Projetos 5S realizados com sucesso foram documentados em vários assuntos de assistência médica em vários departamentos como laboratórios, administração e escritórios. Os resultados apresentados mostram que o 5S pode ser aplicado a serviços de saúde com efeitos benéficos, como locais de trabalho mais limpos, organizados e eficientes para maior segurança e maior produtividade, redução de custos de *stock* e recuperação de espaços valiosos e redução de custos gerais, onde a sustentabilidade bem estabelecida é uma chave para o sucesso (Kovacevic et al., 2016)

- ***Kaizen***

A palavra *Kaizen* resulta da junção das palavras japonesas "Kai" e "Zen" que significam mudança e melhor, respetivamente. O termo *Kaizen* é globalmente utilizado para a melhoria contínua. Esta ferramenta *Lean* baseia-se em melhorias incrementais e independentes entre si geradas continuamente pelos membros de uma organização no sentido de reduzir ou eliminar, se possível, o desperdício dentro da organização (Grabau et al., 2018).

Cada proposta de melhoria deve ser planeada e realizada em conjunto com o ciclo *Plan Do Check Act* (PDCA). A implementação da melhoria contínua permite às organizações, que com um baixo nível de financiamento, beneficiarem simultaneamente do potencial dos seus recursos humanos e económicos (Augusto et al., 2019).

Nas organizações de saúde o *Kaizen* é particularmente útil na melhoria da organização do trabalho, utilização das ferramentas e tratamento do paciente. Há alguns fatores que asseguram a mensurabilidade dos resultados da implementação do *Kaizen*, como a motivação do staff, foco na redução do custo, melhorias com baixo risco associado, envolvimento dos trabalhadores nos processos de melhoria, respeito e avaliação de todas as ideias, independentemente da sua dimensão e potencial impacto (Kovacevic et al., 2016).

Anexo C - Distribuições e respectivas finalidades

As distribuições mais utilizadas para o ajuste dos dados em simulação estão representadas na Tabela C.1, juntamente com os parâmetros que as caracterizam e a sua aplicabilidade. As distribuições apresentadas são contínuas (Banks et al., 2010).

Tabela C. 1 - Distribuições e respectivas finalidades

Distribuição	Parâmetros	Aplicabilidade
Uniforme	$U \sim (a, b)$ a – Valor mínimo b – Valor máximo	- Modelar a probabilidade de um dado evento ocorrer, dentro de um limite de duas variáveis lógicas.
Exponencial	$Exp \sim (\lambda), \lambda \in \mathbb{R}$ λ – média $\lambda > 0$	- Modelar os intervalos de tempos entre chegadas consecutivas, quando as chegadas são aleatórias. - Modelar tempos de serviço com uma grande variabilidade associada. - Caracterizar falhas nos recursos.
Gamma	$\gamma \sim (\theta, \beta), \beta, \theta \in \mathbb{R}$ θ – Parâmetro de escala, $\theta > 0$ β – Prâmetro de forma, $\beta > 0$	- Análise ao tempo de vida de um artigo e ao tempo que ainda durará.
Erlang	$Erl \sim (\beta, k), \beta \in \mathbb{R} \text{ e } k \in \mathbb{Z}$ β – média das distribuições, $\beta > 0$ k – nº de variáveis aleatórias exponenciais, $k > 0$	- Medir o intervalo de tempo entre eventos. - Medir o tempo que falta até uma tarefa estar concluída.
Normal	$N \sim (\mu, \sigma)$ μ – média das distribuições σ – desvio padrão	- Modelar processos, para os quais a probabilidade de ocorrência de valores abaixo da média e acima da média é a mesma.
Weibull	$Weib \sim (\beta, \alpha), \beta, \alpha \in \mathbb{R}$ β – Parâmetro de escala, $\beta > 0$ α – Prâmetro de forma, $\alpha > 0$	- Modelar o tempo de vida de um componente - Muito utilizada para estudos de fiabilidade de componentes.
Poisson	$P \sim (\lambda), \lambda \in \mathbb{R}$ λ – média $\lambda > 0$	- Modelar a ocorrência de eventos num certo período se estes eventos ocorrerem independentemente da ocorrência do último evento.
Triangular	$Tria \sim (a, b, c), a, b, c \in \mathbb{R}$ a – mínimo b – moda c – máximo	- Utilizar quando existe uma ideia sobre o comportamento da população, nomeadamente sobre os seus extremos e a sua moda. - É simples útil para quando se tem poucos dados.
Lognormal	$N \sim (\mu, \sigma)$ μ – média do logaritmo, $\mu > 0$ σ – desvio padrão do logaritmo, $\sigma > 0$	- Caracterizar tempo de vida de produtos e materiais.
Beta	$\beta \sim (\beta_1, \beta_2), \beta_1, \beta_2 \in \mathbb{R}$ β_1, β_2 – parâmetros de forma	- Modelar o comportamento de variáveis aleatórias limitadas a intervalos de tamanho finito.

Anexo D - Estudo de cronometragem

(i) Contextualização sobre o tema

A cronometragem é uma ferramenta utilizada para a medição do tempo despendido na realização de tarefas. Existem dois métodos principais de cronometragem, nomeadamente (Barnes, 1977):

- A cronometragem cumulativa - O cronómetro está a funcionar durante todo o estudo (tempo total acumulado) e no final de cada elemento, o observador regista o tempo lido, no entanto o cronómetro continua a contar.
- A cronometragem repetitiva - Após a contagem de um elemento de atividade, o cronómetro é repostado no zero. Permite ler diretamente o tempo de cada elemento de atividade.

O ciclo de trabalho é constituído por um conjunto de elementos de atividade que são necessários para a execução de uma tarefa completa ou para a obtenção de uma unidade de produção. Para o mesmo ciclo de trabalho, o corte representa o instante em que termina um elemento de atividade e em que se inicia o seguinte. Os momentos recomendados para o corte são (Barnes, 1977):

- Momentos de ruído/ som característico;
- Instante de contacto/ separação entre componentes;
- Instante de contacto/ separação entre a mão e componentes;

Os principais passos para a realização de um estudo de cronometragem estão descritos na Tabela D.1.

Tabela D. 1 - Passos e procedimentos para a realização de um estudo de cronometragem

Passos para a realização de um estudo de cronometragem	Procedimentos
1. Seleção da tarefa a ser cronometrada	Selecionar a tarefa que precisa de ser cronometrada
2. Selecionar o colaborador para o estudo	Selecionar um trabalhador consistente cujo desempenho seja médio ou próximo da média para que os tempos observados sejam próximos dos tempos normais
3. Registrar os detalhes	Registrar na folha de observações informações como: o nome da tarefa, o turno em que se estão a recolher dados, a data e outras informações com interesse para o estudo
4. Dividir a atividade em tarefas	Cada tarefa deve ser dividida em elementos de atividade para facilitar a observação e medição dos tempos

5. Determinar o número de ciclos a serem medidos	Determinar e medir o número de ciclos que precisam de ser observados para chegar a um tempo médio preciso
6. Cronometrar a duração de cada tarefa	O tempo medido cronometrado é conhecido como tempo médio observado
7. Determinar o fator de atividade	É a medida da eficiência de um trabalhador. A classificação é encontrada comparando a sua velocidade com um desempenho padrão
8. Cálculo do tempo normal	Analisar a velocidade com que o operador realiza o trabalho em condições normais, levando em consideração parâmetros como a o esforço, a rapidez, a velocidade dos movimentos, entre outros.
9. Determinação de correção da fadiga	Calcular o tempo que o colaborador necessita para recuperar o esforço despendido em certas tarefas
10. Determinar o TC	Determinar o tempo despendido numa tarefa por um trabalhador qualificado e treinado, trabalhado ao seu ritmo normal

(ii) Aplicação ao estudo de caso

Para o estudo de caso utilizou-se a cronometragem cumulativa, porque observaram-se vários TOEs simultaneamente. O processo de recolha de dados foi semelhante ao apresentado na Tabela D.1.

- As tarefas a serem cronometradas foram a descontaminação, a inspeção e o embalamento, desempenhadas apenas por TOEs.
- Para a cronometragem escolheram-se trabalhadores cuja velocidade de desempenho fosse semelhante à média, ficando excluídos os que se encontravam em formação. Por este motivo, considerou-se um fator de atividade igual a 1.
- Dado o tempo disponível para a recolha de dados ser apenas de um mês, o que é considerado curto para três atividades ao longo de dois turnos, optou-se por não se dividir as tarefas em elementos de atividade, mas considerar-se que a tarefa inteira correspondia a um elemento de atividade.
- Cronometraram-se ao todo, aproximadamente, 40 ciclos em cada turno para cada um dos processos.

Anexo E - Quantidade de DMs que chegam diariamente ao RUMED

A quantidade de DMs que chegam diariamente ao RUMED de cada US está representado na Tabela E.1.

Tabela E. 1 - Quantidade de DMs que chegam diariamente ao RUMED

US	Horário	Quantidade (UTE)	SLA (hh:mm)
Clínicas C	07:00	2,6	23
	17:00	1,3	
	18:45	1,0	
	21:15	0,8	
	00:00	0,4	
Clínica T	08:00	0,6	11:00
	16:00	0,8	
Clínicas S	13:30	1,4	11:00
	17:00	2,4	
Clínica S única	07:45	0,2	4:30
	14:30	3,2	
	21:15	6,6	
Hospital S	08:00	2,4	4:30
	12:00	4,7	
	14:00	7,7	
	17:00	7,4	
	18:45	13,6	
Hospitais C	09:00	0,9	11:00
	10:15	25,5	
	11:15	12,9	
	17:15	8,7	
	18:45	1,7	
	20:15	5,3	
	00:00	20,4	
	00:15	9,7	

Anexo F - Modelo de simulação do RUMED

Na Figura F.1 está representada a primeira parte do modelo de simulação. A primeira parte do modelo computacional pretende definir como são geradas as entidades e atribuir-lhes características, atendendo às suas especificidades.

