



**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DE LISBOA



## **Integração de Ferramentas Lean, Eco e TRIZ e seu contributo para a sustentabilidade**

Cláudia Cahunda Eduardo Muiambo  
(Licenciada em Engenharia Química e Biológica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia da Qualidade e do Ambiente

Orientadores:

Prof.<sup>a</sup> Doutora Isabel Maria da Silva João  
Prof.<sup>a</sup> Doutora Helena Víctorovna Guitiss Navas

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Miguel Alves da Silva  
Vogais:

Prof.<sup>a</sup> Doutora Anabela Carvalho Alves  
Prof.<sup>a</sup> Doutora Isabel Maria da Silva João

**Junho de 2019**



Cláudia Cahunda Eduardo Muiambo  
(Licenciada em Engenharia Química e Biológica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia da Qualidade e do Ambiente

Orientadores:

Prof.<sup>a</sup> Doutora Isabel Maria da Silva João  
Prof.<sup>a</sup> Doutora Helena Víctorovna Guitiss Navas

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Miguel Alves da Silva

Vogais:

Prof.<sup>a</sup> Doutora Anabela Carvalho Alves  
Prof.<sup>a</sup> Doutora Isabel Maria da Silva João

**Junho de 2019**

Este trabalho foi escrito de acordo com o novo acordo ortográfico

# Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me permitir terminar mais uma etapa da minha vida, toda a honra e glória a Ele!

Em segundo lugar, um agradecimento mais do que especial aos meus pais: Teixeira e Lukembela; as minhas irmãs: Rosita e Sofia; aos meus tios: José e Deolinda e aos meus primos: Luís, Soraia e Bryan. Obrigada pelo investimento feito ao longo do meu percurso académico e da minha formação, pela preocupação demonstrada, pelos incentivos dados nos últimos meses e acima de tudo obrigada por estarem presentes, sempre!

Um obrigado será sempre pouco para agradecer a Prof.<sup>a</sup> Doutora Isabel Maria da Silva João pela sua simpatia e por todo o apoio que recebi da sua parte durante esta longa jornada. As suas orientações foram fundamentais para conseguir terminar o Trabalho Final de Mestrado. Obrigada por estar sempre disponível, pelos conselhos e por toda a ajuda que recebi, obrigada do fundo do meu coração.

Agradeço também a Prof.<sup>a</sup> Doutora Helena Víctorovna Guitiss Navas por toda a ajuda dada e por se mostrar sempre disponível e prestativa ao longo de todo este percurso.

Obrigada ao Laboratório pHarmalab representado pelo Prof. Doutor João Silva e Prof. Doutora Alexandra Costa enquanto coordenadores e aos Mestres João Costa e Anabela Sanches na qualidade de chefe e técnica do laboratório pelo apoio prestado e por se terem disponibilizado prontamente a ajudar em tudo quanto fosse necessário no desenvolvimento do estudo de caso.

Para terminar, agradeço também a todos aqueles que ao longo do tempo se mostraram interessados e entusiasmados com esta fase da minha vida, em especial os meus amigos e familiares mais próximos. Obrigada pelo interesse demonstrado, pelo apoio, pelo encorajamento constante e pelas perguntas frequentes de como estava a correr a tese. Obrigada!

# Resumo

Questões relacionadas com sustentabilidade têm vindo a ser uma preocupação ao longo das últimas décadas merecendo mais atenção por parte de todos os que pretendem reforçar as suas atenções sobre esta temática. Atualmente, a utilização de recursos e meios que permitam garantir essa sustentabilidade apresentam-se como um grande fator a ter em conta na conceção e apresentação de novos produtos, processos, projetos e melhorias de métodos de trabalho pois são de grande importância no que diz respeito aos problemas ambientais que se colocam diariamente e representam um papel preponderante no crescimento económico global.

O objetivo do presente Trabalho Final de Mestrado consistiu no estudo de ferramentas *Lean*, *Eco* e *TRIZ* e o seu contributo para a sustentabilidade.

Numa fase inicial fez-se um levantamento documental do que foi desenvolvido nos últimos anos no que toca a utilização das principais ferramentas utilizadas no *TRIZ* e o seu cruzamento e adaptação ao design sustentável de produtos e processos juntamente com a metodologia *Lean* e *Eco design*, que assenta na preocupação de desenvolver produtos e processos com o menor impacto ambiental possível e que pode auxiliar a reverter os problemas ambientais que são hoje colocados. A metodologia *TRIZ* tem vindo a ser avaliada como um potencial a ser usado no desenvolvimento e uso de produtos e processos ambientalmente sustentáveis. E, da mesma forma, a metodologia *Lean* apoia-se na utilização de técnicas que se concentram na eliminação da ineficiência e de processos de desperdício, evitando a produção de resíduos e assegurado que apenas se produz o que é necessário, quando necessário.

Foram identificadas oportunidades para a utilização dessas mesmas ferramentas e através de um estudo de caso num laboratório de formação de analistas químicos aplicaram-se ferramentas tendo por base as metodologias exploradas. Estas podem ser adaptadas e ter um contributo valioso na criação de um ambiente de trabalho mais sustentável. Este trabalho serve de contributo para analistas químicos, engenheiros, designers e todos os profissionais que se interessem pelo desenvolvimento de processos, produtos, e métodos de trabalho que tenham como base a sua preocupação com a sustentabilidade.

**Palavras chave:** Ferramentas *Lean*, Ferramentas *Eco*, Matriz *MET*, *TRIZ*, *TIPS*, Sustentabilidade.

# Abstract

Issues related to sustainability have been a concern over the last decades deserving more attention on the part of all those who want to reinforce their attention on this theme. Currently, the use of resources and means to guarantee this sustainability are a big factor to be taken into account in the design and presentation of new products, processes, projects and improvements in working methods, since they are of great importance in regard to the environmental problems that arise daily and play a preponderant role in global economic growth.

The objective of the present Final Master's Work consisted in the study of *Lean*, *Eco* and TRIZ tools and their contribution to sustainability.

In an initial phase, a documentary survey was carried out of what was developed in recent years regarding the use of the main tools used in TRIZ and its cross-referencing and adaptation to the sustainable design of products and processes together with the *Lean* and *Eco* design, which is based on the concern to develop products and processes with the lowest possible environmental impact and that can help to revert the environmental problems that are currently posed.

The TRIZ methodology has been evaluated as a potential to be used in the development and use of environmentally sustainable products and processes. Likewise, the *Lean* methodology relies on the use of techniques that focus on the elimination of inefficiency and wasteful processes, avoiding the production of waste and ensuring that only what is needed is produced when necessary.

Opportunities have been identified for the use of these tools and through a case study in an analyst training laboratory the tools were applied based on the methodologies explored. These can be adapted and be a valuable contribution to the creation of a more sustainable work environment. This work serves as a contribute to chemical analysts, engineers, designers and all professionals interested in the development of processes, products and work methods based on they concern with sustainability.

**Keywords:** Lean Tools, Eco Tools, MET Matrix, TRIZ, TIPS, Sustainability,

# Conteúdo

|   |     |
|---|-----|
| Resumo .....  | v   |
| Abstract.....   | vi  |
| Lista de Símbolos e Abreviaturas.....   | ix  |
| Índice de Tabelas .....   | xi  |
| Índice de Figuras.....  | xii |
| 1. Introdução .....   | 1   |
| 1.1. Contextualização.....  | 1   |
| 1.2. Motivação .....  | 2   |
| 1.3. Objetivos do Trabalho.....   | 3   |
| 1.4. Estrutura do Trabalho .....  | 4   |
| 2. Lean, Eco e TRIZ.....  | 6   |
| 2.1. Metodologia <i>Lean</i> .....  | 6   |
| 2.1.1. Origem e pilares do Lean .....   | 6   |
| 2.1.2. Princípios da filosofia <i>Lean</i> .....                                  | 9   |
| 2.1.3. Desperdícios segundo o <i>Lean</i> .....                                   | 11  |
| 2.1.4. Ferramentas de apoio ao <i>Lean</i> .....                                  | 13  |
| 2.2. Eco e sustentabilidade.....  | 17  |
| 2.2.1. Ferramentas Eco .....  | 18  |
| 2.3. Introdução e Origem da metodologia TRIZ .....                                | 22  |
| 2.3.1. TRIZ e os seus conceitos fundamentais .....                                | 26  |
| 2.3.2. Ferramentas TRIZ.....  | 28  |
| 3. Revisão Bibliográfica .....  | 35  |
| 3.1. Contexto da revisão bibliográfica.....                                       | 35  |
| 3.1.1. Evolução do TRIZ .....   | 37  |
| 3.1.2. Eco design e revisões bibliográficas associadas ao TRIZ.....               | 38  |
| 3.1.3. <i>Lean</i> design e revisões bibliográficas associadas ao TRIZ.....       | 39  |
| 3.2. Método de Pesquisa .....   | 39  |
| 3.3. Análise Descritiva .....   | 40  |
| 3.3.1. Evolução da Distribuição das publicações TRIZ e Lean e/ou Eco design ..... | 42  |
| 3.3.2. Conclusões sobre a Revisão Bibliográfica .....                             | 44  |
| 4. Abordagem integradora das ferramentas TRIZ, <i>Lean</i> e Eco Design .....     | 45  |
| 4.1. Ferramentas TRIZ no Eco e Lean Design .....                                  | 45  |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.1. Framework com ferramentas Eco design, <i>Lean</i> e indicadores-chave de desempenho ..... | 47 |
| 4.2. Futuras direções para o uso das Ferramentas TRIZ, <i>Lean</i> e <i>Eco Design</i>           | 48 |
| 5. Caso de Estudo.....   | 50 |
| 5.1. Diagnóstico <i>Lean</i> .....   | 51 |
| 5.1.1. Tipo e classificação de desperdício <i>Lean Lab</i> . .....                               | 52 |
| 5.1.2. Problemas <i>Lean Lab</i> .....   | 56 |
| 5.1.3. Instrumento de recolha de dados .....   | 61 |
| 5.1.4. Tratamento e análise de dados.....  | 62 |
| 5.1.5. Discussão dos resultados <i>Lean Lab</i> .....  | 67 |
| 5.2. Diagnóstico <i>Eco</i> .....  | 69 |
| 5.2.1. Identificação das técnicas .....  | 70 |
| 5.2.2. Matriz MET .....  | 71 |
| 5.2.3. Sugestões de melhoria <i>Eco</i> .....  | 75 |
| 5.3. Abordagem TRIZ.....   | 75 |
| 6. Conclusões e perspetivas futuras .....  | 85 |
| Bibliografia.....  | 89 |
| Anexos .....   | 97 |

# Lista de Símbolos e Abreviaturas

|       |   |
|-------|---|
| ACV   | Avaliação do Ciclo de Vida  |
| AHP   | Analytic Hierarchy Process  |
| ARIZ  | Algorithm for Inventive Problem Solving - Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas |
| CBR   | Case-based reasoning  |
| CP    | Coordenadores de projeto  |
| GC    | Cromatografia Gasosa  |
| GC-HS | Cromatografia Gasosa com Head Space   |
| CT    | Colaboradores Técnicos do laboratório   |
| FCMs  | Fuzzy Cognitive Maps  |
| FMEA  | Failure Mode and Effect Analysis  |
| HPLC  | Cromatografia Líquida de alta eficiência  |
| IFR   | Ideal Final Result  |
| K-F   | Karl-Fisher   |
| LCA   | Life Cycle Assessment   |
| LiDS  | Lifecycle Design Strategies   |
| MET   | Materiais, Energia, Toxicidade  |
| PSD   | Análise de distribuição de tamanho de partículas  |
| QFD   | Quality Function Deployment   |
| RL    | Responsável de laboratório  |
| SMED  | Single Minute Exchange of Die   |
| SOP   | Standard operating procedure  |

|         |  |
|---------|--|
| STP     | Sistema Toyota de Produção   |
| SuField | Substance Field Analysis - Análise Substância-Campo                              |
| TL      | Técnico de laboratório   |
| TRIZ    | Theory of Inventive Problem Solving - Teoria de Resolução Inventiva de Problemas |
| VSM     | Value Stream Mapping   |
| WIP     | Work In Process  |

# Índice de Tabelas

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Tabela resumo 5S (elaboração própria) .....  | 14  |
| Tabela 2 - Níveis de Inovação (adaptado de <sup>[49]</sup> <sup>[50]</sup> ).....   | 23  |
| Tabela 3 - 39 Parâmetros de engenharia (adaptado de <sup>[6]</sup> ).....   | 28  |
| Tabela 4 - 40 Princípios inventivos (adaptado de <sup>[6]</sup> ).....  | 30  |
| Tabela 5 - Simbologia utilizada em modelos gráficos “Substância Campo” (adaptado de <sup>[64]</sup> ).....  | 32  |
| Tabela 6 - Quadro resumo número de artigos (elaboração própria).....  | 41  |
| Tabela 7 - Ferramentas TRIZ em Eco e Lean design e integração com outras ferramentas <sup>[94]</sup> .....  | 45  |
| Tabela 8 - Desperdícios Lean Laboratório (elaboração própria) .....   | 52  |
| Tabela 9 - Nível de classificação Lean (elaboração própria) .....   | 54  |
| Tabela 10 - Diagrama causa-efeito grupo 1 (elaboração própria).....   | 56  |
| Tabela 11 - Diagrama causa-efeito grupo 2 (elaboração própria).....   | 56  |
| Tabela 12 - Diagrama causa-efeito grupo 3 (elaboração própria).....   | 57  |
| Tabela 13 - Diagrama causa-efeito grupo 4 (elaboração própria).....   | 57  |
| Tabela 14 - Diagrama causa-efeito grupo 5 (elaboração própria).....   | 58  |
| Tabela 15 - Diagrama causa-efeito grupo 6 (elaboração própria).....   | 58  |
| Tabela 16 - Diagrama causa-efeito grupo 7 (elaboração própria).....   | 59  |
| Tabela 17 - Diagrama causa-efeito grupo 8 (elaboração própria).....   | 59  |
| Tabela 18 - Quadro resumo das respostas do questionário (elaboração própria) .....  | 62  |
| Tabela 19 - Percentagem Lean e não Lean por tipo de desperdício (elaboração própria).....   | 63  |
| Tabela 20 - Frequência absoluta, Frequência ponderada e Frequência acumulada das respostas não Lean por cada tipo de desperdício (elaboração própria) ..... | 65  |
| Tabela 21 - Percentagem e nível Lean por desperdício (elaboração própria) .....   | 67  |
| Tabela 22 - Matriz MET adaptada para a técnica HPLC (elaboração própria) .....  | 72  |
| Tabela 23 - Matriz MET adaptada para a técnica Titulação (elaboração própria).....  | 72  |
| Tabela 24 - Quantidade de resíduos produzido por curso (elaboração própria).....  | 74  |
| Tabela 25- Matriz de contradição Lean e Eco (elaboração própria) .....  | 77  |
| Tabela 26 - 40 Princípios Inventivos adaptados ao pHarmalab (elaboração própria) ..   | 78  |
| Tabela 27 - Matriz MET adaptada para a técnica Karl-Fisher Coulômetria (elaboração própria).....  | 116 |
| Tabela 28 - Matriz MET adaptada para a técnica Karl-Fisher Voulometria (elaboração própria).....  | 117 |
| Tabela 29 - Matriz MET adaptada para a técnica Cromatografia Gasosa (elaboração própria).....   | 118 |
| Tabela 30 - Matriz MET adaptada para a técnica Cromatografia Gasosa Head Space (elaboração própria).....  | 119 |
| Tabela 31 - Matriz MET adaptada para a técnica Análise de distribuição de tamanho de partículas-via seca (elaboração própria).....                          | 120 |
| Tabela 32 - Matriz MET adaptada para a técnica Análise de distribuição de tamanho de partículas via húmida (elaboração própria) .....                       | 121 |

# Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Sistema de Produção Toyota (adaptado de <sup>[12]</sup> ) .....                      | 7  |
| Figura 2 - Princípios <i>Lean</i> (adaptado de <sup>[19]</sup> ) .....                          | 9  |
| Figura 3 - Exemplo diagrama Causa-Efeito <sup>[38]</sup> .....                                  | 16 |
| Figura 4 - Exemplo aplicação Lids Wheel (adaptado de <sup>[45]</sup> ) .....                    | 20 |
| Figura 5 - Abordagem TRIZ (adaptado de <sup>[48]</sup> ) .....                                  | 25 |
| Figura 6 - Visão da abordagem TRIZ <sup>[53]</sup> .....  | 25 |
| Figura 7-Sistema completo <sup>[63]</sup> .....   | 32 |
| Figura 8 - Problema 1 e solução padrão 1 <sup>[63]</sup> .....                                  | 33 |
| Figura 9 - Problema 2 e solução padrão 2 <sup>[63]</sup> .....                                  | 33 |
| Figura 10 - Problema 3 e solução padrão 3 <sup>[63]</sup> .....                                 | 34 |
| Figura 11 - Número de artigos publicados por revista ou conferência <sup>[94]</sup> .....       | 41 |
| Figura 12 - Evolução cronológica dos artigos entre 1997 e 2017 <sup>[94]</sup> .....            | 42 |
| Figura 13 - Número de artigos ou de conferências por tema <sup>[94]</sup> .....                 | 43 |
| Figura 14 - Framework para combinar Eco, e Lean KPI's e TRIZ <sup>[94]</sup> .....              | 47 |
| Figura 15 - Diagrama Causa-Efeito Desperdícios no Laboratório (elaboração própria)60            |    |
| Figura 16 - Excerto do instrumento de Diagnóstico Lean Lab .....                                | 61 |
| Figura 17 - % Resposta Lean por pessoa e por tipo de desperdício (elaboração própria) .....     | 63 |
| Figura 18 - Comparação respostas Lean entre coordenadores de projeto (elaboração própria) ..... | 64 |
| Figura 19 - Comparação respostas Lean entre CT_laboratório (elaboração própria) ..              | 64 |
| Figura 20 - Diagrama de Pareto (elaboração própria) .....                                       | 66 |

# 1. Introdução

O primeiro capítulo deste trabalho tem como propósito contextualizar o tema do trabalho final de mestrado, apresentar as motivações para a realização do trabalho, bem como os objetivos e a estrutura do mesmo.

## 1.1. Contextualização

A melhoria eficiente do uso dos recursos aliada a um melhor desempenho ambiental já faz parte da preocupação e da agenda de muitas organizações da atualidade, no entanto, nesta procura incessante de melhoria contínua com foco na maximização da eficiência e redução de impactos ambientais as organizações redescobrem-se e reinventam-se num esforço de adaptação a ambientes em constante mudança <sup>[1][2]</sup>. Neste ambiente de elevada complexidade e de constante adaptação a utilização de ferramentas *Lean*, *Eco* e *TRIZ* podem constituir um apoio incondicional às organizações e ao seu desenvolvimento na procura de soluções mais sustentáveis e inovadoras.

Muito se tem vindo a falar nas últimas décadas em desenvolvimento sustentável e este conceito está ligado à procura de práticas mais conscientes que visem o desenvolvimento sem penalização do meio ambiente, preservando os recursos finitos do planeta.

O desenvolvimento tecnológico apresenta-se como um grande fator a ter em conta na inovação de produtos, processos e métodos de trabalho. No entanto, e ao mesmo tempo que ao longo das últimas décadas esse desenvolvimento tem vindo a representar um papel preponderante no crescimento económico global, também se tem manifestado como um fator de grande relevância no que diz respeito aos problemas ambientais que se colocam diariamente. A dimensão ambiental atualmente representa uma dimensão fundamental no contexto de inovação e não pode ser separada das restantes dimensões no que toca à inovação e melhoria de produtos, processos e métodos de trabalho <sup>[3]</sup>.

As ferramentas *Eco* assentam na preocupação de desenvolver/melhorar produtos, processos e métodos de trabalho com o menor impacto ambiental possível auxiliando a reverter os problemas ambientais que são hoje colocados a nível global <sup>[4]</sup>. Estas ferramentas têm um

papel importante no que toca a possíveis interações dos produtos e processos com o meio ambiente ao longo de todo o seu ciclo de vida. É fundamental que se considerem os fatores ambientais em adição aos requisitos tecnológicos e de mercado.

As ferramentas Lean apoiam-se na utilização de técnicas que se concentram na eliminação das ineficiências e minimização de desperdícios, assegurando que apenas se produz o que é necessário, quando necessário e conforme apropriado. As ferramentas Lean constituem assim uma forma de tornar as organizações mais competitivas e ágeis levando a melhoria contínua. A melhoria contínua tem como principal objetivo melhorar os processos e métodos de trabalho e a performance das organizações com foco em melhorias que envolvem baixos investimentos [5].

O TRIZ é uma sigla russa que em inglês é reconhecida pelo acrónimo TIPS que significa “Theory of Inventive Problem Solving”. O TRIZ inclui um conjunto de ferramentas para a geração de novas ideias e soluções para a resolução de problemas e pode ser aplicado desde a formulação de problemas, análise de sistemas, análise de falhas até padrões de evolução de sistemas [6].

A aplicação conjunta dos princípios *Lean*, da metodologia TRIZ e da visão Eco pode auxiliar as organizações na redução de desperdícios e ineficiências, na melhoria de produtos, na melhoria de processos e na melhoria de métodos. Tudo isso utilizando a inovação sistemática sempre com foco na redução de impactos ambientais e maximização de valor acrescentado.

## **1.2. Motivação**

Com o presente trabalho pretende-se aprofundar o conhecimento sobre a utilização conjunta de ferramentas de *Lean*, Eco e TRIZ pois apesar da metodologia TRIZ, desenvolvida por Genrich Altshuler e seus colaboradores a partir de 1946, ter tido uma enorme divulgação e utilização a partir dos anos 80 - especialmente após se ter formado a Associação TRIZ - não está claro até que ponto investigadores e profissionais têm vindo a fazer uso de abordagens conjuntas considerando não só os benefícios da TRIZ, mas fundamentalmente os benefícios do *Lean* e do Eco integrados no desenvolvimento e melhoria de produtos, processos e metodologias de trabalho. Pretende-se assim com este trabalho:

- Efetuar em primeiro lugar um levantamento bibliográfico e saber até que ponto a investigação existente sobre iniciativas de Eco e *Lean*, direcionadas para o design vêm associadas ao uso de ferramentas TRIZ.
- Fazer um levantamento das ferramentas mais populares no sentido de propor uma abordagem integradora que propicie a utilização de ferramentas *Lean*, Eco e TRIZ e que possa contribuir para uma maior sustentabilidade das organizações.
- Utilizar um caso real para estudo e aplicação deste tipo de ferramentas constituindo uma prova da utilidade deste tipo de ferramentas e do contributo que podem ter para a sustentabilidade das organizações.

### **1.3. Objetivos do Trabalho**

O grande objetivo deste trabalho consiste em propor uma abordagem abrangente que englobe as ferramentas de *Lean*, Eco e TRIZ e que possa auxiliar na resolução de problemas e melhoria da eficiência contribuindo para o aumento da sustentabilidade das organizações. A abordagem a desenvolver poderá dar apoio quer na conceção e desenvolvimento de novos/melhorados produtos, quer no desenvolvimento e melhoria de processos tornando-os mais sustentáveis ou no desenvolvimento/melhoramento de métodos de trabalho e práticas que visam uma maior preocupação com a sustentabilidade. De forma a tornar possível o desenvolvimento dessa abordagem constitui objetivo específico do trabalho o levantamento das principais ferramentas *Lean*, Eco e Triz e sua integração numa abordagem geral a usar pelas organizações de forma a promover a sua sustentabilidade. Constitui ainda objetivo do trabalho a utilização de algumas dessas ferramentas com base num estudo de caso a desenvolver num laboratório de análises químicas. Assim os principais objetivos são:

- 1) Explicar as principais ferramentas de *Lean*, Eco e TRIZ
- 2) Documentar o que está a ser feito atualmente no campo do *Lean* e do Eco, direcionados para o design, e o seu cruzamento com a metodologia TRIZ enquanto metodologia de inovação sistemática. Para tal constitui objetivo deste trabalho a realização de uma revisão bibliográfica que cubra as últimas duas décadas.

3) Desenvolvimento de uma abordagem integradora que englobe as ferramentas de *Lean*, *Eco* e *TRIZ* e que possa auxiliar na resolução de problemas e melhoria da eficiência contribuindo para o aumento da sustentabilidade das organizações.

4) Utilização de algumas ferramentas preconizadas na abordagem, com base num estudo de caso a desenvolver num laboratório de formação de analistas químicos, de forma a auxiliar na resolução de possíveis problemas existentes que não contribuam para a sustentabilidade do laboratório.

## 1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado num conjunto de seis capítulos. O primeiro capítulo constitui a introdução onde se faz uma contextualização do trabalho e onde se explica a motivação para a realização do mesmo. Também são explicados os objetivos do trabalho, bem como a sua estrutura.

A restante parte do trabalho é constituída pelos capítulos de 2 a 6.

No **capítulo 2** são definidos os conceitos de *Lean*, *Eco* e *TRIZ* e descritas de uma forma resumida as principais ferramentas. Para tal o capítulo é subdividido num conjunto de 3 subcapítulos cada qual abordando os principais métodos e ferramentas destas 3 áreas.

No **capítulo 3** é feita uma revisão bibliográfica sobre os métodos *TRIZ* e ferramentas *TRIZ* aplicadas ao *Eco design* e ao *Lean design* no desenvolvimento e melhoria de produtos e processos. O trabalho de revisão efetuado e os trabalhos recolhidos no âmbito desta revisão bibliográfica dizem respeito ao horizonte temporal dos últimos 20 anos. Para a pesquisa da literatura científica relevante sobretudo no cruzamento entre as áreas utilizou-se a reconhecida base de dados *Web of Science* no período compreendido entre 1997 e 2017. Neste capítulo é feita a análise descritiva dos trabalhos recolhidos e analisados com a identificação do número de trabalhos publicados por revista/conferência da especialidade. É representada a evolução cronológica dos trabalhos até 2017.

No **capítulo 4** é feita a proposta de uma abordagem integradora que englobe as ferramentas de *Lean*, *Eco* e *TRIZ* e que possa auxiliar na resolução de problemas e melhoria da eficiência contribuindo para o aumento da sustentabilidade das organizações. Para tal e por recurso a revisão de literatura efetuada no capítulo 3 os artigos e *proceedings* de trabalhos

apresentados em conferências foram agregados evidenciando as ferramentas de TRIZ mais utilizadas de acordo com a revisão bibliográfica efetuada, bem como a utilização de ferramentas TRIZ com outras ferramentas de Eco e ferramentas *Lean*. Com base nas ferramentas mais utilizadas propõe-se um modelo genérico cuja estrutura foi desenvolvida tendo por base a análise da revisão bibliográfica efetuada.

No **capítulo 5** é apresentado um estudo de caso desenvolvido num laboratório de formação de analistas químicos - pHarmalab. Neste caso de estudo serão aplicadas algumas das ferramentas preconizadas na abordagem descrita no capítulo 4 com o intuito de efetuar um diagnóstico *Lean* laboratorial e também efetuar um levantamento qualitativo dos aspetos ambientais a nível laboratorial. Com base no diagnóstico sobre os principais problemas a resolver quer a nível dos principais tipos de desperdícios *Lean* quer a nível ambiental (i.e., materiais, energia, toxidade) propõe-se a utilização do TRIZ enquanto metodologia de inovação sistemática para a procura de soluções que possibilitarão a resolução de problemas e um contributo para a sustentabilidade.

No **capítulo 6** serão retiradas as principais conclusões deste trabalho e perspetivas de trabalho futuro.

De seguida serão apresentados os anexos.

Anexo I – 39 Parâmetros de Engenharia

Anexo II – 40 Princípios Inventivos

Anexo III – Matriz TRIZ

Anexo IV – Diagnóstico *Lean* Lab

Anexo V – Matriz MET

## 2. Lean, Eco e TRIZ

O capítulo 2 aborda a metodologia *Lean*, Eco e TRIZ. São introduzidos os seus conceitos, as suas principais abordagens, e são apresentadas algumas das suas fundamentais ferramentas.

### 2.1. Metodologia *Lean*

*Lean* é uma metodologia de melhoria que inclui um conjunto de técnicas que se concentram na eliminação das ineficiências e na redução e eliminação de desperdícios de forma continuada. Um processo de desperdício é qualquer atividade que consome recursos e não adiciona valor. É necessário assegurar que apenas se produz o que é necessário, quando necessário e conforme apropriado [7]. No decurso das últimas décadas as organizações dos vários setores de atividade têm vindo a utilizar o *Lean* como forma de transformar a sua realidade de gestão e potenciar os seus resultados. As ferramentas e técnicas *Lean* têm vindo a ser exploradas com um interesse crescente quanto às questões de um desenvolvimento global mais sustentável [8].

#### 2.1.1. Origem e pilares do *Lean*

Foi com a base do Sistema Toyota de Produção (STP) que a filosofia *Lean* se desenvolveu. Este sistema gerou um conjunto de políticas padrão, com práticas bem-sucedidas, que permitiram que a empresa se destacasse na crise provocada pelo choque do petróleo que assolou a economia em 1973. A Toyota começou a ser reconhecida mundialmente a partir desta crise do petróleo cujo aumento vertiginoso do preço do barril assolou completamente toda a economia mundial e num meio onde muitas empresas enfrentavam enormes prejuízos ou simplesmente não sobreviviam, a Toyota surgia praticamente ilesa dos efeitos da crise tendo despertado a curiosidade de organizações de todo o mundo.

Com esta filosofia de gestão conseguiram produzir mais, em menos tempo, e com melhor qualidade. O resultado obtido foi devido a sua forma de trabalho, que não trabalhava mais que os outros, simplesmente trabalhava melhor, isto é, de uma forma mais organizada, sistematizada e planeada. Ohno definiu o STP como a procura incessante da eliminação de perdas (i.e., MUDA

em japonês) que na linguagem de engenharia consagrada pela Toyota significa eliminar todas as atividades desnecessárias que geram custos e não acrescentam valor <sup>[9]</sup>.

O *Lean* é assim uma filosofia de gestão inspirada em práticas e resultados do Sistema Toyota e segundo Ohno, o modelo do Sistema Toyota de Produção (STP), focado na redução de desperdícios, é sustentado por dois “pilares”: *Jikoda* (automação) e o *Just-in-time* <sup>[10]</sup><sup>[11]</sup>, tal como se encontra representado na figura 1.

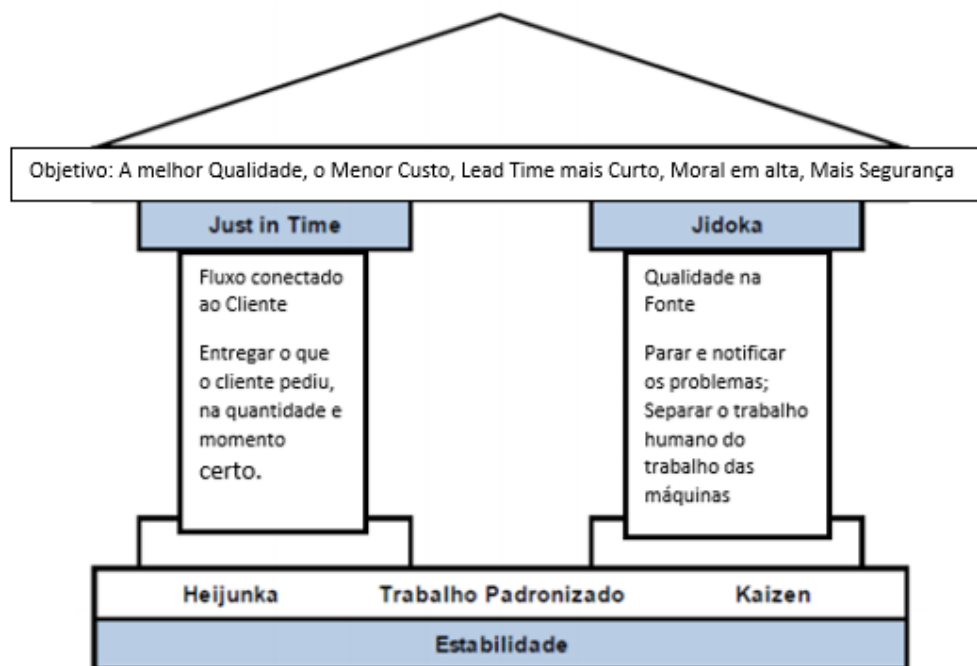


Figura 1 - Sistema de Produção Toyota (adaptado de <sup>[12]</sup>)

O conceito "*Just-in-Time*," é um conceito em que cada processo da linha de montagem, produz apenas o que é estritamente necessário em fluxo contínuo do produto. Aponta para uma melhoria da produtividade em que se pode adotar o lema: “Produzir apenas o que é estritamente necessário, quando é necessário e em quantidade necessária” (utilizado para reduzir o inventário e produzir sob encomenda) <sup>[11]</sup>. A linha de produção deve garantir uma produção de qualidade, com um sistema eficiente e que elimina os desperdícios.

Para este objetivo, é preciso considerar os componentes deste pilar que são o *takt time*, o Fluxo Contínuo e o Sistema puxado.

O takt *time* (i.e., tempo disponível de produção por número de unidades a produzir em função da procura) informa de quanto em quanto tempo o mercado pede em média uma unidade do produto em causa, durante o seu período de produção. A palavra *Takt* tem origem alemã e o seu significado prende-se com o compasso de uma composição musical tendo sido introduzido no japão com o sentido de “ritmo de produção” [13].