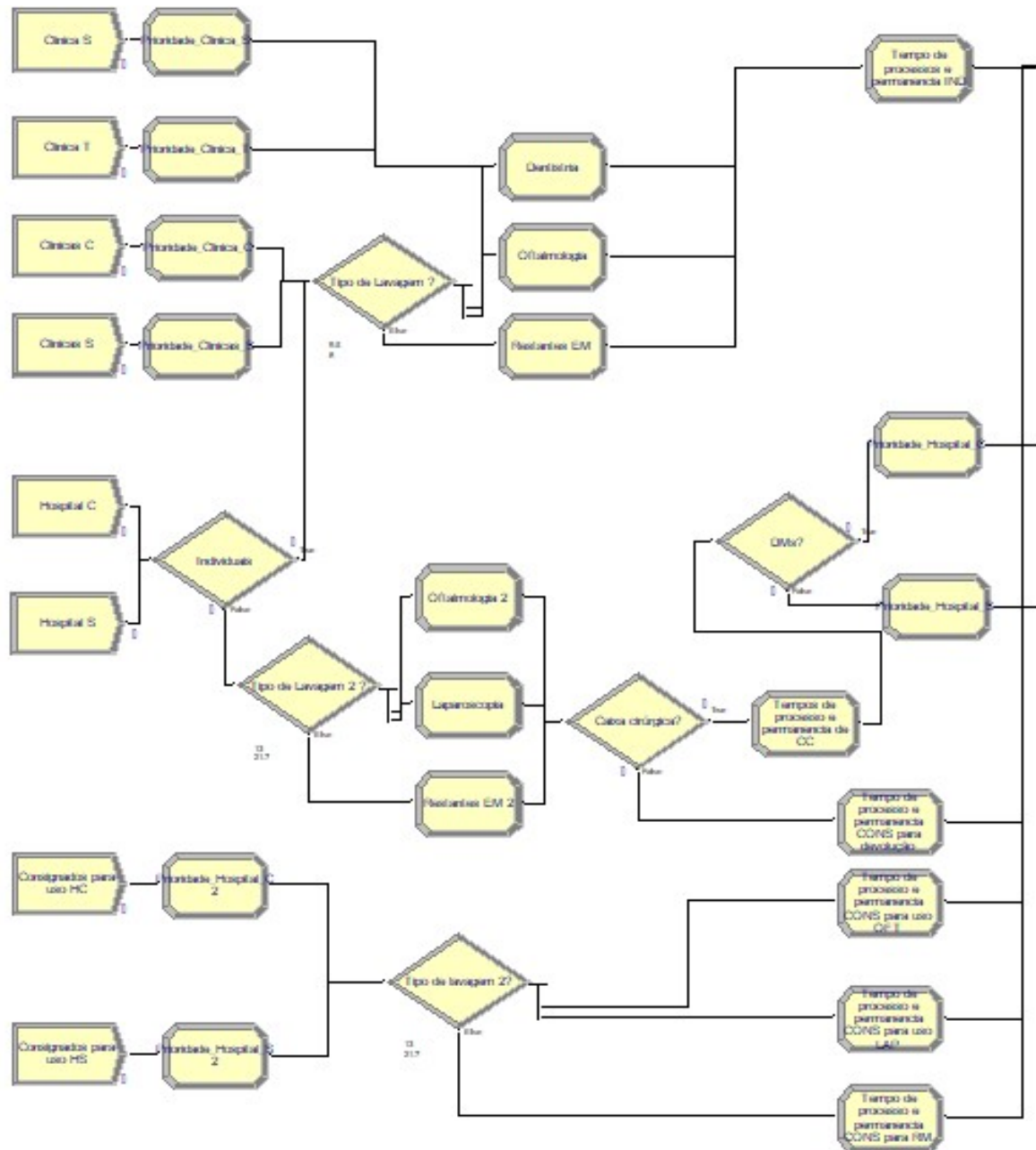


Figura F. 1 - Primeira parte do modelo computacional de simulação

A segunda parte do modelo de simulação consiste na modelação dos processos de reprocessamento, bem como dos recursos que lhes estão associados (Figura F. 2). Na elaboração do modelo de simulação foi necessário fazer a definição: (i) das entidades e dos respetivos atributos, (ii) dos recursos e das operações, (iii) das prioridades das operações, (iv) das medidas de desempenho e (v) do período de simulação e do número de replicações.

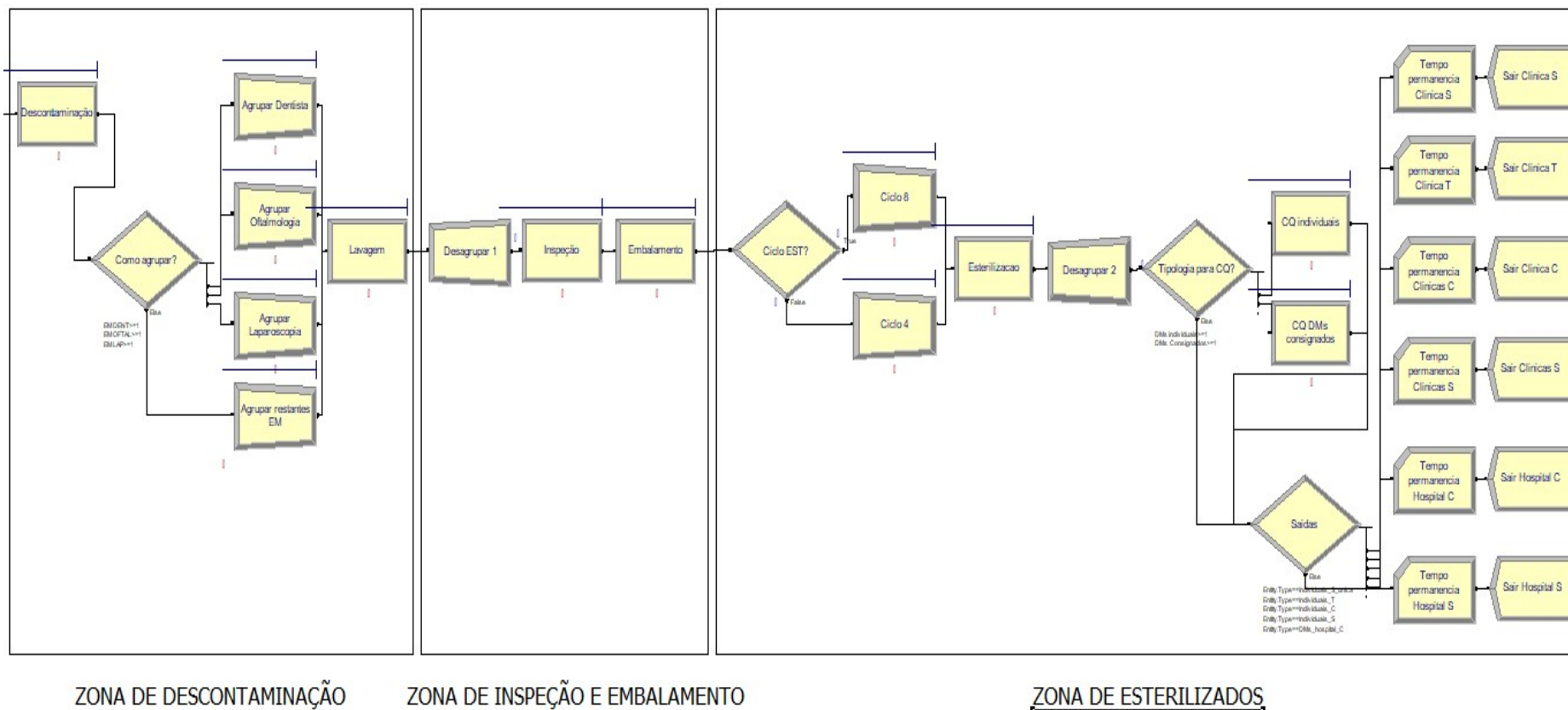


Figura F. 2 - Segunda parte do modelo computacional de simulação

i. As entidades e os respetivos atributos

Atendendo ao objetivo da simulação de conhecer os SLAs atuais do RUMED, as entidades geradas no modelo de simulação correspondem aos DMs destinados às US ou às organizações de DMs. Independentemente do seu destino, as entidades podem ser de 6 tipos: individuais das clínicas S, S única, T ou C ou DMs dos hospitais S ou C. Estas entidades foram geradas utilizando o módulo *Entity* do Arena (Figura F.3).

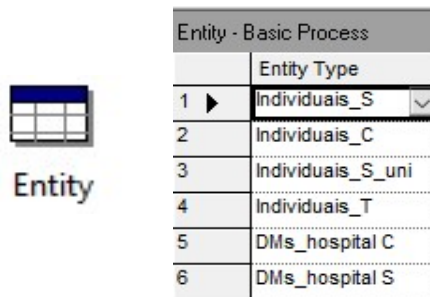


Figura F. 3 - Definição das entidades do modelo atual

Cada tipo de entidade é gerado através de um módulo *Create*. Na Figura F.4 está representado o módulo *Create* para os DMs individuais da clínica C. O intervalo de tempo entre chegadas consecutivas das entidades ao sistema pode ser: (i) constante (*Constant*), (ii) aleatório, através da utilização de uma distribuição exponencial (*Random*), (iii) definido através de uma expressão (*Expression*) ou (iv) ter como base um horário (*Schedule*).

Neste módulo, também é possível definir o número de entidades por chegada (*Entities per Arrival*), bem como o número máximo de entidades que o módulo pode gerar (*Max Arrivals*). Para todos os tipos, excepto o *Schedule* é ainda possível preencher o campo relativo ao instante de tempo em que a primeira entidade chega ao sistema (*First Creation*).

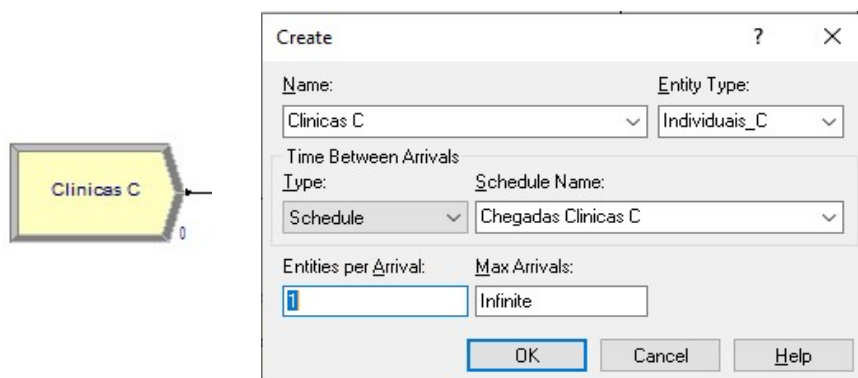
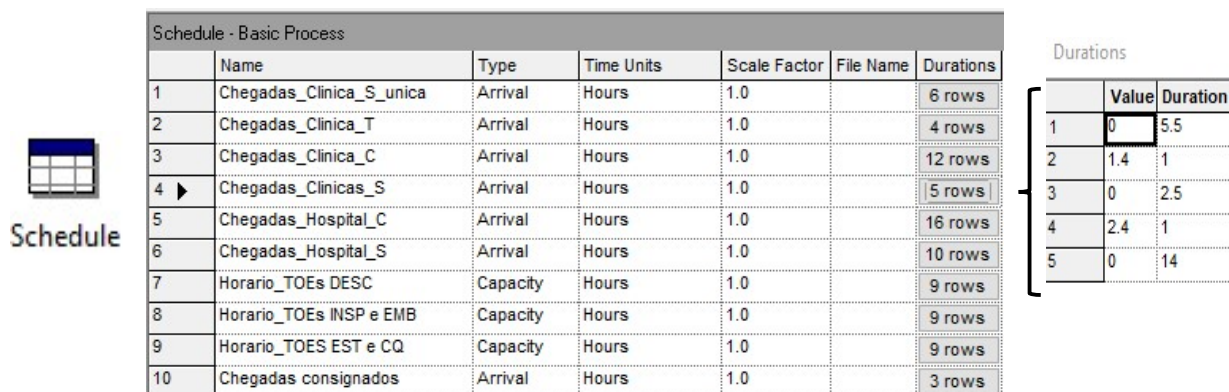


Figura F. 4 - Módulo *Create* para a entrada dos DMs individuais das Clínicas C

No contexto do estudo de caso, como existem rotas fixas para o transporte dos DMs desde as US até ao RUMED, o intervalo de tempo entre chegadas consecutivas de DMs tem por base um *Schedule* (horário).

O módulo *Schedule* tem as opções: (i) *Arrival*, direcionada para o intervalo de tempo entre chegadas consecutivas de entidades e (ii) *Capacity*, utilizada para definir o funcionamento horário dos recursos (Figura F.5). A opção (i) foi utilizada para definir as chegadas dos DMs ao RUMED quer das US, quer das organizações de consignados.