O processo de produção é considerado de fluxo contínuo quando o processo flui de forma contínua, sem paragens entre as etapas do processo de fabrico. Este método elimina formas de desperdício como: inventários, tempo de espera e transporte. Tal permite diminuir o *lead time*, reduzindo significativamente o tempo de não processamento e eliminando o *work in process* (WIP) [14].

O sistema puxado encontra-se relacionado com a forma como é feita a programação do material a ser utilizado, onde o ponto inicial de fabrico corresponde a solicitação do cliente e o ponto final ao início do processo de produção de um determinado item, seguindo o processo inverso ao sistema tradicional. Desse modo, a produção tem início a partir de uma linha de pedidos que são efetuados de trás para frente, e onde o material somente é processado para uma operação se ele for de facto requerido [15]. O sistema puxado é de difícil implementação pois para que funcione devidamente é necessário que todo o sistema esteja preparado para poder trabalhar sem interrupções.

Para que o sistema *JustinTime* funcione, tudo o que é produzido têm que estar dentro dos padrões de qualidade. Isto pode ser atingido através do *jidoka* (também conhecido como automação com um toque humano), que significa a paragem da máquina, quando completa o processo normal. Também significa, que caso um problema de equipamento ou qualidade surja, a máquina deteta o problema e para imediatamente, prevenindo a produção de produtos com defeito. Como resultado, apenas produtos que satisfazem os níveis de qualidade passam nos processos da linha de montagem [11].

A estabilidade do modelo de produção do sistema Toyota (figura 1) é garantida pelo nivelamento da produção ou *Heijunka*, a melhoria contínua (*kaizen*) e o trabalho padronizado.

O objetivo do *Heijunka* é criar um fluxo de pedidos nivelados a um nível de carga de trabalho, isso é, é produzir bens intermediários a uma taxa constante para que o processamento adicional também possa ser realizado a uma taxa constante e previsível, mantendo assim o fluxo

de pedidos e a carga de trabalho sob controle e ao mesmo nível <sup>[16]</sup>. A carga de trabalho é necessária para se saber a quantidade de stocks que devem ser armazenados.

O *kaizen*, também considerada por muitos como uma ferramenta *Lean*, é uma filosofia que ajuda a garantir a máxima qualidade, a eliminação de desperdícios e melhorias na eficiência, tanto em termos de equipamentos, como de procedimentos de trabalho através da promoção de melhorias no trabalho padronizado que ajudam a maximizar a produtividade em cada local de trabalho <sup>[17]</sup>.

Quando a carga de trabalho é nivelada, é possível promover a padronização dos processos <sup>[11]</sup>. O trabalho padronizado envolve seguir os procedimentos de forma consistente para assim, se identificar e resolver prontamente os problemas.

### 2.1.2. Princípios da filosofia *Lean*

É preciso ter em conta que *Lean* é muito mais do que apenas um conjunto de ferramentas de solução de problemas e que se baseia numa base de princípios concebidos não apenas para quantificar e eliminar o desperdício, mas também para ajudar as empresas a mudarem para melhores formas de realizarem os seus negócios, o irá trazer um impacto positivo na saúde financeira de cada negócio e da empresa, garantido assim a sua “sobrevivência” e competitividade <sup>[18]</sup> <sup>[5]</sup>.

Os vários princípios do *Lean* podem ser representados de uma forma cíclica tal como ilustrado na figura 2.

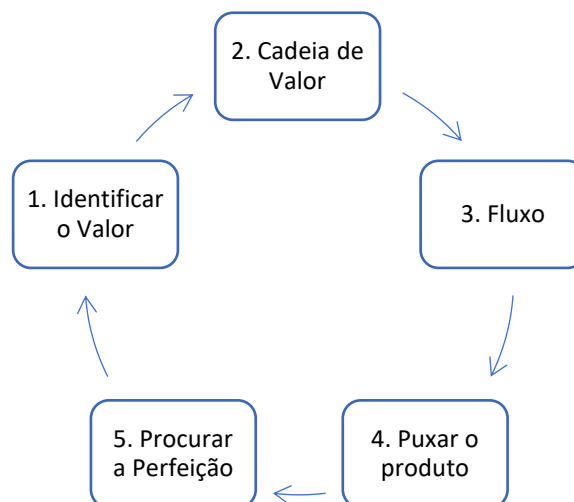


Figura 2 - Princípios *Lean* (adaptado de <sup>[19]</sup>)

Womack e Jones compilaram os cinco princípios do *Lean* <sup>[20]</sup>:

**1. Valor** - Compreender o que o cliente está disposto a pagar. O valor é sempre definido pelo cliente e é categorizado de três maneiras: atividade de adição sem valor (desperdício), atividade de adição de valor agregado (não agregam valor ao cliente, como atender aos requisitos normativos) e atividade de adição de valor comercial.

**2. Cadeia de valor** - Mapeamento do processo, etapas ou sequência pelos quais um produto ou serviço passa em uma empresa, resumindo, a cadeia de valor é o conjunto de todas as atividades específicas requeridas para produzir determinado produto (bens e/ou serviços) através das três tarefas críticas de gestão:

Resolução de problemas - passando pela concepção, projeto e empreitada; Gestão de informação - desde a recepção do pedido à entrega final do produto; Transformação física - desde a lista de materiais até ao produto acabado nas mãos do cliente.

**3. Fluxo** - Permitir que as solicitações de produtos e informações fluam sem problemas através da empresa, sem atrasos ou interrupções. Como referido em origem e pilares do *Lean*, o Processo de Fluxo Contínuo tem como função eliminar as paragens e os reinícios de produção que é típico de sistema convencional. Segundo Junqueira criar um fluxo contínuo é das tarefas mais difíceis de concretizar pois é necessário garantir que a produção em fluxo contínuo é mais eficiente que a produção com stocks, visto que se elimina grandes desperdícios ao trabalhar-se continuamente no produto, da matéria-prima ao produto final <sup>[21]</sup>. O fluxo está focalizado em processos, pessoas e cultura, por isso a alternativa *Lean* é redefinir as funções, os departamentos e a própria empresa, criando uma *Lean Enterprise* que integra as práticas clássicas criadas para o *Lean* e que se estende para todos os processos de uma organização, a nível empresarial, com o objetivo de integrar os processos que compõem a cadeia de valor, incluindo os processos administrativos, de serviços e de apoio de forma a obter e garantir os parâmetros de competitividade necessários para a sobrevivência da empresa.

**4. Puxar** - Produzir somente quando é efetuado o pedido pelo cliente (deixar o cliente “puxar” o produto), ao contrário da produção empurrada que resulta em grandes stocks. Este princípio resulta quando o cliente tem confiança na prontidão de entrega do produto quando o requer, tornando a procura estável. O primeiro sinal visível da produção puxada é a drástica

diminuição de tempo, desde a obtenção de matéria-prima, concepção e lançamento do produto à venda e entrega. Existe uma resposta rápida aos requisitos do cliente.

**5. Procurar a perfeição** - Após especificar o valor na perspectiva do cliente, identificar a cadeia de valor, estabelecer um fluxo contínuo de processos, e de deixar o cliente puxar o produto, a constatação de redução de prazos, custos, espaço, esforço e erros estimula o desejo de uma melhoria contínua e a busca pela perfeição. Os aspetos referidos anteriores interagem entre si num ciclo, fazendo o valor fluir cada vez mais rápido a medida que se vão eliminando os desperdícios. O objetivo é esforçar-se sempre para eliminar o desperdício e melhorar o valor fornecido aos clientes.

### **2.1.3. Desperdícios segundo o *Lean***

A abordagem *Lean* introduz o conceito de perda mais conhecido como desperdício, ou seja, qualquer atividade realizada por uma empresa, que consome recursos (materiais, humanos e financeiros) e não cria qualquer tipo de "valor" para o cliente final. Este conceito deriva da análise de Ohno no SPT, onde se utilizou pela primeira vez o termo MUDA (desperdício) para indicar atividades sem valor. Os sete tipos mais comuns de desperdício ou MUDA são <sup>[22]</sup>:

**Desperdício com transporte** - Ocorre quando algo - pessoas, equipamentos, fornecimentos, ferramentas, documentos ou materiais - é movido ou transportado desnecessariamente de um local para outro <sup>[23]</sup>. É o reflexo de um mau planeamento e da utilização de rotas e *layout* desapropriados que provocam movimentos desnecessários <sup>[24]</sup>. Uma forma de eliminar este tipo de desperdício é melhorar o *layout*, apostar em métodos de transporte mais adequados e na organização do local de trabalho.

**Stocks (inventários)** - Representam o acumular de materiais, componentes e produtos. Apesar da necessidade de existir sempre um inventário por parte de produtores de qualquer tipo de bens ou serviços, estes podem ser cuidadosamente controlados para não serem excessivos e provocarem a sobre produção, a existência de grandes quantidades de lote, longos prazos de entrega, etc. <sup>[23]</sup> <sup>[24]</sup>. O desperdício com stocks é em grande parte devido a falta de planeamento e falha na correspondência entre as compras e o consumo real ou a taxa de uso de um recurso específico <sup>[23]</sup>. Os stocks tendem a esconder outros problemas nas organizações e como tal se forem reduzidos até um certo nível tornar-se-á possível identificar a origem de determinados problemas, que até então não estavam visíveis.

**Movimentos desnecessários** - Frequentemente confundido com o desperdício do transporte, o desperdício com o movimento corresponde a qualquer movimento de pessoas que não agrega valor ao produto ou serviço <sup>[24]</sup>. Normalmente ocorre devido a utilização de *layouts* desapropriados, locais de trabalho desorganizados, processos incertos, fluxo de materiais, entre outros. O desperdício com movimento geralmente atrasa o início do trabalho e atrapalha o fluxo de trabalho <sup>[23]</sup>.

**Tempo de espera** - Quando recursos como pessoas e equipamentos são forçados a esperar desnecessariamente devido a atrasos de chegada ou falta de disponibilidade de outros recursos, incluindo informações. A falta de resposta rápida pode dever-se a processos não sincronizados que correspondem a desequilíbrios de linha, a tempos não programados de inatividade das máquinas, falta de mão-de-obra ou atrasos, entre outros <sup>[23]</sup>.

**Sobre produção** – Implica produzir mais do que o necessário e mais rápido do que o necessário. É uma das principais fontes de desperdício uma vez que dá origem a outros tipos de desperdícios pois excesso de bens criados por sobreprodução precisam ser movidos e armazenados (transporte e stocks), o que contribui para os funcionários se movimentarem mais e cria espera, por muitas vezes retardar a produção de produtos que os clientes querem realmente <sup>[24]</sup>. A sobreprodução pode ter origem no incentivo de volume (vendas, pagamento, compras), no planeamento deficiente da produção, na práticas de contabilidade de custos que incentivam ao acúmulo de stocks, etc. <sup>[23]</sup>.

**Processamento incorreto ou sobre processamento** - De certa forma este tipo de desperdício está relacionado com o “fazer mais do que o cliente pede/precisa” e é proveniente de um processamento desnecessário que não agrega valor ao item produzido ou trabalhado. As causas para o mesmo podem ser devido a qualidade excessiva (refinamentos que acrescenta excesso de qualidade que os clientes não exigem), a instruções de trabalho pouco claras, especificações do cliente pouco claras, etc. Para ajudar a combater esse desperdício pode utilizar-se técnicas que ajudem a identificar as atividades que agregam valor e as que não agregam valor para o processo <sup>[23]</sup>.

**Defeitos** - Um produto com defeito caracteriza-se por ser um produto que não está em conformidade com as especificações. A origem da produção de um produto não conforme pode ser variada, desde processos de produção incapazes, falta de controlo do processo, pessoal não

qualificado, fornecedores incapazes, etc. A má qualidade ou defeitos de um produto não implicam apenas a insatisfação do cliente e danos à imagem da empresa, mas provocam também custos adicionais na reparação e substituição dos itens defeituosos e desperdício de tempo devido ao processo de refabrico. Uma forma de evitar a produção de produtos não conformes é garantir uma melhoria contínua da qualidade e criar medidas preventivas para evitar tais situações [23].

#### **2.1.4. Ferramentas de apoio ao *Lean***

Atualmente existe um número elevado de ferramentas de apoio ao *Lean* [18] [5] [7]. Foram selecionadas e são apresentadas algumas dessas ferramentas que podem ser utilizadas e que ajudam a desenvolver os vários conceitos existentes de *Lean*. A utilização das ferramentas *Lean* colaboram para as alterações dos métodos e processos até então utilizados pelas empresas, gerando a mudança e a obtenção de melhores resultados.

- **Value Stream Mapping – VSM (Mapeamento da Cadeia de Valor)**

É o processo de mapeamento da cadeia de material e da informação necessária através de fluxogramas que servem para coordenar as atividades realizadas pelos fabricantes, fornecedores e distribuidores para fazer chegar os produtos aos clientes. Ao contrário das ferramentas de mapeamento tradicionalmente utilizadas, o VSM para além dos materiais também mapeia as informações e documentação que sinalizam e controlam os mesmos [25] [26]. Esta ferramenta permite que as organizações consigam mapear o fluxo dos produtos desde a chegada da matéria-prima, durante todas as etapas do processo de fabrico e posteriormente como produto acabado [27].

Na fase inicial é apresentado o mapa do estado atual - que mostra onde se está. Após isso planeia-se a implementação do *Lean*, com um mapa do estado futuro - que mostra para onde se dirigem e como se chegar ao ponto pretendido. Esta ferramenta concentra-se nas questões relativas à redução dos tempos (*lead time*) e com base neste mapeamento pode-se agilizar os processos de trabalho, reduzindo assim os tempos e os custos operacionais [27].

A representação visual facilita a identificação das etapas de agregação de valor numa cadeia de valor e a eliminação das etapas de não agregação de valor, ou desperdícios (MUDA), pois são utilizados símbolos próprios conhecidos como: “*linguagem Lean*” [25] [28].

- **O método 5S**

É uma ferramenta para melhorar continuamente os processos de gestão *Lean*, em termos de produtividade e qualidade e cuja tarefa é criar um ambiente de trabalho altamente eficiente, limpo e ergonómico que contribui para a sustentabilidade. É um conjunto de 5 regras simples e, ao mesmo tempo, é uma ferramenta que permite controlar visualmente o local de trabalho [29]. A ferramenta 5S tem origem na filosofia japonesa e é um acrónimo para cinco palavras: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* e *shitsuke* que, quando traduzido, significa classificação, organização, limpeza, padronização e disciplina. Eles foram referidos como as cinco chaves para um ambiente de qualidade total e a técnica 5S *Lean* pode ser resumida da seguinte forma [30] [31] [32] [33]:

**1. Classificação** - Designar e rotular claramente onde tudo deve ser armazenado. Tudo deve ser mantido no seu devido lugar para eliminar a necessidade de procura.

**2. Organização** – Deixar tudo em ordem e manter por perto apenas o necessário e essencial. O resto é armazenado e recuperado, quando preciso, ou descartado. Essa medida evita a presença de um ambiente de trabalho confuso e que apresente riscos para a realização do trabalho.

**3. Limpeza** - Manter tudo limpo e arrumado.

**4. Padronização** - Documentar os métodos de trabalho e tornar os 5S parte da cultura da organização.

**5. Disciplina**- Criar o hábito e incentivar o uso de procedimentos de melhoria contínua.

Na tabela 1 apresenta-se um resumo com os objetivos para o conjunto das cinco regras.

Tabela 1 - Tabela resumo 5S (elaboração própria)

| <b>Denominação 5S</b>                 | <b>Objetivo</b>                        |
|---------------------------------------|--|
| <b>Classificação (<i>Seiri</i>)</b>   | Manter tudo no seu devido lugar        |
| <b>Organização (<i>Seiton</i>)</b>    | Manter o espaço de trabalho organizado |
| <b>Limpeza (<i>Seiso</i>)</b>         | Manter tudo limpo e arrumado           |
| <b>Padronização (<i>Seiketsu</i>)</b> | Estabelecer as regras a serem seguidas |
| <b>Disciplina (<i>Shitsuke</i>)</b>   | Criar hábitos de melhoria contínua     |

- ***Gemba walk***

*Gemba* é uma palavra de origem japonesa que significa “local real”. O local real pode ser considerado como o local onde a criação de processos e valores acontece. Uma caminhada *gemba* (i.e., *Gemba Walk*) é definida como a ação de ir para a unidade ou área de trabalho para ver o processo, compreender o trabalho e aprender o processo através da colocação de perguntas. Desta forma obtém-se um entendimento prático que permite encontrar desperdícios, identificar problemas e oportunidades de melhoria. É de notar que um passeio *gemba* não é sobre ir às unidades e encontrar falhas no processo, nem se trata de tentar corrigir problemas de forma imediata, é principalmente sobre observar (observação pessoal e métodos), ter conhecimento sobre a área de trabalho e a interação com as pessoas e processos para ver como se pode mudar para melhor [34] [35].

- ***Single Minute Exchange of Die (SMED)***

A ideia básica do SMED é reduzir o tempo de configuração de uma máquina ou processo [36]. *Single Minute Exchange of Die (SMED)* é um dos muitos métodos de produção *Lean* para reduzir o desperdício de um processo de fabrico. Ele fornece uma maneira rápida e eficiente de passar do processo de fabricação de um produto atual para a produção de outro. Esta troca rápida é a chave para reduzir o tamanho dos lotes de produção e, assim, melhorar a cadeia de produção. A análise SMED deve ser iniciada com um mapa detalhado de processo e um estudo do tempo gasto. É preciso analisar tudo o que acontece durante a mudança de configuração ou processo para estudar as possíveis atividades que podem ser removidas para fora da janela de mudança de configuração ou processo, sendo que, atividades que não apresentem valor acrescentado devem ser eliminadas ou convertidas em atividades externas [37]. A necessidade de programas de transição rápida e SMED é usual hoje em dia devido ao aumento da procura por diferentes tipos de produtos, devido aos reduzidos ciclos de vida dos produtos e a necessidade de reduzir significativamente os stocks [36].

- **Diagrama de Ishikawa**

O diagrama Ishikawa, uma ferramenta muito utilizada na área da qualidade, mas que também pode se aplicada em outros contextos como o *Lean*, é um instrumento gráfico para identificar, organizar e apresentar de modo estruturado as causas de um problema ou condição (Figura 3). Foi desenvolvido por *Kaoru Ishikawa*, da Universidade de Tóquio, em 1943, e também é designado frequentemente por diagrama de causa-efeito ou diagrama de espinha de peixe pois representa a relação entre o efeito e todas as possibilidades de causa que podem contribuir para este efeito, desta forma permite uma exploração sistemática dos diversos aspetos do problema, produzindo um conjunto significativo de informação que auxilia a determinar a causa ou origem do problema <sup>[38]</sup> <sup>[39]</sup>.

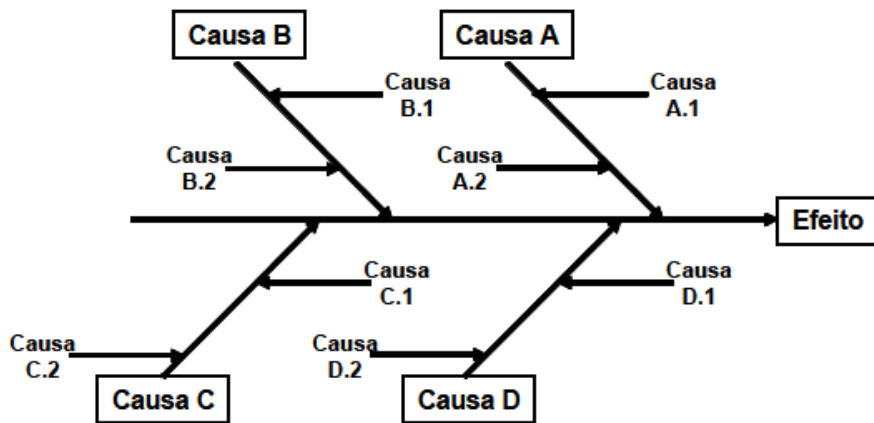


Figura 3 - Exemplo diagrama Causa-Efeito <sup>[38]</sup>

A figura 3 apresenta um exemplo do diagrama Causa-Efeito, onde:

**Causa:** É a causa potencial, de uma determinada categoria, que pode contribuir negativamente para o efeito.

**Subcausa:** É a causa potencial que pode contribuir para a existência de uma causa específica. São as ramificações de uma causa.

**Efeito:** É o resultado das causas observadas. É considerado como um indicador de qualidade e o enunciado do problema.

## 2.2. Eco e sustentabilidade

Hoje em dia a eco inovação apresenta um papel de elevada importância como condutor de políticas ambientais, particularmente no contexto do desenvolvimento sustentável, energia, clima, estratégias de mudança e gestão para a redução de resíduos [7].

Numa sociedade crescentemente consumista e exigente, os produtos fornecidos pelas empresas são fundamentais para a riqueza da sociedade e para a qualidade de vida desejada. No entanto, o crescente consumo de bens e serviços está também, direta ou indiretamente, na origem da maior parte da poluição causada pelas sociedades, bem como pelo esgotamento de recursos naturais. Assim, para acompanhar o crescimento económico imprescindível ao progresso da civilização, é fundamental introduzir aspetos de cariz ambiental na equação, que minimizem os impactes ambientais e permitam um crescimento mais harmonioso da sociedade [40].

A preservação do meio ambiente é atualmente, uma variável imprescindível na definição da estratégia empresarial, visando o desenvolvimento económico o qual já não se pode fazer como no passado, à custa da degradação do capital natural. A empresa que não procurar adequar as suas atividades ao conceito de desenvolvimento sustentável perderá competitividade a curto ou médio prazo. No entanto, janelas de oportunidades abrir-se-ão para as empresas que adotarem uma postura pró-ativa em relação ao meio ambiente [40].

No contexto económico atual, a abordagem natural da eco inovação consiste na promoção de soluções de eficiência de recursos focado em energia e materiais. O foco atual consiste na substituição do conceito de fim de vida da economia linear por novos fluxos circulares de reutilização, recuperação e reciclagem num processo integrado.

As organizações precisam procurar novos métodos e técnicas que possam ajudar na obtenção de melhores resultados na procura contínua para minimizar as ineficiências nos processos, a fim de reduzir custos e aumentar a rentabilidade para que possam garantir a sua sobrevivência no cenário económico atual [7].

A abordagem Eco tende a refletir a atitude geral de uma organização em relação a gestão ambiental, isto é, a empresa deve ter um compromisso organizacional com questões ambientais

e que inclua uma compreensão clara das implicações estratégicas, táticas e operacionais das atividades Eco em relação aos planos de negócios.

A extensão do compromisso de reduzir o impacto ambiental dos produtos / serviços poderá ser indicado através dos objetivos ambientais, da política ambiental, do nível de responsabilidade assumido pelas empresas e pela avaliação do desempenho ambiental <sup>[41]</sup>.

### 2.2.1. Ferramentas Eco

Desde o início dos anos 90 que foram desenvolvidas ferramentas Eco, também direcionadas para o Eco design, que avaliam o impacto ambiental global e destacam potenciais problemas e contradições ambientais. O número de métodos e ferramentas para a avaliação e melhoria de desempenho ambiental aumentou rapidamente e por mais de duas décadas, um número elevado de regulamentos, normas, critérios e ferramentas estruturadas foram propostas por institutos de investigação e por empresas ou impostas por instituições públicas <sup>[42]</sup>.

Podem citar-se quatro objetivos fundamentais para as ferramentas Eco, a saber <sup>[40]</sup>:

- Análise e avaliação;
- Seleção e definição de prioridades para melhoria;
- Apoio à geração de ideias e decisões;
- Coordenação com outros critérios.

É também possível ordenar as ferramentas pelo seu âmbito, nomeadamente:

- Ferramentas com foco num determinado objetivo ambiental;
- Ferramentas para o desenvolvimento do produto numa perspetiva de ciclo de vida;
- Ferramentas Eco eficientes, com a integração de aspetos de sustentabilidade.

As ferramentas sustentáveis podem ainda ser classificadas em quantitativas e qualitativas. As ferramentas qualitativas são de uso simples, podem ser aplicadas numa fase inicial, mas podem tornar-se pouco fiáveis. O número de ferramentas neste grupo é elevado e podem ser identificados e separados por quatro tipologias de ferramentas diferentes: Matrizes, Diagramas de rede (diagramas polares), Listas de estratégias e Listas de verificação (i.e. *checklists*) <sup>[40]</sup>.

**Matrizes** - A maioria das matrizes existentes servem também para a avaliação de impactes, quer seja de produtos, processos, soluções em desenvolvimento, e/ou para a definição

de prioridades, apesar de o fazerem de formas diferentes e dando mais atenção à avaliação ou à definição de prioridades.

**Diagramas de rede** (i.e., também conhecidos como diagramas polares) - São ferramentas simples e que requerem pouco tempo. A ideia subjacente a esta ferramenta é simplesmente funcionar como um quadro de referência ao permitir evidenciar as áreas de melhoria possível do seu perfil ambiental <sup>[43]</sup>. Graficamente, são todos muito semelhantes: apresentam-se como uma teia de aranha, em que nos diversos eixos (normalmente entre 5 e 8) são avaliados determinados critérios ou aspetos. A união da classificação qualitativa que se der em cada eixo permite criar uma área que traduz visualmente o impacto. Os critérios ou estratégias colocadas em cada eixo são a principal variação entre as diferentes versões da ferramenta.

**Listas de estratégias** - Englobam várias ferramentas que apresentam listagens de estratégias de Eco. São ferramentas genéricas e simples que requerem pouco tempo de utilização, mas que caso sejam orientadas para uma empresa ou setor específico requerem algum tempo de preparação.

**Listas de verificação** – A ferramenta mais básica de Eco e que consiste numa lista com uma série de perguntas, ou uma Lista de Verificação (*Checklist*), que é incluída no manual de procedimento. É requerido a equipa que responda/verifique estes itens da lista numa fase inicial do processo. Normalmente são listagens mais extensas e exaustivas que as listas de estratégias e permitem uma pequena avaliação de cada critério listado. São listas em forma de tabela, que expõem detalhadamente vários critérios em cada categoria, quer estas sejam de estratégias, quer sejam as fases do ciclo de vida. São ferramentas que podem exigir algum tempo de utilização consoante a sua extensão, mas que também permitem uma ação pedagógica devido ao seu conteúdo. A variação dos conteúdos pode ser significativa, mas normalmente são utilizados dois modelos de análise e verificação: classificação alfabética ou através de uma classificação com sinais (+, +/-, - e 0).

Dentro das tipologias apresentadas, algumas dessas ferramentas são as seguintes:

- **Matriz MET** (i.e., Materiais, Energia e Toxicidade)

A matriz MET é um método qualitativo de análise ambiental que é aplicado para fornecer uma visão geral das entradas e saídas de cada fase do ciclo de vida do produto e identificar os

principais aspetos ambientais ao nível dos Materiais, Energia, Toxicidade e possíveis opções de melhoria ambiental [44].

- **LiDS – Wheel**

A roda *Lifecycle Design Strategies* é uma ferramenta concebida para fornecer uma visão geral de potenciais melhorias ambientais. São utilizadas 8 estratégias de melhoria ambiental, como apresentado na figura 4, onde a cor verde clara representa o produto atual e o verde escuro representa as propriedades do novo produto [44] [45].



Figura 4 - Exemplo aplicação Lids Wheel (adaptado de [45])

As ferramentas quantitativas exigem mais dados e detalhes sobre os produtos e processos, o que torna essas ferramentas mais interessantes quando é necessário traçar um perfil ambiental mais específico e detalhado.

Podemos considerar como ferramentas quantitativas alguns dos seguintes exemplos:

- **Life Cycle Assessment -LCA (Avaliação do Ciclo de Vida - ACV)**

É uma das técnicas quantitativas mais populares e utilizadas. Permite avaliar os encargos ambientais associados a um produto a ser avaliado. Considera todo o ciclo de vida do produto, abrangendo a extração e processamento de matérias-primas, fabricação, distribuição, uso, reciclagem e disposição final e permite obter um indicador ambiental obtido para cada categoria de impacto ou obter um único indicador que agrupe todas as categorias de impacto

consideradas. Para essa avaliação já há diversos softwares integrados, suportados em bases de dados de materiais e processos de produção, como por exemplo <sup>[46]</sup>:

- ECO-it 1.3 que possui informações ambientais para metais, plásticos, papel e vidro e dados referentes à produção desses materiais, atividades de transporte, energia e tratamento de resíduos. Através de sua utilização é possível calcular o impacto ambiental de um produto.
- GaBi 4 *Software System and Databases*. É um *software* utilizado para realizar a avaliação de aspectos ambientais, aspectos sociais, aspectos económicos, processos e tecnologias associadas ao ciclo de vida de um produto, sistema ou serviço.
- SimaPro 7: Desenvolvido por *Pré Consultants*. Possui vários métodos de avaliação de impacto e banco de dados que podem ser editados e ampliados sem limitação. É possível comparar e analisar produtos com ciclos de vida complexos.

A ACV é uma ferramenta que permite avaliar os aspetos ambientais e os impactes associados a um produto, desde o início ao fim de vida, através de uma metodologia que compreende 4 fases <sup>[40]</sup>:

- Definição do objetivo e âmbito;
- Análise do inventário;
- Avaliação de impactes; (Para a avaliação de impactes é necessário classificar e caracterizar, normalizar e avaliar).
- Interpretação.

Assim, com base na metodologia existem múltiplas variações de ferramentas em diferentes suportes informáticos, que apresentam como objetivo simplificar o processo e tornar a ferramenta mais acessível as empresas e aos designers <sup>[40]</sup>.

## 2.3. Introdução e Origem da metodologia TRIZ

A **Teoria da Resolução Inventiva de Problemas** conhecida como TRIZ (i.e. acrónimo russo que significa *Teoriya Resheniya Izobretaleskikh Zadatch*) ou *TIPS* (i.e. acrónimo que significa *Theory of Inventive Problem Solving*), é uma metodologia de resolução de problemas com diferentes graus de complexidade que pode ajudar várias pessoas, desde crianças, a cientistas e engenheiros [6].

Atualmente, o TRIZ contribui para a evolução dos sistemas técnicos e não tecnológicos, onde a inventividade é uma parte importante da metodologia de previsão, solução de problemas científicos, metodologia de treinamento de criatividade e assim por diante [6]. Milhares de pessoas utilizam TRIZ, no entanto a sua criação e aplicação foi desencadeada por - Genrich Altshuller [47].

Através do seu trabalho com patentes, *Altshuller* concluiu que químicos, biólogos, físicos e engenheiros repetiam sem saber o trabalho uns dos outros, pois não pesquisavam se outras áreas de estudo tinham problemas e respostas semelhantes para os seus problemas. Após essa conclusão e com a ajuda dos seus colegas, foram estudadas cerca de 400.000 patentes de tecnologias, onde extraíram certas regularidades e padrões básicos [48]. Altshuller observou que os sistemas técnicos geralmente seguem certas “regularidades” ao longo do seu desenvolvimento. Essas “regularidades” foram traduzidas em padrões de evolução que foram úteis para desenvolver boas soluções para problemas e para prever como iriam evoluir os sistemas [48].

A tabela 2 apresenta a forma como Altshuller sistematizou em cinco níveis de inovação as soluções patenteadas.

Tabela 2 - Níveis de Inovação (adaptado de <sup>[49]</sup><sup>[50]</sup>)

| <b>Nível</b> | <b>Descrição e Grau de Inovação</b>  | <b>% da totalidade das patentes analisadas</b> | <b>Fonte de conhecimento</b>                     |
|--------------|--|--|--|
| <b>1</b>     | Soluções de rotina utilizando métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade. O Nível 1 não é muito inovador.   | 30   | Conhecimento pessoal                             |
| <b>2</b>     | Pequenas correções em sistemas existentes recorrendo a métodos conhecidos na indústria.  | 45   | Conhecimento obtido dentro da empresa            |
| <b>3</b>     | Melhorias importantes que resolvem contradições em sistemas típicos de um dado ramo de atividade. É onde aparecem soluções criativas.                                | 20   | Conhecimento obtido dentro do tipo de indústria. |
| <b>4</b>     | Soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos. Os problemas são solucionados através da substituição da tecnologia original por uma nova tecnologia | 4  | Conhecimento obtido fora do tipo de indústria.   |
| <b>5</b>     | Soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas que não foram exploradas anteriormente.  | menos de 1                                     | Aquisição de um novo conhecimento                |

Foi descoberto que apenas menos de 1% de todas as soluções patenteadas eram realmente novas, o que significava o uso de algum princípio recém-descoberto. Para as restantes foram identificados um conjunto comum e conhecido de princípios e processos inventivos usados em várias áreas da tecnologia, diferindo apenas na sua forma de implementação.

O TRIZ tem por objetivo auxiliar a elaboração de soluções dos níveis 3 e 4 (cerca de um quarto da totalidade), onde a simples aplicação de “boas práticas tradicionais” não produz resultados assinaláveis. A classificação do TRIZ em cinco níveis pode ser utilizada para a análise de iniciativas de inovação. O mesmo problema pode ser resolvido através de soluções com diferentes níveis de inovação. A classificação de cinco níveis pode ser aplicada na avaliação e na comparação dos níveis de inovação de diferentes soluções, devendo ser tida em conta ao longo do processo de desenvolvimento de novas propostas. O desenvolvimento de uma nova solução pode seguir procedimentos diferentes: uma melhoria convencional do sistema já existente (níveis 1 e 2); novas formas, mas aplicando princípios existentes de operação (níveis 2 e 3); criação de uma nova geração do sistema com novos princípios de operação (níveis 4 e 5). As soluções criativas classificadas nos níveis 4 e 5 (e, especialmente, as soluções no nível 5) podem ser consideradas como iniciativas de inovação radical. Os cinco níveis de inovação também podem ser úteis para a previsão da evolução de um determinado sistema <sup>[49]</sup>.