Schedule - Basic Process						
	Name	Type	Time Units	Scale Factor	File Name	Durations
1	Chegadas_Clinica_S_unica	Arrival	Hours	1.0		6 rows
2	Chegadas_Clinica_T	Arrival	Hours	1.0		4 rows
3	Chegadas_Clinica_C	Arrival	Hours	1.0		12 rows
4	Chegadas_Clinicas_S	Arrival	Hours	1.0		5 rows
5	Chegadas_Hospital_C	Arrival	Hours	1.0		16 rows
6	Chegadas_Hospital_S	Arrival	Hours	1.0		10 rows
7	Horario_TOEs DESC	Capacity	Hours	1.0		9 rows
8	Horario_TOEs INSP e EMB	Capacity	Hours	1.0		9 rows
9	Horario_TOES EST e CQ	Capacity	Hours	1.0		9 rows
10	Chegadas consignados	Arrival	Hours	1.0		3 rows

Durations		
	Value	Duration
1	0	5.5
2	1.4	1
3	0	2.5
4	2.4	1
5	0	14

Figura F. 5 - Módulo *Schedule* para as chegadas de DMs das Clínicas S

A duração do intervalo de tempo entre chegadas está expressa numa taxa que considera o número de entidades que entra no sistema por hora. O *Schedule* da *Chegadas_Clinicas_S* pode ser interpretado da seguinte forma: nas primeiras 5,5 horas de simulação chegam ao RUMED 0 UTEs de *Individuais_S* por hora, na hora seguinte, chegam ao RUMED 1.4 UTEs de *Individuais_S* por hora e assim sucessivamente.

Os DMs das várias US foram agregados para que fosse possível modelar o RUMED com o menor número de *inputs* possível e, conseqüentemente, reduzir a dimensão do problema.

Como abordado na Secção 2.3.1., as entidades são caracterizadas por atributos (Figura F.6). Para o estudo de caso foram definidos 16 atributos, com os seguintes objetivos:

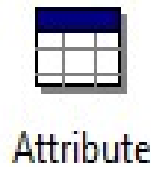
- Associar a cada entidade um tempo de descontaminação, de lavagem, de inspeção, de embalagem e esterilização;
- Atribuir um SLA. Este atributo serve para priorizar as entidades ao longo do sistema. A sua expressão é dada por: $SLA = SLA \text{ acordado com US} - (Entity \text{ Create Time} - TNOW)$. Quanto maior for o valor obtido através da expressão, menor será a urgência em reprocessar esse DM. A título de exemplo, considerem-se duas chegadas, uma às 8 horas da manhã de DMs com um SLA de 23 horas e outra às 16 horas de DMs com um SLA de 4,5 horas. Se às 17h os DMs destes grupos ainda não tiverem iniciado o reprocessamento, a prioridade de cada um será:

- DMs que chegaram às 8h da manhã = $23 - (8 - 17) = 32$

- DMs que chegaram às 16h da tarde = $4,5 - (16 - 17) = 5,5$

Conclui-se que, nestas condições, os DMs prioritários para reprocessamento são os que chegaram às 17h;

- Atribuir a cada entidade uma EM. Isto é particularmente importante para que se respeitem os diversos programas de lavagem e de esterilização;
- Separar as entidades de acordo com uma dada condição. Caso o atributo de uma entidade tenha um determinado valor segue para um dado processo, caso contrário é encaminhada para outro. Esta lógica foi utilizada para que o TC dos DMs consignados com destino às organizações de DMs não fosse contabilizado para o TC dos DMs destinados às US. Neste caso como as entidades são do mesmo tipo, o atributo é a característica que as distingue.



Attribute - Basic Process	
	Name
1	SLA
2	Tempo DESC
3	Tempo INSP
4	Tempo EMB
5	Tempo EST
6	Tempo CQ
7	EM DENT
8	EM LAP
9	Tempo LAV
10	EM OPTAL
11	EM RE
12	EST Ciclo 4
13	EST Ciclo 8
14	DMs individuais
15	DMs Consignados
16 ▶	NAO CONTAR Tciclo DESTES DMs

Figura F. 6 - Identificação dos atributos associados às entidades

É no módulo *Assign* que os atributos associados às entidades tomam determinados valores. Na Figura F.7 está representado o módulo *Assign* onde os atributos tomam valores relativamente: (i) ao tipo de DMs (DMs individuais), (ii) ao ciclo de esterilização (EST Ciclo 4) e (iii) aos tempos de processamento (Tempo DESC, Tempo INSP, Tempo BEM e Tempo EST).

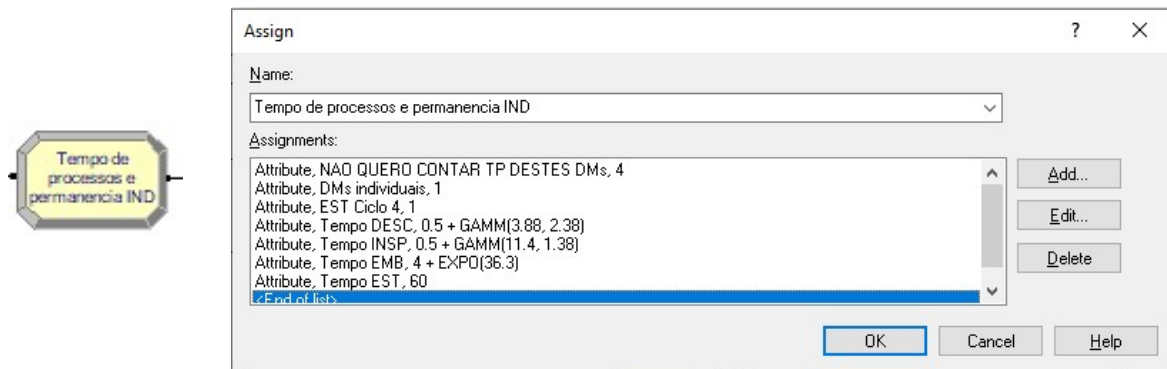


Figura F. 7 - Módulo *Assign* para os tempos de processo dos DMs individuais

Da mesma forma que as entidades são geradas, também são eliminadas do sistema no módulo *Dispose* (Figura F.8).

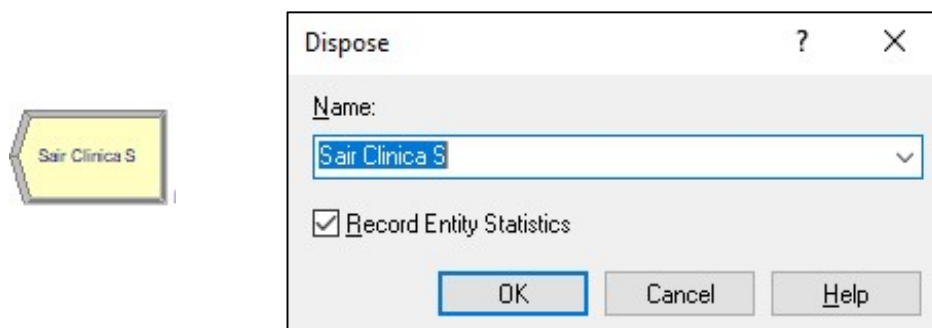



Figura F. 8 - Módulo *Dispose* para os DMs da Clínica S

ii. Os recursos e as operações

Os processos do reprocessamento são modelados através de módulos *Process*, nos quais são utilizados recursos (*Resources*) humanos e máquina. Para a modelação do RUMED consideraram-se todos os recursos humanos descritos na Secção 3.7, nomeadamente os TOEs da descontaminação, da inspeção e do embalamento e do controle de qualidade. Quanto aos recursos máquina, também na Secção 3.7, optou-se por modelar todos, com exceção dos postos de trabalho, esterilizador a peróxido de hidrogénio e túnel de lavagem.

Considerou-se que não faz sentido modelar os postos de trabalho, pois a equipa de TOE está dimensionada para o espaço disponível e para a quantidade de DMs em reprocessamento, pelo que as limitações de espaço são redundantes. A opção de não se modelar o esterilizador a peróxido de hidrogénio e o túnel de lavagem deve-se ao facto da quantidade (UTE) de DMs que necessita destes equipamentos ser inferior a 5% do volume diário em reprocessamento.

Os recursos podem ser de dois tipos: (i) *Fixed Capacity* ou *Based on Schedule*. A capacidade dos recursos é definida através de um campo *Capacity*, caso os recursos sejam do tipo *Fixed Capacity* ou, em alternativa, através do nome do *Schedule* associado, no qual está definida a capacidade dos recursos (Figura F.9).



Resource

Resource - Basic Process					
	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule
1	TOEs DESC	Based on Schedule	Horario TOEs Desc	Horario TOEs Desc	Wait
2	TOEs INSP E EMB	Based on Schedule	Horario TOEs Insp e Emb	Horario TOEs Insp e Emb	Wait
3	Lavadoras	Fixed Capacity	5	5	Wait
4	Esterilizadores	Fixed Capacity	8	8	Wait
5	TOEs CQ	Based on Schedule	Horario TOEs Est CQ	Horario TOEs Est CQ	Wait

Figura F. 9 - Definição dos recursos do modelo

Existem 3 principais *Schedule rules* a considerar: (i) *Wait*, (ii) *Ignore* e (iii) *Preempt*. A regra *Wait* é empregue nas situações em que o recurso é utilizado até que o processo esteja completo e só nessa altura faz uma pausa. A regra *Ignore* é aplicada quando os recursos são utilizados até que o processo esteja completo, mesmo que para isso percam parte da pausa estipulada. Já a regra *Preempt* é utilizada para situações em que o processo é interrompido imediatamente e continuado quando os recursos voltam a estar disponíveis.

Os processos de reprocessamento são modelados através dos módulos *Process*. Na Figura F.10, está representado o módulo *Process* para o processo de descontaminação. Os processos podem ser de dois tipos: (i) *Standard* e (ii) *Submodel* e podem ter associados recursos que são empregues segundo uma das seguintes lógicas:

- *Seize Delay* - Se o recurso estiver disponível, é utilizado para processar a entidade, mas não é libertado no final do processo;
- *Delay* - É utilizada quando não se utilizam recursos ou os recursos já estavam previamente ocupados;
- *Delay Release* - O recurso que previamente tenha sido ocupado, é libertado após o processo;
- *Seize Delay Release* - Se o recurso estiver disponível, é utilizado para processar a entidade e é libertado quando o processamento fica concluído.

Para o reprocessamento em questão, qualquer recurso é empregue segundo a lógica *Seize Delay Release*, pelo que é necessário explicitar o tipo de espera durante o qual o recurso é utilizado (*Delay Type*), bem como as unidades de tempo (*Units*) e alocação (*Allocation*). No *Delay Type* pode ser utilizada uma distribuição de probabilidade ou introduzida uma expressão (*Expression*). Para o estudo de caso, como se pretende que o módulo *Process* processe a entidade durante o tempo definido pelo atributo relativo ao tempo desse processo, utilizou-se a opção *Expression* e selecionou-se a opção de

Build Expression. De seguida, seleciona-se o atributo relativo à duração do processo. Para o caso do processo de descontaminação, considera-se o atributo TEMPO_DESC, atribuído previamente a todas as entidades. O atributo é sempre o mesmo, mas o seu valor varia consoante o DM em questão seja individual, CC ou consignado.