Altshuller percebeu que um problema requer uma solução inventiva se houver uma contradição não resolvida no sentido de que melhorar um parâmetro impacta negativamente outro parâmetro, as chamadas “contradições técnicas”. Um grande número de invenções atendia a um número relativamente pequeno de soluções básicas, assim, concluiu-se que a vasta maioria dos novos problemas inventivos poderiam ser resolvidos usando uma experiência anterior. Assim, a metodologia TRIZ afirma que "os problemas inventivos podem ser codificados, classificados e resolvidos metodicamente, assim como outros problemas de engenharia" <sup>[51]</sup>. Pode considerar-se a ocorrência de um problema quando há uma lacuna entre a situação atual e o resultado desejado. A prática mais comum para preencher essa lacuna é testar tantas soluções quanto possíveis, de forma a que alguma solucione o problema (tentativa e erro). O TRIZ adota uma abordagem diferente, tal como ilustrado na figura 5.

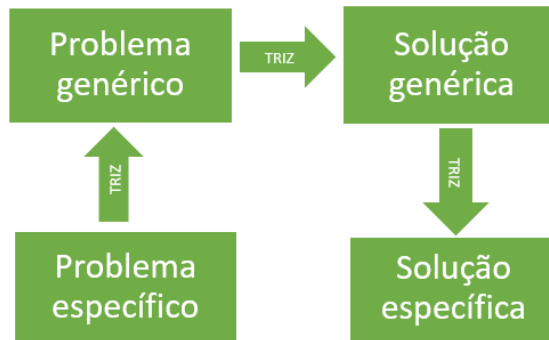


Figura 5 - Abordagem TRIZ (adaptado de [48])

Uma característica distinta da resolução de problemas do TRIZ é que todo o processo é guiado pelas ferramentas TRIZ, que direcionam o caminho para a exploração de soluções comprovadas anteriormente com sucesso [52]. Na figura 6 apresenta-se o prisma de TRIZ com os vários passos desde a identificação do problema em estudo (i.e., passo 1) até à solução específica encontrada (i.e., passo 5).

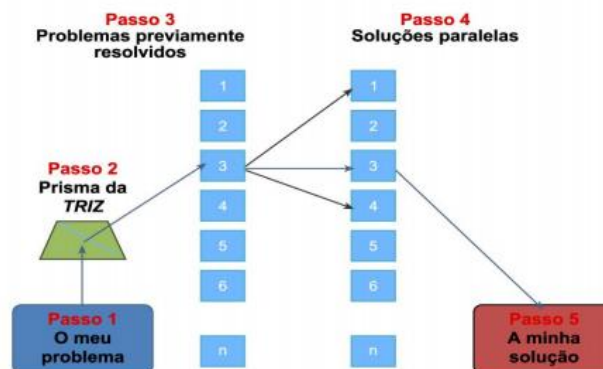


Figura 6 - Visão da abordagem TRIZ [53]

Com base nesses princípios, as soluções podem ser interpretadas e aplicadas conforme o conhecimento específico da indústria.

O TRIZ moderno é uma combinação que envolve a teoria de solução de problemas criativos e a evolução de sistemas, ferramentas analíticas e métodos para resolução e análise de problemas, coleções de padrões de soluções, base de dados de efeitos específicos e tecnológicos e técnicas para o desenvolvimento da imaginação criativa .

### 2.3.1. TRIZ e os seus conceitos fundamentais

A TRIZ foi desenvolvida a partir de uma abordagem não trivial para a resolução de problemas e apresenta quatro conceitos fundamentais que estão ligados aos estágios de resolução, isto é, em qualquer processo de resolução é aplicado um dos seguintes conceitos:

- ❖ Idealidade
- ❖ Padrões de Evolução
- ❖ Contradições
- ❖ Recursos

- **Idealidade e IFR**

Uma das principais filosofias do TRIZ é a Idealidade. Essa ideologia derivada do funcionamento de uma “máquina ideal” (ou resultado final ideal (IFR)), um sistema arbitrário onde todas as suas partes funcionam na sua capacidade máxima. A idealidade mede o quão perto um sistema se encontra do seu estado de “máquina ideal”, estado esse que a TRIZ pretende alcançar, ou mover-se na sua direção <sup>[54]</sup>.

No método TRIZ, a medida de idealidade é calculada usando a equação:

$$Idealidade = \frac{\sum Beneficios}{\sum Custos + \sum Prejuizo}$$

Como a equação acima indica, a idealidade pode ser alcançada por um ou uma combinação que permita encontrar um meio de aumentar os benefícios fornecidos pelo sistema, reduzindo os custos de entradas de recursos para fornecer esses benefícios, ou reduzindo as funções prejudiciais (ou saídas indesejadas) que vêm com esses mesmos benefícios <sup>[55]</sup>.

- **Padrões de Evolução**

A Teoria da Resolução Criativa de Problemas, afirma que a evolução de sistemas técnicos segue padrões previsíveis. O conceito da Evolução de Sistemas é um dos conceitos fundamentais do TRIZ em busca de soluções para os problemas tecnológicos. O conceito ajuda a identificar as eventuais tendências de evolução de sistemas e produtos. A previsão de tendências é feita com base na análise dos modos de evolução histórica de sistemas tecnológicos. Foram formulados oito modelos de evolução que não só ajudam a prever os eventuais modos de evolução de sistemas ou produtos – como também podem auxiliar na

definição de possíveis melhorias que devem ser feitas em diferentes fases de evolução do mesmo produto ou sistema [56].

- **Contradições**

As contradições é um dos principais conceitos do TRIZ e muitas vezes representam o cerne de um problema, uma vez que na visão do TRIZ a resolução de um problema passa pela resolução das contradições. Uma contradição ocorre quando a melhoria de uma característica ou parâmetro de um sistema técnico, leva a degradação de outro parâmetro. As contradições passaram a ser definidas por: contradições técnicas, contradições físicas e contradições administrativas [57][55].

Contradição Administrativa: Nesta situação, as pessoas reconhecem o problema, mas não sabem o seu motivo.

Contradição Técnica: Surgem quando uma tentativa de melhorar certos atributos ou funções de um sistema leva à deterioração de outros atributos desse mesmo sistema, isto é, havendo duas propriedades A e B. Ao melhorar A, o B piora.

Contradição Física: Surgem quando existem requisitos importantes para a condição física do mesmo sistema, isso é, é quando um determinado recurso deve estar presente e não deve estar presente ao mesmo tempo.

- **Recursos**

O termo “recursos” é amplamente utilizado em vários contextos para se referir a recursos naturais, recursos financeiros, recursos humanos, etc. O conceito de recursos em TRIZ apresenta um significado muito amplo, mas pode ser definido como sendo substâncias, campos (energia), as propriedades de uma substância/campo, características funcionais e outros atributos que existem num sistema e no ambiente a sua volta, e que podem ser utilizados para uma melhoria no sistema [58].

### 2.3.2. Ferramentas TRIZ

- **The Algorithm for Inventive Problem Solving (ARIZ)**

O ARIZ é um processo estruturado que fornece uma longa lista de procedimentos que consiste em um conjunto de etapas que ajudam a transformar um problema complexo em um formato mais simples. Essa transformação é feita passo a passo, até se chegar a um estágio em que seja fácil resolver o problema inicial. Começa-se sempre com a suposição de que a natureza do problema é desconhecida e é um processo neutro de solução que elimina todas as soluções preconcebidas para a resolução do problema <sup>[59]</sup>. De forma sucinta considera-se ARIZ como um processo lógico e disciplinado que reformula e que reinterpreta continuamente os problemas <sup>[60]</sup>.

- **Matriz de Contradição e os 40 Princípios**

Contradições, como referido são incompatibilidades existentes entre os requisitos aparentes dos recursos desejados dentro de um sistema. Resolver as contradições resolve os problemas do sistema <sup>[55]</sup>.

Depois de perceber o significado das contradições, Altshuller passou a classificá-las de acordo com um conjunto de 39 parâmetros de engenharia apresentados na tabela 3 (para descrição detalhada ver anexo I) e identificou 40 princípios inventivos comuns.

Tabela 3 - 39 Parâmetros de engenharia (adaptado de <sup>[6]</sup>)

|    |                                    |     |                       |
|----|------------------------------------|-----|-----------------------|
| 1. | Peso do objeto em movimento        | 21. | Potência              |
| 2. | Peso do objeto estático            | 22. | Perda de energia      |
| 3. | Comprimento do objeto em movimento | 23. | Perda de massa        |
| 4. | Comprimento do objeto estático     | 24. | Perda de informação   |
| 5. | Área do objeto em movimento        | 25. | Perda de tempo        |
| 6. | Área do objeto estático            | 26. | Quantidade de matéria |

|     |  |     |   |
|-----|--|-----|---|
| 7.  | Volume do objeto em movimento                  | 27. | Fiabilidade                             |
| 8.  | Volume do objeto estático                      | 28. | Precisão da medição                     |
| 9.  | Velocidade                                     | 29. | Precisão de fabrico                     |
| 10. | Força  | 30. | Fatores indesejados que atuam no objeto |
| 11. | Tensão, pressão, stress                        | 31. | Efeitos colaterais indesejados          |
| 12. | Forma  | 32. | Manufaturabilidade                      |
| 13. | Estabilidade do objeto                         | 33. | Conveniência de uso                     |
| 14. | Resistência                                    | 34. | Manutenção                              |
| 15. | Durabilidade da Ação de um objeto em movimento | 35. | Adaptabilidade                          |
| 16. | Durabilidade da Ação de um objeto estático     | 36. | Complexidade do objeto                  |
| 17. | Temperatura                                    | 37. | Complexidade no controlo                |
| 18. | Clareza/Intensidade e de iluminação            | 38. | Nível da automação                      |
| 19. | Energia gasta pelo objeto em movimento         | 39. | Produtividade                           |
| 20. | Energia gasta pelo objeto estático             |     |   |

As ferramentas utilizadas para ultrapassar as contradições técnicas são então chamadas de princípios, que são soluções genéricas para realizar uma ação para e dentro de um sistema técnico. Os 40 princípios inventivos identificados permitiram desenvolver inúmeros conceitos de solução para todos os problemas técnicos – sem assumir a necessidade de efetuar *trade-offs* (i.e., soluções de compromisso) pois implementar um dos conceitos escolhido continua a ser da responsabilidade de um engenheiro <sup>[61]</sup>. Os princípios inventivos identificados na matriz de contradições correspondem a soluções genéricas tal como se visualiza na Tabela 4 e explicados no anexo II.

Tabela 4 - 40 Princípios inventivos (adaptado de [6])

|            |                                  |            |   |
|------------|----------------------------------|------------|---|
| <b>1.</b>  | Segmentação ou fragmentação      | <b>21.</b> | Aceleração  |
| <b>2.</b>  | Extração ou remoção              | <b>22.</b> | Transformação de prejuízo em proveito             |
| <b>3.</b>  | Qualidade Local                  | <b>23.</b> | Reação  |
| <b>4.</b>  | Assimetria                       | <b>24.</b> | Mediação  |
| <b>5.</b>  | Combinação                       | <b>25.</b> | Autosserviço                                      |
| <b>6.</b>  | Universalidade                   | <b>26.</b> | Cópia   |
| <b>7.</b>  | Nidificação                      | <b>27.</b> | Uso e descarte (objetos baratos e de vida curta)  |
| <b>8.</b>  | Contrapeso                       | <b>28.</b> | Substituição do sistema mecânico                  |
| <b>9.</b>  | Contra-acção prévia              | <b>29.</b> | Utilização de sistemas pneumáticos ou hidráulicos |
| <b>10.</b> | Ação prévia                      | <b>30.</b> | Membranas flexíveis ou películas finas            |
| <b>11.</b> | Amortecimento Prévio             | <b>31.</b> | Utilização de materiais porosos                   |
| <b>12.</b> | Equipotencialidade               | <b>32.</b> | Mudança de cor                                    |
| <b>13.</b> | Inversão                         | <b>33.</b> | Homogeneidade                                     |
| <b>14.</b> | Esfericidade                     | <b>34.</b> | Rejeição e recuperação de componentes             |
| <b>15.</b> | Dinamismo                        | <b>35.</b> | Transformação do estado físico ou químico         |
| <b>16.</b> | Ação parcial ou excessiva        | <b>36.</b> | Mudança de fase                                   |
| <b>17.</b> | Transição para uma nova dimensão | <b>37.</b> | Expansão térmica                                  |
| <b>18.</b> | Vibrações mecânicas              | <b>38.</b> | Utilização de oxidantes fortes                    |
| <b>19.</b> | Ação periódica                   | <b>39.</b> | Ambiente inerte                                   |
| <b>20.</b> | Continuidade da Ação útil        | <b>40.</b> | Materiais compósitos                              |

Para ilustrar todas as possíveis combinações de contradições técnicas, Altshuller produziu uma matriz de 39 x 39 e identificou quais dos 40 princípios inventivos estavam mais associados as várias combinações específicas dos parâmetros de engenharia [55].

A essa matriz foi dado o nome de Matriz de Contradição Técnica e é um guia entre as contradições técnicas e as possíveis soluções standard fornecidas a partir dos 40 princípios inventivos. Os 39 parâmetros de engenharia estão presentes em linha e em coluna, numa matriz de 39 x 39 sendo o “parâmetro de engenharia a melhorar” fornecido em linha e o “parâmetro de engenharia que se degrada” fornecido em coluna. Essa interação de linha e coluna representa uma contradição que vai ser resolvida com base na identificação dos princípios inventivos aplicáveis correspondentes (ver anexo III).

- **76 Soluções padrão (i.e., *Standart solutions*) e Análise Substância - campo (*S-Field*)**

Padrões são regras estruturadas para a síntese e reconstrução de sistemas técnicos. Uma vez compreendidos e com alguma experiência na sua implementação, os padrões podem ajudar a combater muitos problemas complexos que ocorrem regularmente na indústria e com algumas restrições comuns <sup>[61]</sup> <sup>[62]</sup>.

Os Padrões fornecem duas funções <sup>[61]</sup> <sup>[62]</sup>:

1. Ajudam a melhorar um sistema existente ou sintetizar um novo.
2. São o método mais eficaz para fornecer um modelo gráfico de um problema, o modelo S-Field. O modelo S-Field de um sistema técnico é executada na zona de operação, a área onde o núcleo do problema - a contradição real - ocorre. Nesta área, duas substâncias (elementos) e um campo (energia) devem estar presentes. A análise do modelo Su-Field ajuda a determinar as mudanças necessárias no sistema técnico para melhorá-lo.

A Análise Substância - Campo (ou ASC) é uma ferramenta analítica, que ajuda a construir modelos funcionais para a resolução de problemas relacionados com sistemas tecnológicos, quer se trate de sistemas novos, quer de sistemas já existentes.

A ASC sustenta que um sistema, criado para desempenhar uma dada função, pode ser representado por um triângulo cujos vértices representam “substâncias” e “campos”.

Substância é um objeto ou sistema, com qualquer nível de complexidade. Campo é o provimento de energia e/ou informação, e inclui os campos tradicionalmente estudados na Física (gravitacional, elétrico, magnético) e outros, menos ortodoxos (pressão hidráulica, odor). Um “campo” é a interação entre objetos que faz com que uma “substância” atue sobre outra. Em geral, qualquer sistema que funcione adequadamente pode ser representado por um triângulo completo “Substância - Campo” ( ver Figura 7) [63].

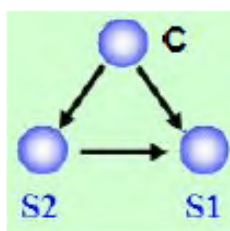


Figura 7-Sistema completo [63]

A análise Su-campo começa pela definição da função principal do sistema técnico em questão e a definição do resultado final desejado. Após esta definição, constrói-se um modelo do sistema em termos de campos e substâncias (modelo Su-campo).

Para a construção dos modelos é utilizada uma notação específica que representa as relações existentes entre as substâncias em análise de acordo com a representação identificada na Tabela 5 [64].