O campo *Allocation* permite definir o tipo de processo, nomeadamente:

- *Waiting* - Reflete o impacto do tempo de espera da entidade, bem como do valor inerente à ocupação dos recursos ocupados pela entidade durante esse tempo;
- *Value-Added* - Processo de valor acrescentado para a entidade. Os custos dos processos de valor acrescentado compreendem o custo do tempo que a entidade leva na atividade e dos recursos empregues;
- *Nonvalue-Added* - Típico de processos que não contribuem para acrescentar valor à entidade durante o processamento;
- *Transfer* - Considerado um caso particular de atividade de valor não acrescentado, durante o qual a entidade é transportada;
- *Other* - Utilizada para os processos que não se enquadram em qualquer uma das regras previamente mencionadas.

The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following configuration:

- Name:** Descontaminação
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Seize Delay Release
 - Priority:** Medium(2)
- Resources:**
 - Resource, TOEs DESC, 1
 - <End of list>
- Delay Type:** Expression
- Units:** Minutes
- Allocation:** Value Added
- Expression:** Tempo DESC
- Report Statistics

Figura F. 10 - Processo de descontaminação

Embora o módulo *Process* seja a representação virtual de um processo, por vezes não é suficiente para modelar processos com determinadas especificidades, como, por exemplo, a lavagem de DMs no RUMED. Como foi mencionado na Secção 3.6.1, a lavagem de DMs só tem início quando a lavadora

atinge um limite mínimo de ocupação, que varia consoante a EM ou quando o tempo de espera dos DMs para o início de lavagem é superior a 15 minutos. Para que fosse possível modelar corretamente o processo de lavagem e respetiva condições iniciais, utilizou-se os módulos: *Decide* e *Ajustable Batch*.

O módulo *Decide* foi utilizado para separar as entidades por EM. Existem 4 regras de decisão possíveis: (i) *2-Way by Chance*, (ii) *N-Way by Chance*, (iii) *2-Way by Condition* e (iv) *N-Way by condition*. As duas primeiras regras têm associadas probabilidades, em que a primeira separa as entidades em 2 e a outra separa em N. Há duas saídas possíveis do módulo *Decide*: *True* (verdade) ou *False* (falso) e, por isso, a percentagem introduzida deve corresponder sempre à probabilidade associada à verdade. As últimas duas regras têm associadas condições que podem ser relativas ao tipo de entidade, ao valor de um dado atributo ou entidade ou a uma expressão. Para o caso do processo de lavagem, como os DMs têm uma EM associada através de um atributo de valor 1, foi utilizada a regra *N-Way by condition* (Figura F.11). É importante realçar que para se tomar a decisão quanto ao tipo de lavagem, os atributos têm de já ter sido atribuídos aos DMs.

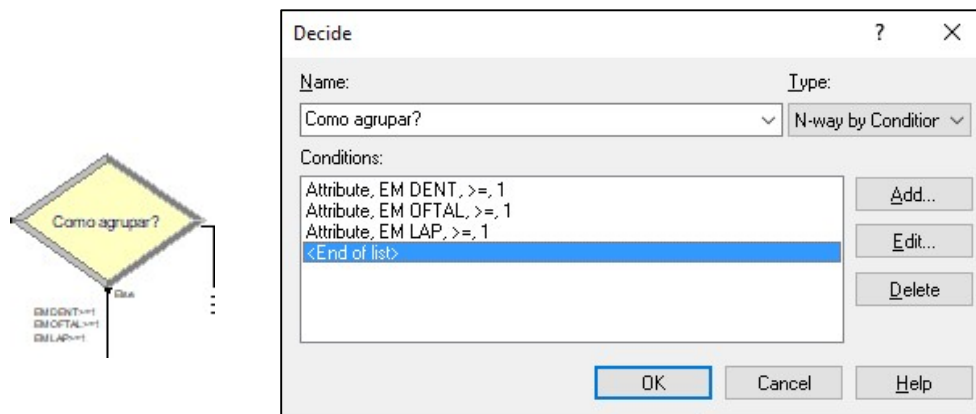


Figura F. 11 - Módulo *Decide* para separação dos DMs consoante o ciclo de lavagem

De seguida, foi utilizado o módulo *Ajustable Batch* para que os DMs fossem agregados em lotes consoante um limite mínimo de ocupação e um tempo de espera máximo para a lavagem de 15 minutos. Para tal, foram utilizados quatro *Ajustable Batches*, um para cada EM (Figura F.12). Os *Ajustable Batches* criados podem ser temporários (*Temporary*) ou permanentes (*Permanent*), consoante os objetivos da modelação. Para o estudo de caso, visto que se tratava de uma agregação temporária, selecionou-se o tipo *Temporary*. No campo *Preferred Batch Size* pode escolher-se a dimensão desejável do lote, que para os DMs de Dentistria correspondente a 3 UTEs. O campo *Partial Batch Method* tem a finalidade de explicitar as condições que limitam a agregação. Estas condições podem ser um tempo máximo de espera (*Maximum Wait Time*) ou um sinal (*Signal*).

Como as entidades são apenas agrupadas em lotes para a lavagem, há necessidade de as separar após este processo. Para fazer esta separação é utilizado o módulo *Separate*, que pode ser de dois

tipos: separa o lote (*Split Existing Batch*) ou duplica as entidades do lote (*Duplicate Original*) (Figura F.13).

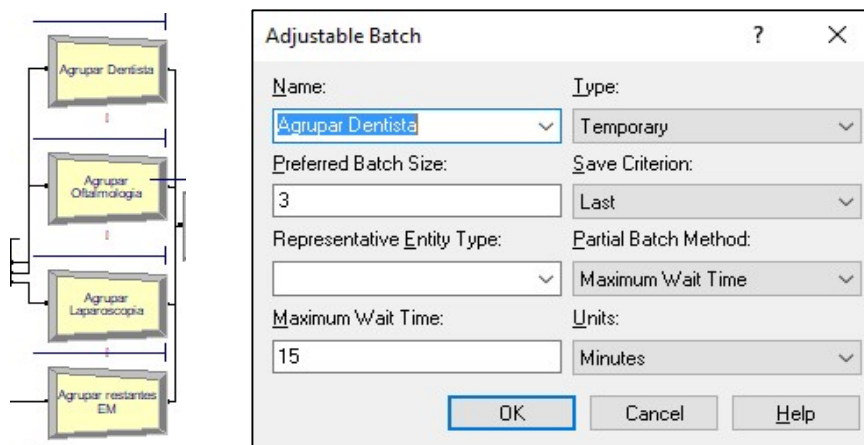


Figura F. 12 - *Adjustable Batch* para os DMs de dentistria

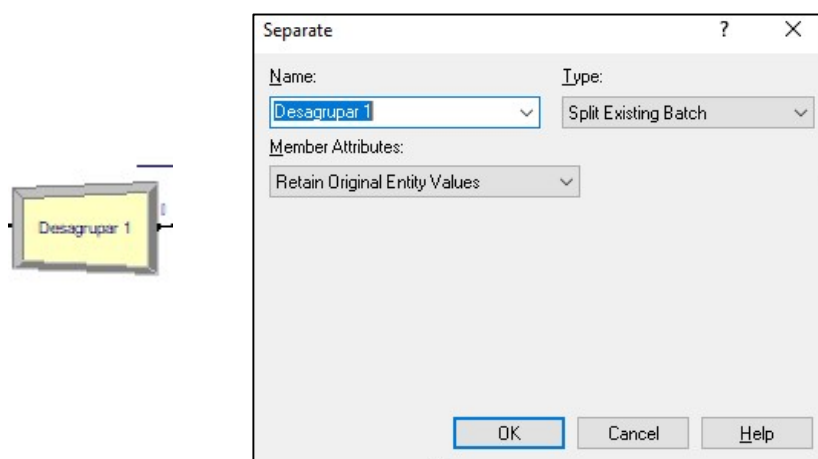


Figura F. 13 - Módulo *Separate* para desagrupar DMs após a lavagem

iii. Prioridades de reprocessamento

Os DMs que entram em primeiro lugar nem sempre são os primeiros a concluir o reprocessamento, pelo que foi necessário estabelecer uma regra dinâmica que refletisse o modo como os DMs são priorizados ao longo do reprocessamento. A regra de priorização foi estabelecida através de um atributo, denominado SLA, determinado pela Equação F.1.

$$SLA = (TNOW - Entity\ Creation\ Time) \tag{F.1}$$

Em que:

- SLA é conhecido para qualquer entidade que entre no RUMED;


- *TNOW* é uma função do Arena que contém o instante atual de simulação;
- *Entity Creation Time* é um atributo que corresponde ao instante de tempo em que a entidade foi criada.

O atributo SLA fica associado a todas as entidades quando chegam ao sistema e reflete a diferença entre o tempo disponível (SLA) e o TC no sistema ($TNOW - Entity\ Creation\ Time$). O objetivo do atributo SLA é definir, de entre um conjunto de DMs em espera, os que têm prioridade para serem reprocessados. Este atributo é associado a cada fila de espera no módulo *Queue* (Figura F.14).

Existem filas de espera (*Queues*) para todos os processos e agrupamentos de DMs. Qualquer fila de espera pode ter umas das seguintes disciplinas:

- *First in First Out* - As primeiras entidades a chegarem a uma dada fila de espera, são as primeiras a sair;
- *Last in First Out* - As últimas entidades a chegarem a uma dada fila de espera, são as primeiras a sair;
- *Highest Attribute Value* - As primeiras entidades a serem processadas são as que têm o maior valor de um atributo;
- *Lowest Attribute Value* - As primeiras entidades a serem processadas são as que têm o menor valor de um atributo.

Para o estudo de caso, considerou-se que as filas de espera seguem a regra *Lowest Attribute Value*, pois quanto maior for a folga, menor a urgência em reprocessar os DMs.



Queue - Basic Process					
	Name	Type	Attribute Name	Shared	Report Statistics
1	Ciclo 4.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Ciclo 8.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Esterilizacao.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Lavagem.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Embalamento.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Inspeção.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	CQ.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Descontaminação.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Agrupar Dentista.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Agrupar Oftalmologia.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Agrupar Laparoscopia.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Agrupar restantes EM.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	CQ individuais.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14 ▶	CQ DMs consignados.Queue	Lowest Attribute Value	SLA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura F. 14 - Filas de espera para dos processos de reprocessamento

iv. Medidas de desempenho

As medidas de desempenho referentes à quantidade de DMs reprocessada (UTE), à quantidade média de DMs em cada fila de espera (UTE), ao tempo médio de espera dos DMs no RUMED, bem como em cada fila de espera e à taxa de ocupação dos recursos são obtidas diretamente de relatórios produzidos pela simulação. No entanto, a medida de desempenho referente ao TC dos DMs de cada US no RUMED foi obtida através do módulo *Record* (Figura F.15). Este módulo regista os valores das medidas de desempenho que se pretendem conhecer e que não constam nos relatórios do Arena. No campo de *Statistic Definitions*, existem cinco formas de registar dados sempre que uma entidade lá passa, nomeadamente:

- *Count* - É definida uma variável de contagem, que é incrementada ou decrementada, conforme o valor especificado;
- *Entity Statistics* - São registadas estatísticas relativas à entidade;
- *Time Interval* - É registada a diferença entre o tempo atual de simulação (*TNOW*) e o valor de um atributo especificado;
- *Time Between* - É registada a diferença entre o tempo atual de simulação (*TNOW*) e o tempo em que a última entidade passou no módulo;
- *Expression* - São recolhidas estatísticas com uma expressão geral, quando da passagem da entidade pelo módulo.

Para o estudo de caso, foi selecionada a opção *Expression* de valor *TNOW - Entity Creation Time*. O *Tally Name* corresponde ao nome que o registo terá nos relatórios do Arena.

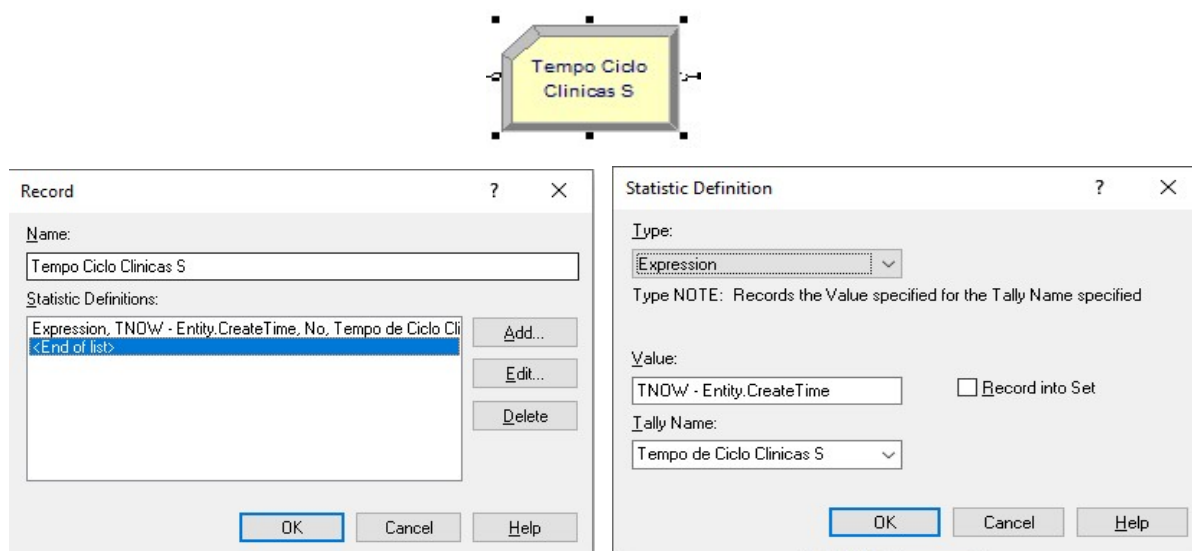


Figura F. 15 - Módulo *Record* para o TC dos DMs da Clínicas S no RUMED

v. Período de simulação e número de replicações

Para a simulação considerou-se que um dia corresponde a 24 horas e que o período de simulação é de 6 dias (segunda-feira a sábado), o que equivale a 144 horas. O sistema é do tipo *Terminating*. Assumiu-se que no início de cada semana não existem DMs da semana anterior por reprocessar e que, por isso, todos os recursos se encontram disponíveis para utilização. Numa fase inicial foram realizadas 75 replicações do sistema.

Anexo G - Diagrama de Pareto

Apesar da sua origem estar relacionada com a área de economia, em particular, com a lei de distribuição dos rendimentos, que sugere que 80% da riqueza se encontra em cerca de 20% da população, atualmente o Diagrama de Pareto também pode ser utilizado noutras situações como, por exemplo: a implantação de melhorias. Tem como principais objetivos (Ahmed et al., 2011):

- Analisar a frequência com que determinadas ocorrências, como: não conformidades, reclamações de clientes, ações de melhoria ou defeitos acontecem.
- Definir de entre um conjunto de ocorrências, quais são as mais significativas.

O Diagrama de Pareto é composto por dois conjuntos de dados:

- Um gráfico de barras em que cada barra corresponde a uma ocorrência a ser analisada. Estas ocorrências são expostas da esquerda para a direita por grau crescente de frequência
- Uma linha que representa a percentagem acumulada da frequência das ocorrências.

Na Figura G.1 está representado um Diagrama de Pareto a título de exemplo. Este diagrama é referente a um estudo de caso cujo objetivo foi investigar quais as não conformidades responsáveis pelos custos relacionados com a assistência técnica numa empresa de refrigeração comercial. Pode observar-se que 83,2% dos custos associados a produtos não conformes em período de garantia relacionaram-se apenas com dois componentes: um compressor com defeito (46,3% dos custos) e uma fita de LED com defeito (36,9% dos custos). Apesar de a fita de LED ser o componente com maior incidência de não conformidades, não foi o componente de maior custo para empresa. O componente que representou maior custo foi compressor com defeito, responsável por 46,3% dos custos totais (Delgado et al., 2015).

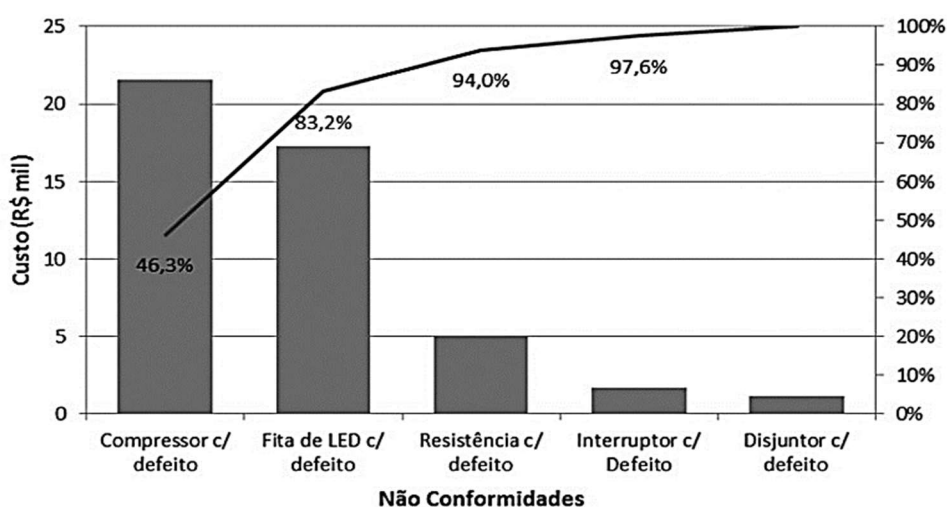


Figura G. 1 - Diagrama de Pareto
Adaptado de: Delgado et al. (2015)

No contexto do estudo de caso, o Diagrama de Pareto revela-se útil por possibilitar medir o impacto das filas de espera e selecionar, de entre as filas de espera, quais são as mais significativas.

Anexo H - Taxas de chegada dos DMs atuais e propostas

As taxas de chegada à zona de descontaminação atuais, bem como as taxas de chegada futura propostas estão representadas na Tabela H.1.

Tabela H. 1 - Taxa de chegada dos DMs atual vs proposta

Horário	Taxa de chegada atual (UTE/h)	Taxa de chegada futura (UTE/h)
08:00 - 09:00	3	5,8
09:00 - 10:00	0,9	0,9
10:00 - 11:00	25,5	8,5
11:00 - 12:00	12,9	8,5
12:00 - 13:00	4,7	8,5
13:00 - 14:00	1,4	8,5
14:00 - 15:00	10,9	9,1
15:00 - 16:00	0	7,7
16:00 - 17:00	0,8	5,4
17:00 - 18:00	19,8	7,4
18:00 - 19:00	16,3	8,7
19:00 - 20:00	0	7,6
20:00 - 21:00	5,3	7,7
21:00 - 22:00	7,4	7,6
22:00 - 23:00	0	7,4
23:00 - 24:00	0	2,4
24:00 - 01:00	30,5	7,6
01:00 - 02:00	0	7,6
02:00 - 03:00	0	7,6
03:00 - 04:00	0	7,7
04:00 - 05:00	0	6
05:00 - 06:00	0	6
06:00 - 07:00	0	6
07:00 - 08:00	2,8	6

Nota: Os valores das taxas de chegadas atuais e propostas não incluem as chegadas dos DMs consignados para utilização.

Anexo I - Plano de reprocessamento

O plano do reprocessamento para os turnos da manhã (Tabela I.1), tarde (Tabela I.2) e noite (Tabela I.3) foi delineado com base nas taxas de chegada propostas com o processo nivelado e no cumprimento do SLA. Por uma questão de confidencialidade, as US estão representadas pelas categorias utilizadas na simulação, ainda assim, foi fornecida informação mais detalhada ao RUMED sobre cada US, cujos DMs estão previstos reprocessar.

Tabela I. 1- Plano de reprocessamento para o turno da manhã

Horário	US	Quantidade a reprocessar (UTE)
08:00 - 09:00	Clínica C	2,6
	Clínica S única	0,2
	Clínica T	0,6
	Hospital S	2,4
09:00 - 10:00	Hospitais C	0,9
10:00 - 11:00	Hospitais C	8,5
11:00 - 12:00	Hospitais C	8,5
12:00 - 13:00	Hospitais C	8,5
13:00 - 14:00	Hospital S	4,7
	Hospitais C	3,8
14:00 - 15:00	Hospitais C	9,1
15:00 - 16:00	Hospital S	7,7

Tabela I. 2 - Plano de reprocessamento para o turno da tarde

Horário	US	Quantidade a reprocessar (UTE)
16:00 - 17:00	Clínica T	0,8
	Clínica S	1,4
	Clínica S única	3,2
17:00 - 18:00	Hospital S	7,4
18:00 - 19:00	Hospitais C	8,7
19:00 - 20:00	Hospital S	7,6
20:00 - 21:00	Hospital S	6
	Hospitais C	1,7
21:00 - 22:00	Clínica C	1,3
	Hospitais C	6,3
22:00 - 23:00	Clínica C	0,8
	Clínica S única	6,6
23:00 - 24:00	Clínica S	2,4

Tabela I. 3 - Plano de reprocessamento para o turno da noite

Horário	US	Quantidade a reprocessar (UTE)
24:00 - 01:00	Hospitais C	7,6
01:00 - 02:00	Hospitais C	7,6
02:00 - 03:00	Hospitais C	7,6
03:00 - 04:00	Hospitais C	7,3
	Hospitais C	0,4
04:00 - 05:00	Consignados	6
05:00 - 06:00	Consignados	6
06:00 - 07:00	Consignados	6
07:00 - 08:00	Consignados	6

Anexo J.1 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário A

Na Figura J.1 está representado o teste emparelhado para a diferença de médias entre os Cenários Original e A, obtido através do *Output Analyzer*.