Tabela 5 - Simbologia utilizada em modelos gráficos “Substância Campo” (adaptado de [64])

| Símbolo | Significado  |
|---------|--|
|         | Ação ou efeito desejado                            |
|         | Ação ou efeito desejado insuficiente (ineficiente) |
|         | Ação ou efeito prejudicial                         |
|         | Operador da solução                                |

A representação “Substância - Campo” ajuda a centrar o estudo nos elementos mais importantes do sistema e a identificar o problema como pertencente a um determinado grupo. Se o triângulo “Substância - Campo” não for completo, existe um problema. Podem ocorrer vários tipos de situações problemáticas genéricas [63]:

**Situação 1:** O efeito desejado não ocorre. (Modelo SC Incompleto - Um Modelo SC incompleto representa a situação em que faltam elementos do triângulo) (Figura 8).

➤ Adicionar o elemento em falta (“campo” C) ou elementos (“campo” C e a ferramenta, “substância” S2).

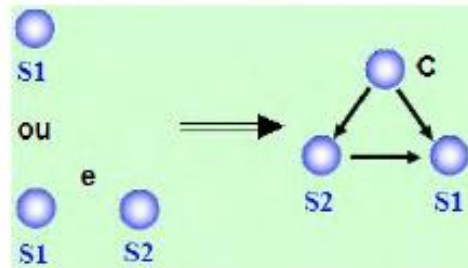


Figura 8 - Problema 1 e solução padrão 1 <sup>[63]</sup>

**Situação 2:** Ocorre um efeito prejudicial. (Um Modelo SC prejudicial representa a situação em que todos os três elementos se encontram nos respectivos lugares, no entanto a interação entre as “substâncias” S1 e S2 é prejudicial ou indesejada. Conseqüentemente, o “campo” C também é prejudicial.) (Figura 9).

➤ Inserir uma “substância” (S3), que deve ser uma versão modificada de S1, de S2 ou de ambas. A “substância” S3 bloqueia o efeito prejudicial.



Figura 9 - Problema 2 e solução padrão 2 <sup>[63]</sup>

**Situação 3:** Efeito desejado insuficiente (ineficiente). (Em Modelo SC ineficiente apresenta um efeito negativo entre os elementos, é necessário eliminar esse efeito negativo) (Figura 10)

➤ Adicionar um outro “campo” (C2) para neutralizar o efeito prejudicial do “campo” inicial (C1).

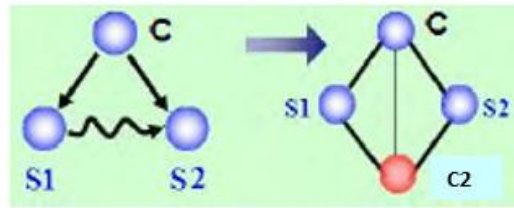


Figura 10 - Problema 3 e solução padrão 3 <sup>[63]</sup>

Altshuller estabeleceu 76 soluções padrão que consistem em soluções genéricas que podem ser utilizadas como modelos para solucionar esses problemas. As soluções foram divididas em cinco classes <sup>[61] [65]</sup>:

- 1: Construir ou destruir um S-Field (Inclui 2 grupos e 13 soluções).
- 2: Desenvolvimento de um modelo S-Field (Inclui 4 grupos e 23 soluções).
- 3: Transição do sistema básico para um super - sistema ou para um micro – nível (Inclui 2 grupos e 6 soluções).
- 4: Medir ou detetar qualquer coisa dentro de um sistema técnico (Inclui 5 grupos e 17 soluções)
- 5: Descrever como introduzir substâncias ou campos dentro do sistema técnico (Inclui 5 grupos e 17 soluções).

## 3. Revisão Bibliográfica

O capítulo 3 faz uma revisão bibliográfica sobre os métodos TRIZ e ferramentas TRIZ aplicadas ao *Eco design* e ao *Lean design* no desenvolvimento e melhoria de produtos e processos para apoiar designers e engenheiros no desenvolvimento de produtos e processos mais sustentáveis e inovadores. O trabalho de revisão efetuado diz respeito aos últimos 20 anos (1997-2017). A metodologia utilizada para a revisão bibliográfica começou com a formulação das questões de pesquisa para guiar a revisão, identificando os estudos individuais relevantes que abordam as questões de pesquisa, estabelecendo especificamente em que medida os estudos existentes sobre *Eco design* e *Lean design* tem vindo a incluir a utilização de métodos TRIZ nas últimas duas décadas e descrever direções para investigação adicional sobre o uso de TRIZ em *Eco design* e *Lean design*.

### 3.1. Contexto da revisão bibliográfica

Um dos principais desafios que a sociedade enfrenta a nível global está relacionado com a criação de um valor equitativo ao longo da cadeia global para clientes e partes interessadas. A base do design de produtos sustentáveis consiste na exploração de oportunidades para inovar e melhorar produtos e processos com foco nos objetivos do desenvolvimento sustentável. Neste momento e de forma global as empresas enfrentam grandes pressões por parte dos seus clientes, reguladores e outras partes interessadas com vista a melhorarem o seu desempenho e reduzir o impacto ambiental e social negativo dos processos industriais <sup>[66]</sup> <sup>[67]</sup>.

O crescimento das preocupações ambientais, vinculadas à pressão pública e a regulamentações mais rigorosas, está a impactar profundamente a forma como as empresas projetam e lançam novos produtos e serviços <sup>[68]</sup>. Todos desejam produtos sustentáveis, mas muito poucos estão dispostos a pagar por produtos com um perfil declarado ambientalmente sustentável <sup>[69]</sup>. Segundo Russo et al. <sup>[70]</sup> diversos métodos de *Eco design* podem ser encontrados na literatura e o próprio *Eco design*, hoje em dia, ainda representa um desafio a ser enfrentado pelos técnicos uma vez que o custo de produtos e processos passou a incluir o custo ambiental total.

A metodologia TRIZ para resolução de problemas inventivos foi aplicada com sucesso ao Eco design [71] [51] [72] [73]. Russo et al. [74] destacaram que o TRIZ não foi desenvolvido para o Eco design, mas o seu princípio fundamental de desenvolver um produto para um nível mais alto de idealidade leva, em última análise, a produtos mais sustentáveis. Os autores criaram uma metodologia baseada nos princípios inventivos do TRIZ e uma implementação dedicada de algumas ferramentas TRIZ como *i-Tree*, que é um exemplo de um esquema de Eco design com uma fase de Melhoria Eco amplamente baseada na metodologia TRIZ.

Womack et al. [75] tornaram o conceito *Lean* popular através do livro “*The Machine That Changed the World*”. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA [76] definiu *Lean manufacturing* como um modelo de negócios e uma coleção de métodos táticos que enfatizam a eliminação de atividades sem um valor acrescentado (desperdício) enquanto entregam produtos de qualidade e com maior eficiência. Com a utilização do *Lean*, as agências ambientais melhoraram a qualidade, o custo-benefício, a prestação de serviços e a capacidade de resposta ao público, sem comprometer a proteção ambiental [76]. O *Lean design* fornece um modelo integrado, métodos e diretrizes qualitativas para o design do produto, com o intuito de alcançar o valor máximo para o cliente e minimizar o desperdício [77] [78]. Dahmani et al [76] enfatizaram que a integração de métodos de Eco design com *Lean design* pode originar ganhos significativos, permitindo uma visão *Lean green* através do design de produto e a da otimização do ciclo de vida do produto. O Eco design e o *Lean design* têm recebido uma atenção crescente de estudantes, investigadores e profissionais que contribui para a investigação e desenvolvimento em ambos os campos, havendo muitas revisões bibliográfica sobre os mesmos [76] [79] [80]. Também desde os anos 80 muitos trabalhos sobre a teoria TRIZ têm vindo a receber uma atenção crescente [76] [48] [81].

Em contraste com o grande número de publicações sobre TRIZ ou Eco design ou *Lean design*, poucos são os que tentaram avaliar e pesquisar os 3 temas numa mesma revisão bibliográfica. Uma revisão do trabalho científico existente sobre esses temas tem o potencial de guiar os estudantes e investigadores com o fornecimento de exemplos, ideias, informações e *insights* para os problemas de campo e para as ligações existentes entre estas três temáticas.

Não é claro até que ponto investigadores e profissionais fizeram uso de uma abordagem conjunta considerando os benefícios do TRIZ, Eco design e *Lean design* no desenvolvimento e

melhoria de produtos e processos. Esta revisão bibliográfica, vem nesse sentido, abordar as seguintes questões principais:

- Até que ponto a investigação existente sobre Eco design e *Lean design* progrediu através do uso de métodos TRIZ nas duas últimas décadas.
- Quais são as direções para investigação futura sobre o uso da TRIZ nos paradigmas de Eco design e *Lean design*?
- Onde o TRIZ é aplicado?
- Em que campo da engenharia ou em que contexto?
- Como é aplicado o TRIZ?
- Integração do TRIZ com outras ferramentas, quais são os instrumentos TRIZ mais populares e como é que eles são aplicados no contexto de Eco design ou *Lean design*?

### **3.1.1. Evolução do TRIZ**

O TRIZ difundiu-se globalmente, tendo já sido transmitido em várias universidades e institutos e utilizado em várias empresas globais para um melhor desenvolvimento dos seus produtos e processos. Além disso, é aplicado em conjunto com outros métodos de planeamento e melhoria de processos. Ilevbare et al. <sup>[48]</sup> apresentam uma revisão do TRIZ, dos seus benefícios e desafios na prática, o que é potencialmente útil para iniciantes da TRIZ que exploram o grau de utilização das suas ferramentas. Chechurin <sup>[82]</sup> fez uma análise bibliométrica que mostrou o crescente interesse que o TRIZ produziu na investigação científica, apresentado um número reduzido de publicações indexadas relacionadas ao TRIZ em 2000 e verificando que após 2011 esse número cresceu substancialmente passando sensivelmente a um número de cerca de 150 publicações por ano. Além disso, toda a abordagem tem resultados inquestionáveis e em ambientes industriais é difícil encontrar uma empresa entre a lista da *Fortune 500* sem um registo de uso do TRIZ para as suas necessidades de inovação. Chechurin e Borgianni <sup>[83]</sup> fizeram uma revisão das principais publicações citadas com TRIZ, onde destacam a implementação bem-sucedida do mesmo.

### 3.1.2. Eco design e revisões bibliográficas associadas ao TRIZ

Podem ser encontrados vários significados para o termo Eco design na literatura. Karlsson e Luttropp <sup>[84]</sup> por exemplo, alegou que o Eco design se centra na integração de considerações ambientais no desenvolvimento de produtos, Park afirmou que “o Eco-design é uma atividade que identifica os aspetos ambientais de um produto e os integra posteriormente no processo de design, numa fase inicial do seu desenvolvimento” e Schischke <sup>[85]</sup> considera que o Eco design é a redução dos impactes ambientais de todo o ciclo de vida, através da melhoria da conceção dos produtos.

De forma resumida, Eco design, *green design*, design para o ambiente, entre outros conceitos, podem ser entendido como a designação europeia equivalente ao *Design for the Environment* dos EUA e consiste em incorporar, de forma estratégica, um conjunto de soluções de forma a desenvolver produtos e processos de conceção que causem o menor impacto ambiental possível, assim, o objetivo é incorporar considerações ambientais no desenvolvimento e design de produtos, ao longo do ciclo de vida do mesmo ou do serviço <sup>[41]</sup>.

O Eco design surge como uma nova abordagem ao processo de design, uma abordagem com preocupações ambientais no desenvolvimento de novos produtos, com vista a uma produção mais eficiente, com menor geração de poluição <sup>[40]</sup>.

Embora existam vários termos, as definições apresentadas anteriormente e outras não referidas são muito semelhantes e, apesar de poderem ser identificadas pequenas diferenças em relação à sua aplicação, elas foram apropriadas para usar como termos de pesquisa na revisão bibliográfica sobre os links que podem existir entre os métodos TRIZ e o seu uso no contexto Eco design ou outros assuntos relacionados.

Jones e Harrison <sup>[86]</sup> identificaram maneiras pelas quais ferramentas e metodologias TRIZ podem ser usadas em Eco inovação e, posteriormente, como o TRIZ pode ser adaptado para essa finalidade específica. A metodologia TRIZ, do ponto de vista ambiental, pode ser usada para distinguir quais as ferramentas e princípios que são prontamente aplicáveis ao Eco design e aqueles que precisam ser personalizados.

### 3.1.3. *Lean design* e revisões bibliográficas associadas ao TRIZ

O *Lean design* foi desenvolvido a partir da ideia básica do *Lean*, sendo que a ideia por trás dessa abordagem é o foco nas atividades de valor acrescentado do ponto de vista do cliente final, portanto todas as atividades sem valor devem ser eliminadas ou pelo menos reduzidas durante o ciclo de vida de um produto ou serviço, pois atividades que não contribuem para o valor do cliente são consideradas desperdício. Essa ênfase popular nas atividades de valor acrescentado e formas desse valor poder ser maximizado resultou na mudança da eliminação de resíduos para a sua valorização, como exemplificado em [87]. Baines et al. [88] realizaram uma revisão da literatura para melhorar a compreensão do pensamento *Lean* em atividades relacionadas ao design, devido à importância de tais atividades e de outras como a introdução de novos produtos (NPI), engenharia e desenvolvimento de produto (DP) e áreas dentro de uma empresa onde os potenciais benefícios da adoção de princípios *Lean* podem ser significativos. Uma extensa lista de exemplos mostra a aplicabilidade do *Lean* no contexto de desenvolvimento de produtos, tais como em design de software [89] [90], áreas aeroespacial [91] [92] e construção [93], para citar apenas alguns.

## 3.2. Método de Pesquisa

Esta revisão bibliográfica procura fornecer uma pesquisa recente sobre os métodos e ferramentas TRIZ aplicadas ao Eco design e *Lean design* para apoiar designers e engenheiros no desenvolvimento de produtos e processos inovadores e sustentáveis. Os dados recolhidos para esta revisão bibliográfica consistem numa extensa análise sistemática de pesquisa dos últimos vinte anos. Para a procura de literatura relevante, utilizou-se a conhecida e consagrada *Web of Science (WoS)*, procurando em todas as bases de dados de 1997 a 2017. A seleção dos últimos 20 anos baseou-se numa revisão prévia da literatura que evidenciou o facto do TRIZ ter obtido um interesse crescente desde os anos 2000, especialmente para aqueles que preferem resultados em revistas indexadas em bases de dados científicas relevantes [81]. Também o número de métodos e ferramentas para a avaliação e melhoria de desempenho ambiental aumentou rapidamente desde o início dos anos 90 devido ao elevado número de normas,

regulamentos e ferramentas estruturadas que foram voluntariamente utilizadas por empresas e institutos ou impostas por instituições públicas [3].

Procurou-se por termos como TRIZ, TIPS, Eco design, *Lean design*, *E innovation* (Eco inovação), *Design for environment* (Design para o ambiente), *Green design*, *Green product*, Life Cycle Assessment (LCA) (Avaliação do Ciclo de Vida), QFD, *Lean manufacturing*, *Lean production*, *Lean management* e *review*. Os termos de pesquisa foram cuidadosamente escolhidos para garantir que eram incluídos o maior número possível de artigos relevantes e a pesquisa foi sempre realizada combinando termos como TRIZ e Eco design ou TRIZ e *Lean Design* ou TRIZ com *Green design* e *Lean*. A seleção foi realizada através da escolha de artigos com essas palavras nos campos de título, resumo ou palavras-chave. Uma seleção inicial foi feita com base no resumo para decidir se o artigo deveria ser incluído numa análise posterior. Em seguida, o conjunto de dados foi revisto manualmente para eliminar os artigos que não estavam relacionados com o tema.

### **3.3. Análise Descritiva**

Inicialmente foi selecionado um total de 100 artigos no período de 1997-2017. Todos os trabalhos foram verificados manualmente, lendo-se os títulos e resumos para garantir que os trabalhos se enquadravam no objetivo do estudo e para omitir os artigos que não abordavam os tópicos da revisão bibliográfica. Com base nesse trabalho, um total de 25 artigos e documentos de conferências foram excluídos. Dos 75 artigos restantes, um total de 59 trabalhos estão relacionados com a integração dos métodos TRIZ com o Eco design, 13 artigos abordam a integração dos métodos TRIZ com questões relacionadas ao *Lean design* e apenas 3 artigos abordam simultaneamente a ligação do TRIZ com Eco e *Lean*. Todos os artigos, em certa medida, referem-se ao TRIZ no contexto Eco design e temas relacionados, como *Design for environment* e Life Cycle Assessment (LCA) e assim por diante. Os trabalhos referidos ao TRIZ no contexto *Lean design* e tópicos relacionados, como *Lean thinking* e *Lean* também foram selecionados.

Tabela 6 - Quadro resumo número de artigos (elaboração própria)

| 75 Artigos selecionados      |                               |                             |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 59 Artigos TRIZ + Eco design | 13 Artigos TRIZ + Lean design | 3 Artigos TRIZ + Eco + Lean |

Dos 75 artigos selecionados para o período em análise, 45 artigos (60%) eram artigos de revistas e 30 artigos (40%) eram artigos de conferências. A figura 11 apresenta os 75 trabalhos selecionados por revista ou por conferência, e a figura 12 apresenta a evolução cronológica dos artigos entre 1997 e 2017.

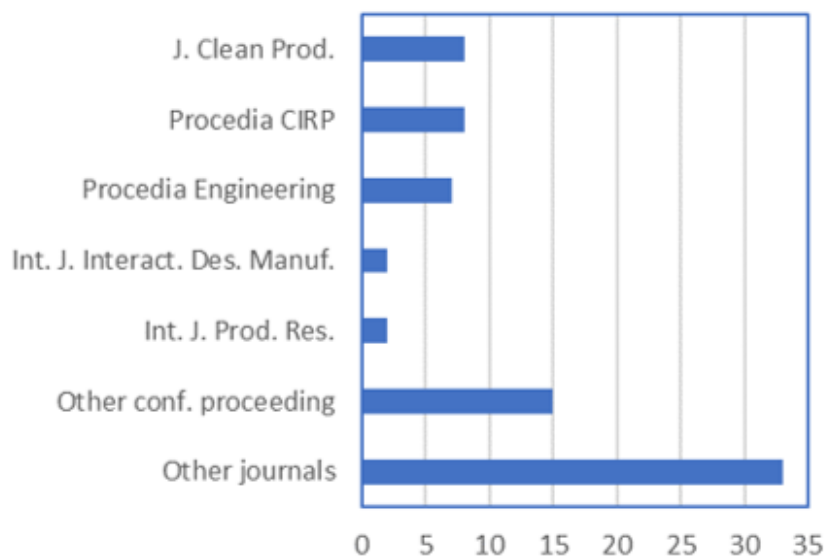


Figura 11 - Número de artigos publicados por revista ou conferência <sup>[94]</sup>

Observa-se que 11% dos artigos foram publicados no *Journal of Cleaner Production*. Aproximadamente, 11% dos artigos de conferência foram publicados no *Procedia CIRP* e 9% no *Procedia Engineering*. Um total de 15 trabalhos de conferências foram agregados em apenas um grupo pois o seu número por conferência era menor que dois, o local da publicação foi classificado de *other journals*, local que engloba a maior percentagem de artigos.

### 3.3.1. Evolução da Distribuição das publicações TRIZ e Lean e/ou Eco design

Como mencionado anteriormente, foi selecionado o período de 1997-2017 para a realização da revisão e foi feito um resumo cronológico dos estudos ao longo do período de vinte anos referente à TRIZ mais *Lean* e / ou Eco design.

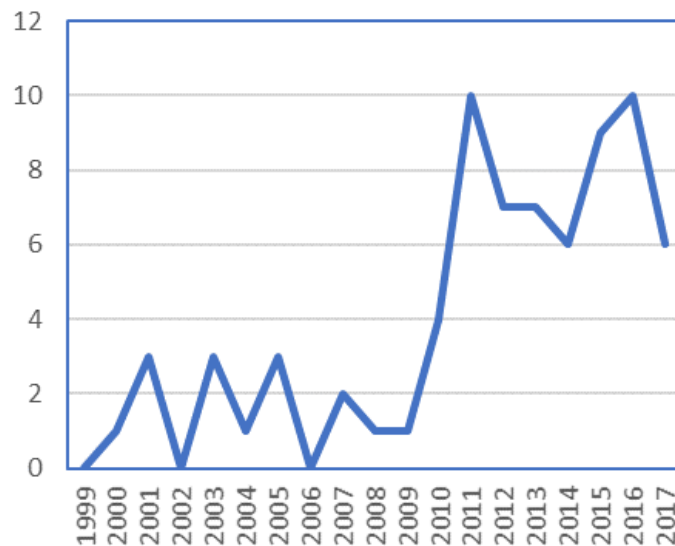


Figura 12 - Evolução cronológica dos artigos entre 1997 e 2017 <sup>[94]</sup>

Conforme apresentado na Figura 12 inicialmente a realização de artigos com referência aos temas abordados eram bastante reduzidas, no entanto, houve uma tendência de crescimento em artigos de revistas e conferências publicados sobre os temas selecionados principalmente a partir do ano de 2010 e posterior, sendo que os anos de 2011 e 2016 foram os que apresentaram o maior número de artigos.

A figura 13 apresenta o número total de artigos e *proceedings* de conferências relacionados com TRIZ + Eco, TRIZ + *Lean* e TRIZ + Eco + *Lean*.

Ao comparar a aplicação dos métodos e ferramentas TRIZ nas abordagens Eco e *Lean*, nota-se que, apesar do grande aumento de ambos os campos no uso do TRIZ, existe uma maior proporção de ferramentas TRIZ com ferramentas de Eco design quando comparadas com ferramentas *Lean* e TRIZ.

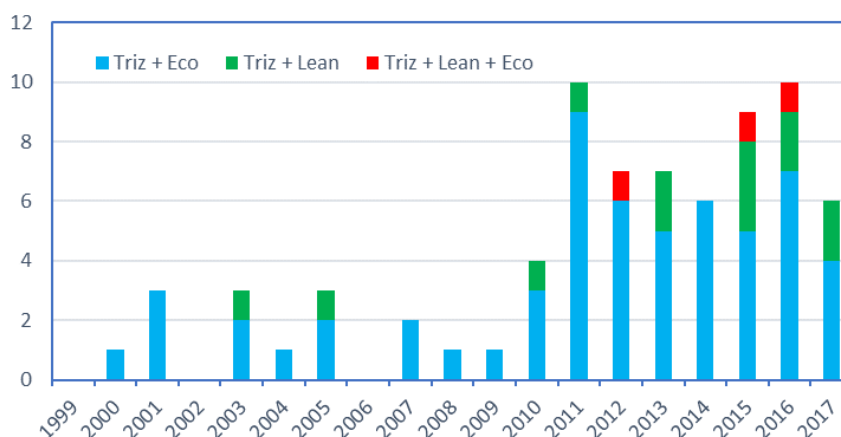


Figura 13 - Número de artigos ou de conferências por tema<sup>[94]</sup>

Verifica-se que a combinação entre Triz e Eco é a mais abordada nos artigos, seguido de TRIZ e *Lean*, sendo que a quantidade de artigos que abordam os temas em conjunto se tem vindo a tornar mais frequente com o passar dos anos. Apenas uma proporção muito pequena (ou seja, 4% dos artigos) foi dedicada ao TRIZ + Eco + *Lean*. Um desses artigos utilizou o TRIZ combinado com um método de análise de decisão multicritério (FAHP) no projeto de um produto inovador com base no conceito de *Lean production*, mas não com o foco de aplicar TRIZ e vincular o Eco design e a abordagem *Lean design*<sup>[95]</sup>. Também, Bashkite e Karaulova<sup>[2]</sup> usaram uma abordagem combinada para o *Lean thinking* com *Green manufacturing* e com o TRIZ com o principal objetivo de criar um pequeno guia para os designers mostrando onde começar o caminho para inovar, de forma ambientalmente amigável e de produção rentável. Pacheco et al.<sup>[7]</sup> também foi um desses casos que combinou TRIZ com *Lean* e Eco inovação e propôs um modelo para identificar desperdícios ou contradições e a sua eliminação ou redução através do uso conjunto de ferramentas analíticas com impacto na Eco inovação baseada em TRIZ e *Lean product service system*.

Os trabalhos foram examinados em termos de campo de engenharia, contexto de conhecimento e / ou aplicação industrial. Dos 75 artigos examinados, 43% correspondem a uma variedade de estudos de casos industriais ou exemplos de uma variedade de diferentes indústrias onde os dados empíricos foram coletados. As aplicações industriais incluem: indústria automóvel, design de produto químico e de bioprocessos, indústria têxtil e de vestuário, indústria cerâmica, produtos embalados, hidroenergia, sistemas de refrigeração, entre outros.

### 3.3.2. Conclusões sobre a Revisão Bibliográfica

Através da revisão bibliográfica foi possível retirar algumas conclusões iniciais que permitem responder a algumas das questões efetuadas no ponto 3.1 e que poderão ser úteis para uma análise mais profunda e detalhada sobre o tema.

Desta forma, é possível concluir que ao longo das últimas décadas, especialmente entre 2011 e 2016, houve um interesse crescente sobre a utilização de métodos e ferramentas TRIZ e a sua associação com o Eco design e *Lean design*. O TRIZ é aplicado em diversas áreas, com especial atenção para as áreas de engenharia e em contexto industrial. Ao comparar a aplicação dos métodos e ferramentas TRIZ nas abordagens Eco e *Lean*, nota-se que, apesar do grande aumento de ambos os campos no uso do TRIZ, existe uma maior proporção de ferramentas TRIZ com ferramentas de Eco design quando comparadas com ferramentas *Lean* e TRIZ. Ainda assim, existe uma lacuna muito grande no que diz respeito a iniciativas que associem os temas: TRIZ + *Lean design* + Eco design. A Matriz de Contradição Técnica é uma das ferramentas TRIZ mais utilizadas individualmente e em conjunto com o *Lean design* e o Eco design. É possível concluir que objetivo geral da associação das 3 metodologias passa por identificar desperdícios ou contradições e a sua eliminação ou redução através do uso conjunto de ferramentas analíticas com impacto a nível de Eco design. Para futuras investigações sobre o uso da TRIZ nos paradigmas de Eco design e *Lean design* é necessário criar uma mentalidade de que é possível associar as 3 metodologias em conjunto. A criação de uma Framework que englobe as ferramentas utilizadas e que aponte para uma abordagem TRIZ poderá ser o início para a procura de soluções alternativas e viáveis que permitam associar os temas: TRIZ + *Lean design* + Eco design.

## 4. Abordagem integradora das ferramentas TRIZ, *Lean* e Eco Design

No capítulo 4 é feita a proposta de uma abordagem integradora que englobe as ferramentas de *Lean* Design, Eco Design e ferramentas TRIZ e que possa auxiliar na resolução de problemas e melhoria da eficiência contribuindo para o aumento da sustentabilidade das organizações. Com base nas ferramentas mais utilizadas propõe-se um modelo genérico cuja estrutura foi desenvolvida tendo por base a análise da revisão bibliográfica efetuada.

### 4.1. Ferramentas TRIZ no Eco e Lean Design

Para entender melhor as direções futuras e pesquisas futuras sobre o uso do TRIZ nos paradigmas de Eco design e *Lean* design, os artigos foram avaliados em termos de ferramentas para compreender melhor como é que o TRIZ foi aplicado em Eco design e *Lean* design e para entender a integração das suas ferramentas com outras ferramentas. A Tabela 7 apresenta os artigos e trabalhos resultantes da revisão bibliográfica efetuada agregados pelas ferramentas mais populares do TRIZ utilizadas nos estudos, a combinação do TRIZ com outras ferramentas Eco e *Lean* e outras ferramentas utilizadas nos estudos cujo levantamento foi efetuado.

Tabela 7 - Ferramentas TRIZ em Eco e Lean design e integração com outras ferramentas<sup>[94]</sup>

|  | TRIZ + Eco  | TRIZ + Lean                               |
|--|---|---|
| <b>Ferramentas TRIZ mais populares</b> |   |   |
| <b><i>Laws of evolution</i></b>        | [[76], [89], [96],<br>[97], [98], [99], [100],<br>[101], [102], [103], [104]]   |   |
| <b><i>Contradiction matrix</i></b>     | [[71], [2], [105],<br>[106], [107], [108], [109],<br>[110], [111], [112], [113],<br>[114], , [100], [81], [115],<br>[116], [117], [118], [119],<br>[120]] | [[95], [2], [121],<br>[122], [123] [124]] |
| <b><i>Inventive principles</i></b>     | [[71], [7], [103],<br>[104], [81], [115], [116],  |   |

|  | <b>TRIZ + Eco</b>   | <b>TRIZ + Lean</b>       |
|--|---|--------------------------|
| <b><i>Inventive principles</i></b>         | [117], [105], [107], [111],<br>[112], [113], [114], [121],<br>[122], [123]] |                          |
| <b><i>Ideal final result (IFR)</i></b>     | [[74], [2], [125],<br>[126], [127]]   |                          |
| <b><i>Su-field analysis</i></b>            | [[115], [114], [128]<br>]   | [[124], [129]]           |
| <b><i>ARIZ</i></b>                         | [[130]]   | [[129]]                  |
| <b><i>Separation Principles</i></b>        | [[81]]  | [[131]]                  |
| <b>TRIZ associado a outras ferramentas</b> |   |                          |
| <b><i>Life Cycle Assessment</i></b>        | [[74], [100], [115],<br>[132], [126], [42], [133]]                          |                          |
| <b><i>Case-based reasoning (CBR)</i></b>   | [[118], [108],<br>[134], [135]]   |                          |
| <b><i>FMEA</i></b>                         | [[116]]   | [[121], [136],<br>[137]] |
| <b><i>QFD</i></b>                          | [[104], [115],<br>[119], [120], [105], [106],<br>[132], [138], [139]]       |                          |
| <b><i>AHP, FAHP</i></b>                    | [[99], [119]]   | [[95]]                   |
| <b><i>5S</i></b>                           |   | [[140]]                  |
| <b><i>Axiomatic Design</i></b>             |   | [[103]]                  |
| <b><i>Theory of constraints</i></b>        |   | [[131]]                  |
| <b><i>Lids</i></b>                         | [[141]]   |                          |
| <b><i>Value engineering</i></b>            | [[104]]   | [[137]]                  |
| <b><i>Value stream mapping</i></b>         |   | [[142]]                  |

As ferramentas TRIZ identificadas com maior frequência nos estudos foram em primeiro lugar a matriz de contradição e os princípios inventivos, seguidos pelas leis de evolução, o Resultado Final Ideal (IFR) e a Análise Su-Field. Analisando o TRIZ combinado com outras ferramentas de Eco design, identificamos *Life Cycle Assessment* e *Lids* como algumas das ferramentas utilizadas no Eco design. Em relação ao TRIZ com o *Lean*, identificamos o *5S* e *Value stream mapping* como as principais ferramentas utilizadas. Além disso observamos que existem outro tipo de metodologias que foram bastante usadas, como o QFD, uma das abordagens mais utilizadas, principalmente no contexto de Eco design e design de inovação. Ferramentas como o FMEA, são preferidos pelos investigadores quando observam o assunto

Lean design, *Lean thinking* ou *Lean management*. Além disso, a ferramenta *Case Based Reasoning* (CBR) também é amplamente utilizada e identificada em alguns dos estudos de Eco design e design de inovação. Técnicas de Tomada de Decisão Multicritério como AHP (*Analytic Hierarchy Process*), *Fuzzy Cognitive Maps* (FCMs) ou *Fuzzy AHP* também foram utilizadas e surgiram como uma oportunidade de integração com a TRIZ no contexto da abordagem Eco e *Lean design*.

#### 4.1.1. Framework com ferramentas Eco design, *Lean* e indicadores-chave de desempenho

A estrutura proposta, incluindo as principais ferramentas de Eco e *Lean* e os principais indicadores de desempenho usualmente utilizados nos paradigmas Eco e *Lean*, é apresentada na Figura 14. Os indicadores de desempenho, também conhecidos como KPI'S são um conjunto de indicadores que permitem avaliar continuamente a posição e evolução de uma determinada atividade/processo que decorre numa empresa. Uma abordagem tradicional para lidar com contradições entre Eco e *Lean* KPIs consiste em métodos de trade-offs por otimização, simulação de eventos discretos ou até mesmo por algumas regras práticas. A abordagem TRIZ terá o enorme benefício de lidar com as contradições existentes sem a necessidade de uma solução de compromisso.