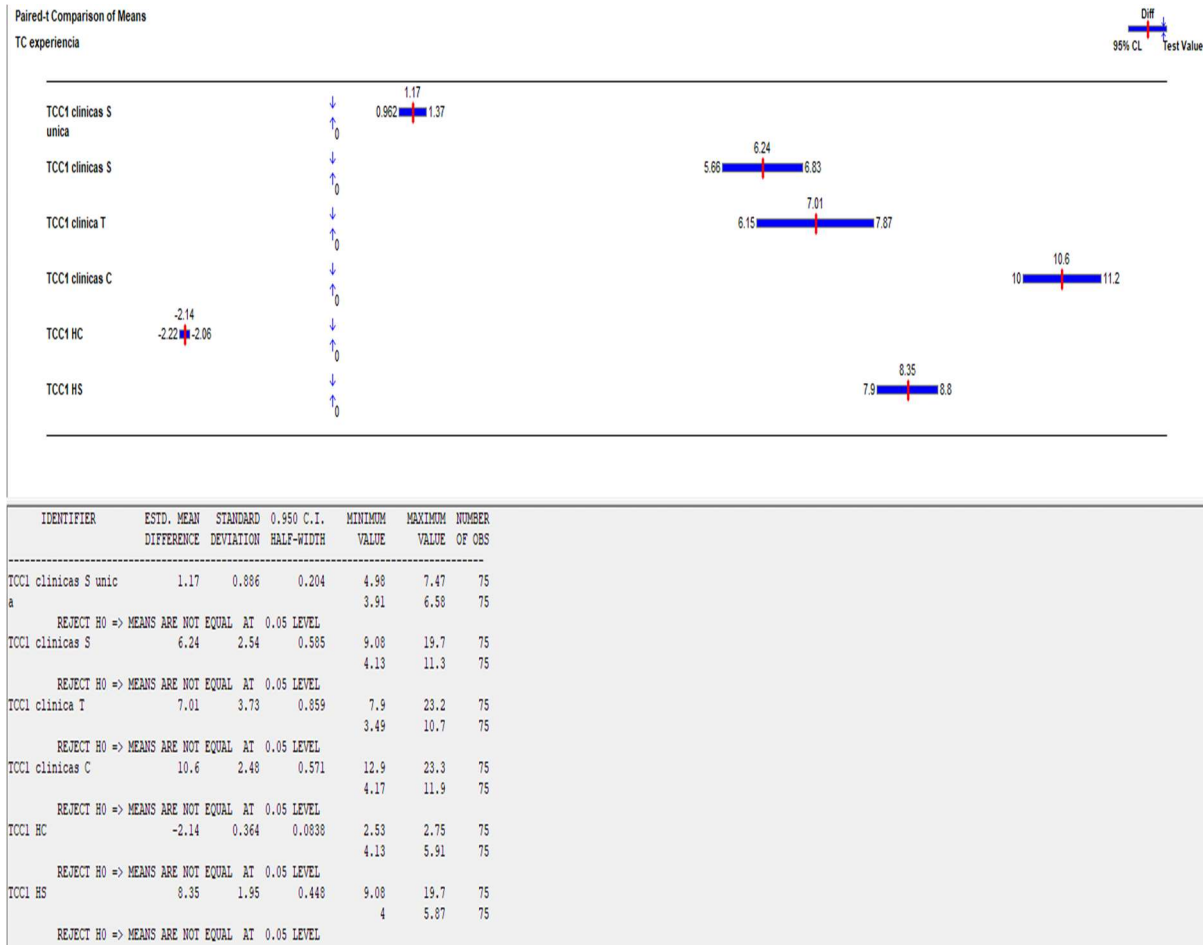


Figura J. 1 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias do Cenário Original e do Cenário A

Anexo J.2 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário B1

Na Figura J.2 está representado o teste emparelhado para a diferença de médias entre os Cenários A e B1, obtido através do *Output Analyzer*.

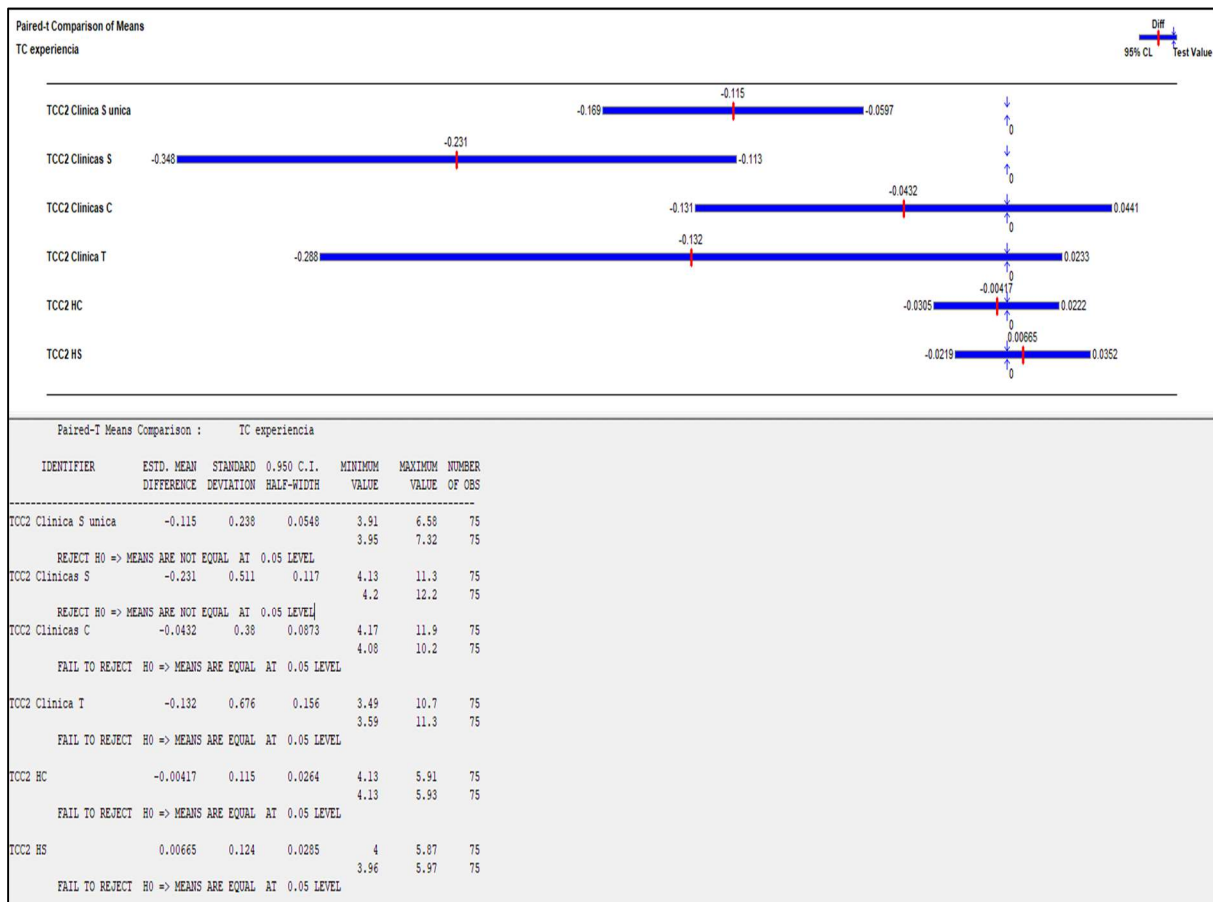


Figura J. 2 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários A e B1

Anexo J.3 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário B2

Na Figura J.3 está representado o teste emparelhado para a diferença de médias entre os Cenários B1 e B2, obtido através do *Output Analyzer*.

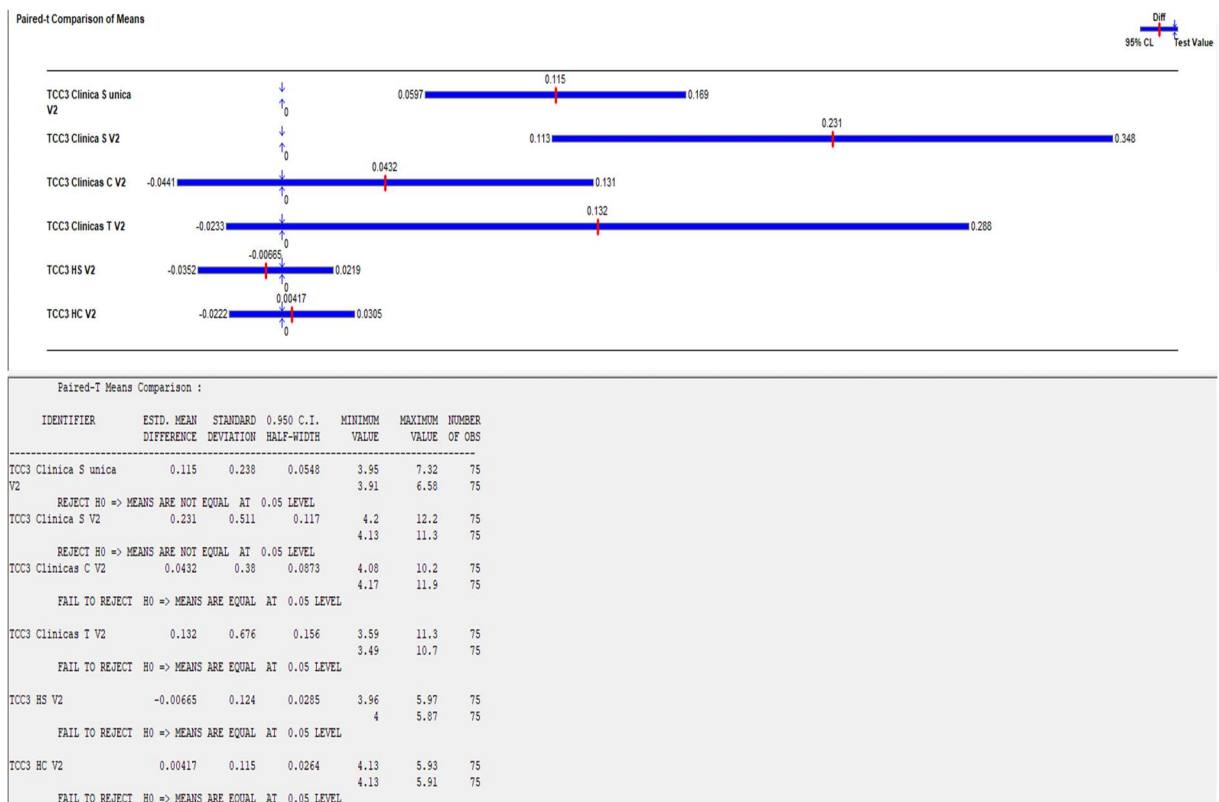


Figura J. 3 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários B1 e B2

Anexo J.4 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário C1

Na Figura J.4 está representado o teste emparelhado para a diferença de médias entre os Cenários B2 e C1, obtido através do *Output Analyzer*.

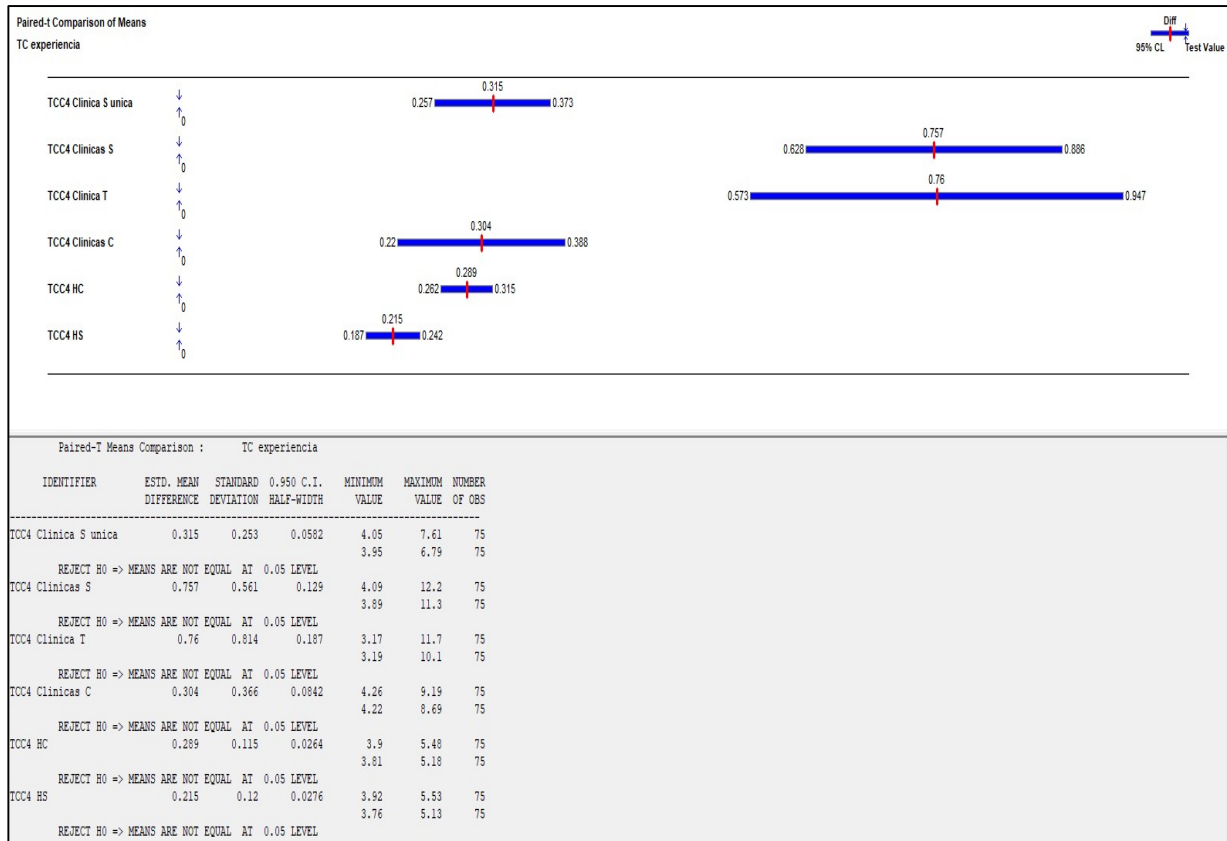


Figura J. 4 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários B2 e C1

Anexo J.5 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário C2

Na Figura J.5 está representado o teste emparelhado para a diferença de médias entre os Cenários C1 e C2, obtido através do *Output Analyzer*.

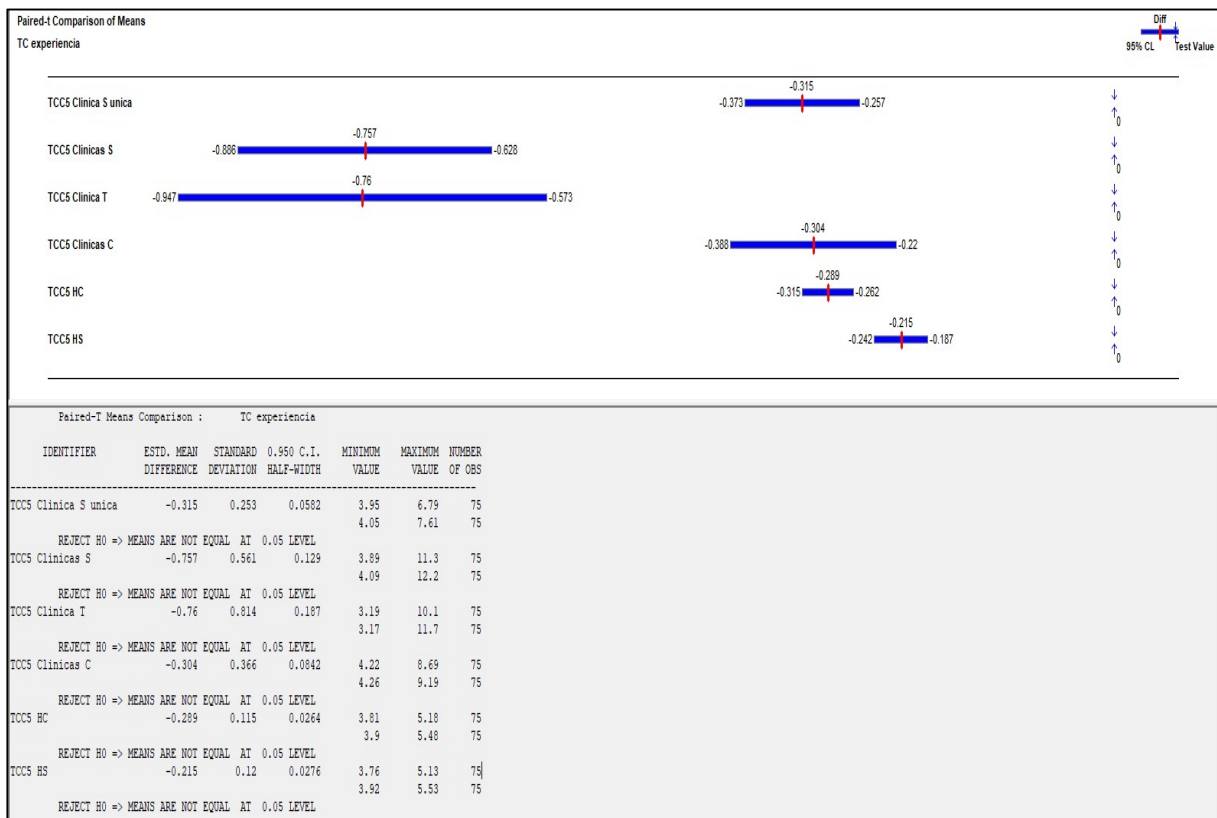


Figura J. 5 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários C1 e C2

Anexo J.6 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias para o Cenário C3

Na Figura J.6 está representado o teste emparelhado para a diferença de médias entre os Cenários C2 e C3, obtido através do *Output Analyzer*.

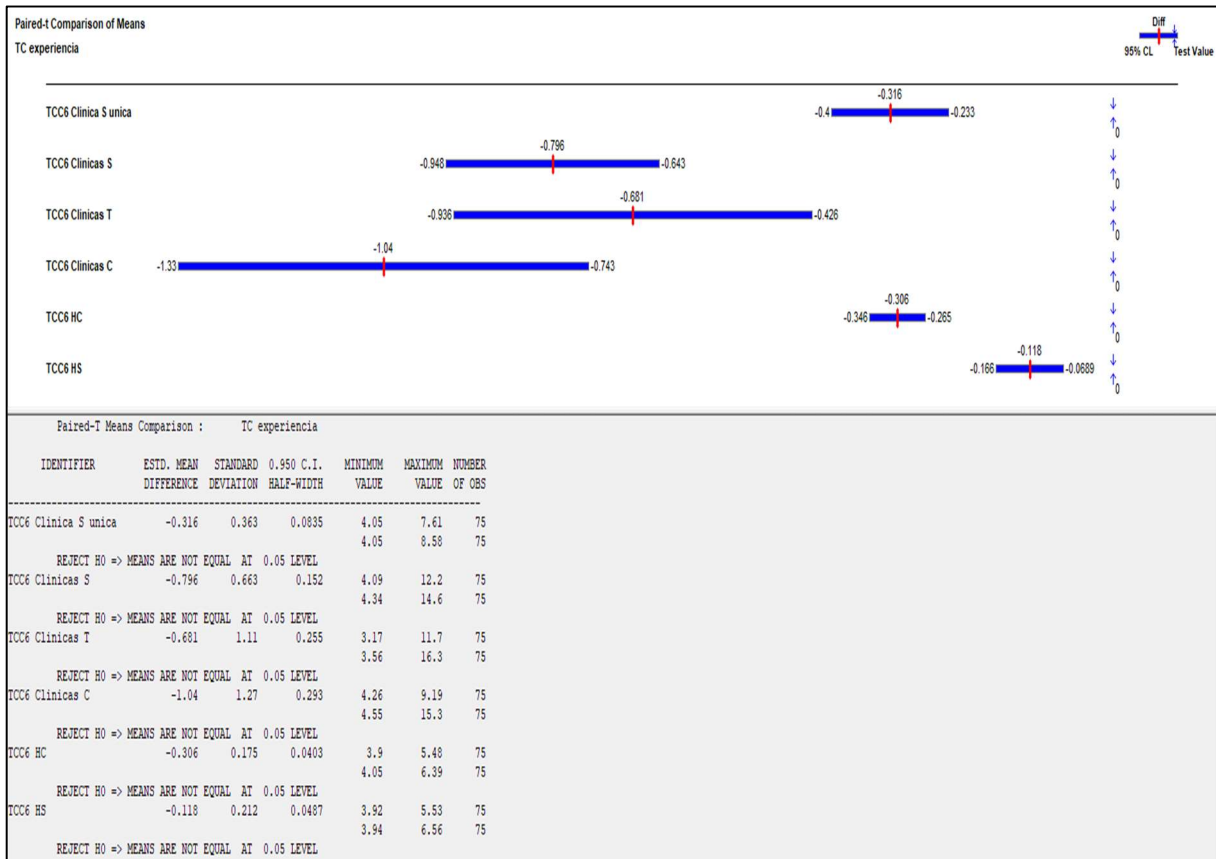


Figura J. 6 - Comparação dos TC obtidos através da diferença de médias dos Cenários C2 e C3

Anexo L - Taxas de ocupação dos TOEs

Ao longo do desenvolvimento dos cenários foram registadas as taxas de ocupação dos TOEs, que constituem a principal restrição do reprocessamento. Nas Figuras L.1, L.2, L.3, L.4, L.5 e L.6 estão representadas as taxas de ocupação dos TOES para Cenários Original, A, B1, B2, C1, C2 e C3, respetivamente. Os resultados foram obtidos através do Output Analyzer.

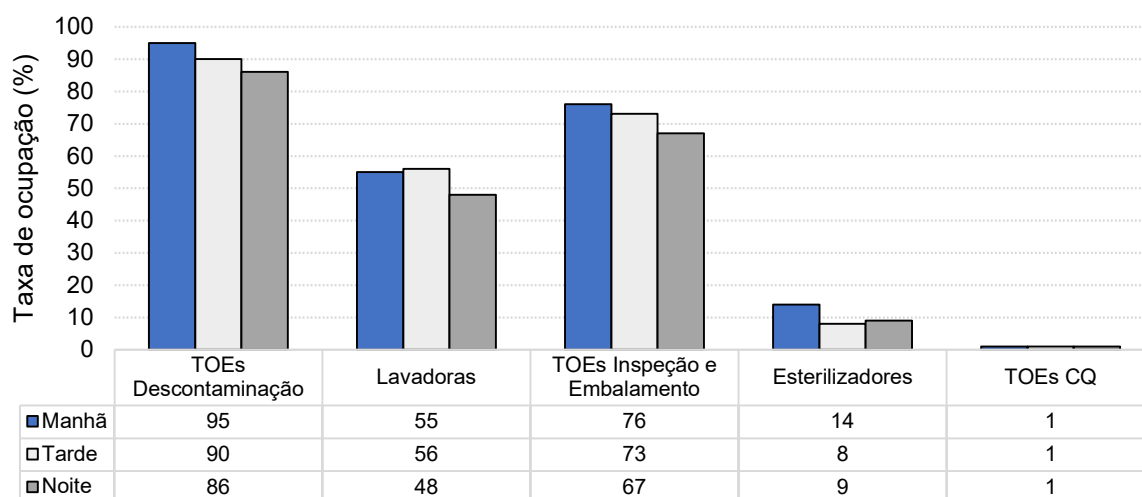


Figura L. 1 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário A

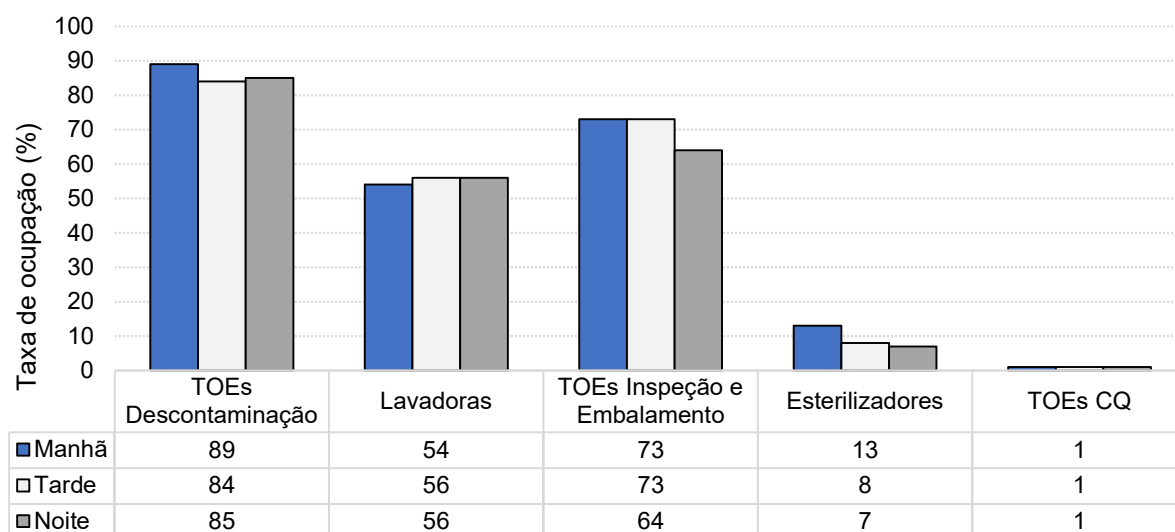


Figura L. 2 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário B1

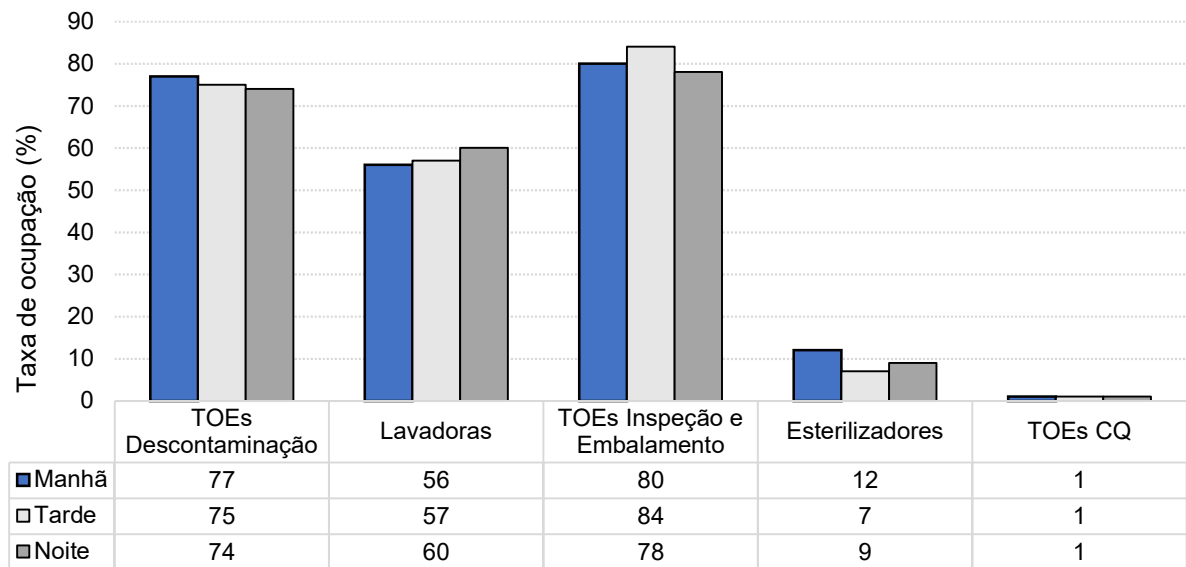


Figura L. 3 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário B2

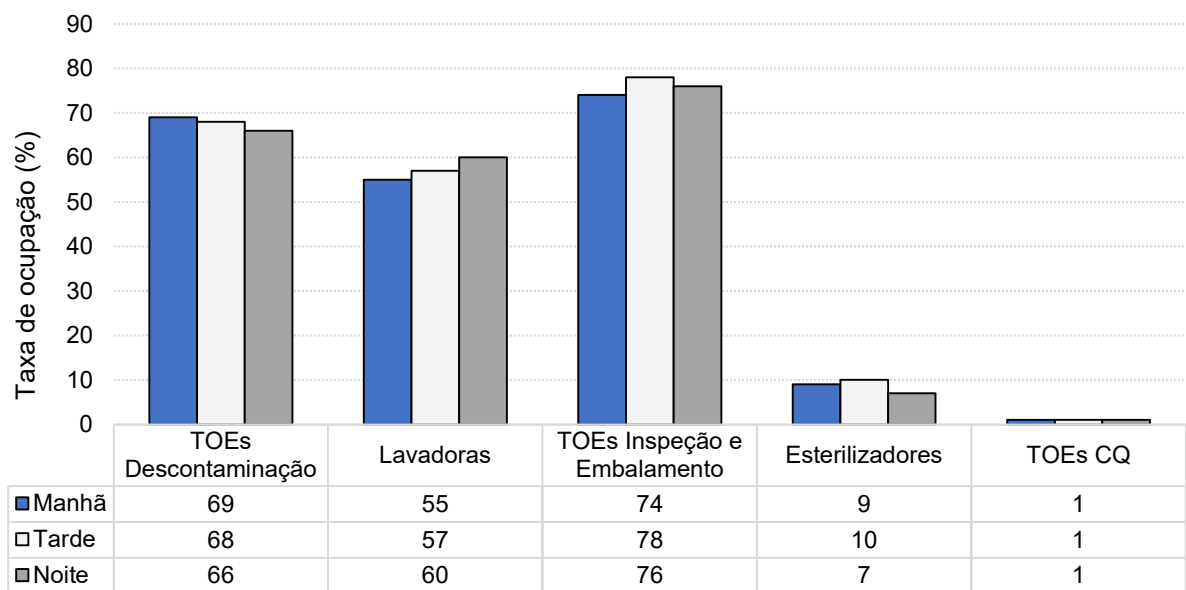


Figura L. 4 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário C1

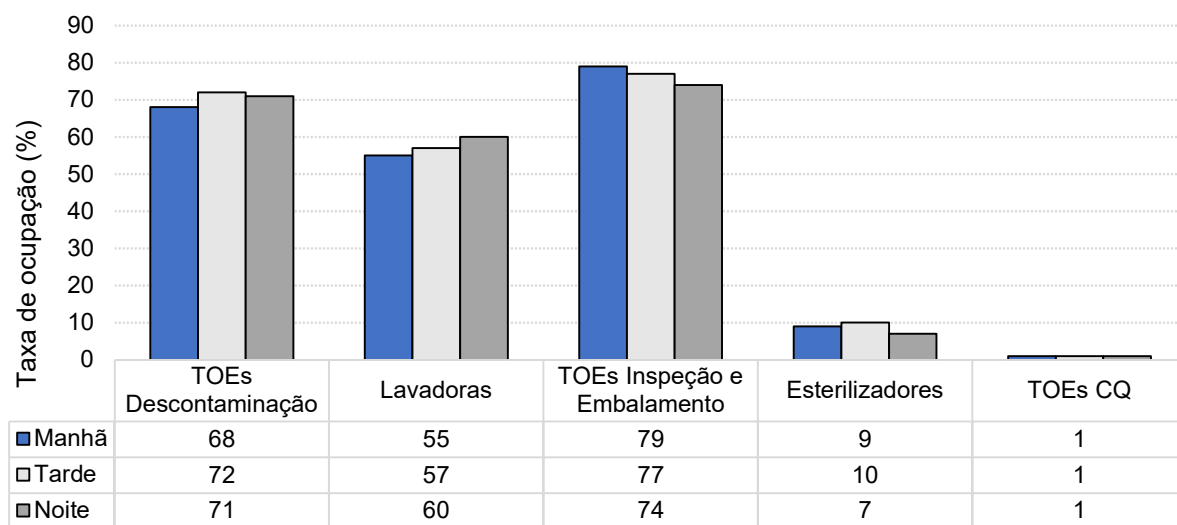


Figura L. 5 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário C2

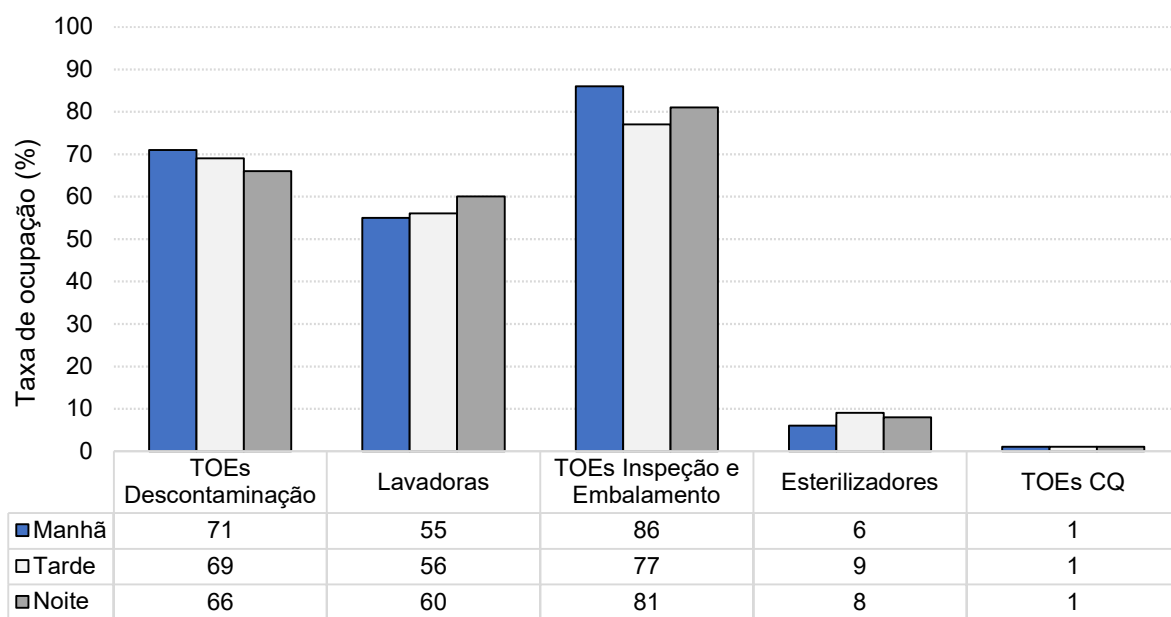


Figura L. 6 - Taxas de ocupação dos TOEs para o Cenário C3