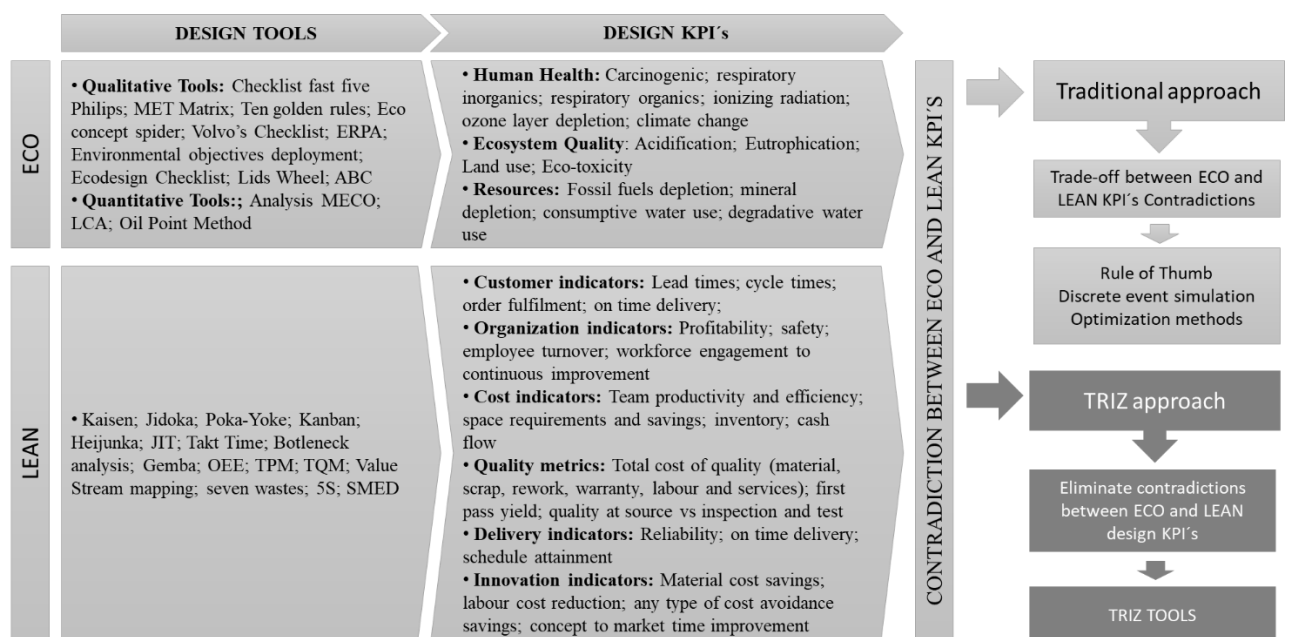


Figura 14 - Framework para combinar Eco, e *Lean* KPI's e TRIZ [94]

A utilização do Framework pretende ser simples e adaptada a qualquer tipo de situação, assim, a ideia principal passa por resolver possíveis contradições que possam ser provocadas pela utilização simultânea da metodologia Eco e da filosofia *Lean*, o que irá contribuir para um aumento significativo da utilização das mesmas. A abordagem tradicional para a resolução dessas contradições normalmente implica fazer uma escolha entre as ferramentas utilizadas, abdicando de uma delas. Com a abordagem TRIZ qualquer pessoa terá a possibilidade de eliminar as contradições existentes através da utilização de ferramentas TRIZ apropriadas como é o caso da Matriz Técnica de Contradições. As ferramentas TRIZ são facilmente adaptáveis para várias situações, tornando-se uma mais valia no desenvolvimento de soluções que não impliquem uma escolha “forçada” entre a aplicação da metodologia Eco e a filosofia *Lean*.

Para uma correta utilização do Framework é necessário definir quais os objetivos a atingir e quais os parâmetros Eco e Lean a atingir, esta fase inicial irá definir a possível existência ou não de contradições geradas pelos parâmetros Eco e *Lean*. Com a análise efetuada será possível selecionar as ferramentas TRIZ mais adequadas para a resolução das contradições existentes e posterior aplicação.

## **4.2. Futuras direções para o uso das Ferramentas TRIZ, Lean e Eco Design**

O principal objetivo da revisão consistiu em encontrar estudos individuais relevantes que abordassem a extensão de como a pesquisa existente sobre iniciativas de Eco e iniciativas de *Lean* direcionadas para o design progrediu para o uso de métodos TRIZ nas duas últimas décadas. A revisão bibliográfica foi um ponto de partida para o desenvolvimento de uma estrutura, que inclui as principais ferramentas de Eco e *Lean* design, bem como os principais indicadores de desempenho (KPI's) utilizados nos estudos Eco e *Lean* para que seja possível entender melhor as direções para pesquisas futuras sobre o uso do TRIZ em Eco design e paradigmas de *Lean* design, bem como a identificação de possíveis lacunas, problemas e oportunidades. Foi possível verificar que há algum trabalho a ser desenvolvido na busca de modelos que acomodem a aplicação de ferramentas TRIZ com Eco e *Lean* design, procurando os benefícios de tais modelos. As ferramentas TRIZ terão o benefício de procurar soluções para lidar com as contradições sem a necessidade de fazer concessões para chegar a soluções de

compromisso.

Assim, é necessário apostar no desenvolvimento de modelos específicos que identifiquem soluções específicas para as contradições que vão sendo encontradas. Também é necessário realizar e desenvolver um maior número de pesquisas que relacionem o uso do TRIZ em Eco design e paradigmas de Lean design, de forma a manter a informação obtida através da revisão bibliográfica revista e atualizada.

## 5. Caso de Estudo

Neste capítulo apresenta-se um estudo de caso desenvolvido no laboratório de formação de analistas químicos do ISEL, laboratório financiado pela empresa Hovione. A Hovione, que investiga e desenvolve novos processos químicos e produz princípios ativos para a indústria farmacêutica mundial, emprega mundialmente cerca de 1700 pessoas, das quais 830 em Portugal, financiou através do programa 9ºW a instalação do ISEL de um laboratório de química analítica, o pHarmalab, que se encontra completamente dotado do mais moderno equipamento.

Nesse espaço os estudantes habilitados com o 12º ano (via profissional ou ensino regular) que tenham interesse e pretendam reforçar competências no domínio da Química Analítica podem vir a receber formação prática e especializada durante 4 meses num ambiente que reúne as condições necessárias ao desenvolvimento das competências que os formandos necessitam de adquirir para que possam ingressar com sucesso os laboratórios analíticos da indústria farmacêutica.

O caso de estudo desenvolveu-se assim nas instalações do laboratório pHarmalab, no ISEL através da Área Departamental de Engenharia Química (ADEQ).

O principal objetivo deste caso de estudo assenta na aplicação ao ambiente laboratorial de algumas das ferramentas preconizadas na abordagem descrita no capítulo 4 como contributo para a sustentabilidade de forma a melhorar o desempenho económico com a redução dos vários tipos de desperdícios que não acrescentam valor ao trabalho diário realizado no laboratório e também à utilização de ferramentas para efetuar um diagnóstico ambiental no sentido de poder vir a reduzir o impacto ambiental. Pretende-se com a aplicação deste tipo de ferramentas a um caso pratico ter um maior e melhor conhecimento da realidade laboratorial de forma a vir a implementar medidas que contribuam para o aumento da sustentabilidade.

Das várias ferramentas descritas no capítulo 4 e sumarizadas na figura 14 resolveu utilizar-se os “desperdícios *Lean*” com vista a efetuar um diagnóstico *Lean* laboratorial e utilizar a matriz MET para efetuar um diagnóstico Eco. Com base no diagnóstico *Lean* e Eco preconizar a utilização de uma abordagem TRIZ com vista à eliminação de contradições técnicas que possam existir e sempre numa perspetiva de garantir uma maior forma de sustentabilidade.

Em uma fase inicial os dados que permitiram chegar a análise e aplicação das metodologias estudadas foram obtidos, entre outras formas, através da troca de ideias com pessoas afetas ao pHarmalab e através da análise de protocolos referentes ao laboratório

## 5.1. Diagnóstico Lean

O primeiro passo teve como objetivo a avaliação *Lean* do laboratório de formação de analistas químicos do ISEL através do diagnóstico da situação atual no sentido de identificar os aspetos a melhorar para promover uma cultura de melhoria contínua que tenha um impacto positivo em todos e que apresente os benefícios dos aspetos do *Lean* Laboratorial.

O diagnóstico *Lean* permitirá posteriormente por parte dos responsáveis do laboratório vir a proceder à otimização dos processos e redução dos desperdícios o que contribuirá para o aumento da eficiência do trabalho laboratorial. No entanto é necessário ter sempre em conta que o pHarmalab apresenta outros tipos de desafios particulares quando comparado com os laboratórios habituais, em meio empresarial, uma vez que se trata de um laboratório instalado num meio institucional e com vista à formação e não de um laboratório a nível industrial e de produção.

A implementação bem-sucedida do *Lean Manufacturing* em muitos setores inspira cada vez mais empresas (e.g., indústria farmacêutica) a adotarem o modelo *Lean* para os seus laboratórios, pois, ainda que existam grandes diferenças entre o trabalho laboratorial e trabalho industrial, é possível adaptar vários aspetos dos princípios-chave do *Lean* ao trabalho laboratorial. Assim, o *Lean* pode e deve ser aplicado em laboratórios através de uma adaptação cuidadosa das técnicas com base numa compreensão completa dos processos laboratoriais e com o objetivo de otimizar a produtividade e eficiência, minimizando todas as atividades que não agregam valor, o que trará benefícios significativos tanto em termos de produtividade, como de eficiência, uma vez que o grande objetivo passa por retirar do processo tudo o que possa ser considerado como excesso ou desperdício (i.e., conjunto de atividades que não acrescentam valor).

### 5.1.1. Tipo e classificação de desperdício Lean Lab.

O caminho a seguir para aumentar a eficiência *Lean* do laboratório de formação de analistas químicos passa por eliminar os vários tipos de desperdícios que possam existir.

As atividades ineficientes e a serem minimizadas são descritas em 8 tipos diferentes de desperdícios que provocam tempos inúteis para o funcionamento do laboratório. Na tabela 8 apresentam-se os oito tipos de desperdícios *Lean* e a sua interpretação adaptada aos processos laboratoriais.

Tabela 8 - Desperdícios *Lean* Laboratório (elaboração própria)

| Desperdícios        | Interpretação  |
|---------------------|--|
| Tempo de espera     | O tempo de espera é o tempo inativo (em espera ou menos produtivo) criado quando os colaboradores esperam por amostras, materiais, equipamentos de laboratório, informações de colegas de trabalho, ajuda, aprovações, etc. O tempo de espera traduz-se em tempo de inatividade quando pessoas e equipamentos não estão a criar nenhum tipo de valor.  |
| Sobre processamento | Desperdício que pode ser aplicado a várias atividades do cotidiano de um laboratório. Quando a produção não está suficientemente incluída no desenvolvimento de processo o resultado poderá conduzir a recursos inapropriados ou sistemas inadequados. Para o laboratório, isso poderia ser a necessidade de mais recursos do que o necessário para um teste. A utilização de métodos muito complexos ou demasiado consumidores de tempo havendo alternativas a estes. Pode ser também a realização excessiva de revisões aos testes efetuados. Essencialmente, isso ocorre quando é colocado muito trabalho no processo e tal não acrescenta valor. |

| Desperdícios  | Interpretação   |
|---------------|---|
| Sobreprodução | <p>É a realização e/ou produção excessiva de algo. Para um laboratório isso pode ser interpretado como a necessidade de realizar um novo teste ou por exemplo a produção excessiva de reagentes, padrões e outros consumíveis feitos no laboratório. Em ambos os cenários, é potencialmente um desperdício de tempo e de materiais.</p>   |
| Defeitos      | <p>Em qualquer processo, o trabalho precisa ser realizado corretamente à primeira vez. Um defeito é quando um trabalho que apresenta problemas ou erros devido a vários fatores é enviado para a próxima etapa do processo. Isso irá direcionar para uma investigação adicional. No laboratório tal poderá corresponder a falhas de adequação do sistema, resultados fora de especificação (<i>out of specification</i> – OOS), tendências (<i>out of trend</i> – OOT), investigações, re-testes, revisão da documentação, correção de erros, entre outros.</p> |
| Movimentação  | <p>Este desperdício está relacionado com a movimentação de pessoal ou equipamento mais vezes ou por distâncias maiores do que aquilo que é necessário para levar a cabo um processo. Isso corresponde ao excesso de movimentação que resulta de operações diárias e onde se inclui entre outros, a movimentação com maior frequência, por uma distância maior e com um esforço maior do que o necessário.</p>   |
| Inventários   | <p>Está relacionada com a parte administrativa, e pode ser considerada como a soma de todas as tarefas que aguardam ser processadas. No laboratório tal poderá corresponder a excesso de stocks de produtos consumíveis, prazos de validade de reagentes e padrões, entre outros.</p>   |

| Desperdícios | Interpretação   |
|--------------|---|
| Transporte   | Transportar qualquer coisa que não agregue valor direto ao produto ou serviço final é outra forma de desperdício. Isso inclui não apenas materiais e documentos, como também a movimentação de pessoal para diferentes espaços para concluir um processo. No laboratório tal poderá corresponder por exemplo, à armazenagem de amostras e materiais em espaços que poderão estar distantes do laboratório.  |
| Pessoal      | Verifica-se este desperdício quando há pouca envolvimento do pessoal com o seu trabalho ou existe uma má gestão sobre o nível de conhecimento dos colaboradores. No laboratório tal poderá corresponder à falta de envolvimento do pessoal que pode ser causada por: elevada rotatividade do pessoal, métodos demasiado complicados, treino insuficiente, SOPs (instruções deficitárias), SOPs não serem seguidos, equipamentos com problemas de manutenção, problemas na gestão dos fornecimentos, problemas de stocks, acidentes. |

Com o propósito de estabelecer um instrumento de medida *Lean* para o pHarmalab foi criada uma tabela de classificação do nível *Lean* em que cada tipo de desperdício se encontra (tabela 9). Desta forma é possível fazer um melhor enquadramento das reais necessidades e melhorias a efetuar para que a filosofia seja melhor implementada e se possa atingir níveis de excelência.

Tabela 9 - Nível de classificação Lean (elaboração própria)

| Classificação <i>Lean</i> | Nível | Percentagem |
|---------------------------|-------|-------------|
| <b>Muito insuficiente</b> | 1     | 0%-19%      |
| <b>Insuficiente</b>       | 2     | 20%-49%     |
| <b>Suficiente</b>         | 3     | 50%-69%     |
| <b>Bom</b>                | 4     | 70%-89%     |
| <b>Muito Bom</b>          | 5     | 90%-100%    |

- Nível 1

Os desperdícios que se encontram dentro deste intervalo não contribuem para uma aplicação eficiente do *Lean*. Como se encontram muito longe da filosofia *Lean*, é necessário criar, estruturar e iniciar um projeto *Lean* no laboratório. Numa fase inicial é necessário começar com passos simples e perceber quais as maiores dificuldades para eliminar o desperdício. A ferramenta 5S pode ser de grande ajuda para este processo inicial.

- Nível 2

Os desperdícios que se encontram dentro deste intervalo são insuficientes para uma aplicação eficiente do *Lean*. Tal como para o nível 1 é necessário criar, estruturar e iniciar um projeto *Lean* no laboratório, caso já exista um projeto *Lean* é aconselhável fazer-se uma reavaliação do mesmo e suas aplicações.

- Nível 3

Os desperdícios que se encontram dentro deste intervalo representam uma aplicação satisfatória da filosofia *Lean*, no entanto ainda há espaço para muitas melhorias, é preciso fazer uma reavaliação da situação e perceber como se pode melhorar.

- Nível 4

Desperdícios dentro deste intervalo de percentagem significam que a implementação da filosofia *Lean* está no caminho certo, isso é, está num bom caminho, mas ainda é necessário fazer alguns ajustes para que os resultados *Lean* sejam mais notórios e satisfatórios.

- Nível 5

Desperdícios dentro deste intervalo significam uma filosofia *Lean* muito bem implementada, é necessário manter esse nível e para tal um processo de melhoria contínua e follow-ups são cruciais. Uma aplicação eficiente dentro de qualquer desperdício *Lean* deve ser visível em termos trabalho, qualidade e custos.

### 5.1.2. Problemas *Lean Lab*.

Com base na informação da tabela 9 foram realizadas pesquisas e discussão de ideias. O resultado dessas pesquisas e troca de ideias foi a criação de um conjunto significativo de informação que auxilia a determinar a causa ou origem do problema em cada tipo de desperdício. O que também originou a construção e estruturação de um diagrama causa-efeito que permitiu explorar de forma sistemática os diversos aspetos dos problemas associados a cada tipo de desperdícios *Lean*. Assim, as tabelas de 10 a 17 e a figura 15, pretendem representar possíveis causas de cada tipo de desperdício *Lean* e consequentes problemas (efeitos) associados.

Tabela 10 - Diagrama causa-efeito grupo 1 (elaboração própria)

| <b>Sobreprodução - Grupo 1</b>  |   |
|---|---|
| <b>Causa</b>  | <b>Problemas (Efeito)</b>   |
| Falta de controlo sobre os reagentes/produtos;<br>Défice no planeamento das atividades;<br>Má gestão na utilização dos recursos humanos;<br>Problemas no controlo e análise de resultados | Necessidade de realizar novos teste; Produção excessiva de reagentes, padrões e outros consumíveis feitos no laboratório;<br>Desperdício de tempo e de materiais. |

Tabela 11 - Diagrama causa-efeito grupo 2 (elaboração própria)

| <b>Defeitos - Grupo 2</b>   |  |
|---|--|
| <b>Causa</b>  | <b>Problemas (Efeito)</b>  |
| Mau uso das técnicas;<br>Problemas de climatização;<br>Problemas com fornecedores;<br>Problemas de qualidade com reagentes e produtos;<br>Libertação de compostos poluentes; Utilização de produtos com defeitos;<br>Falta de plano de calibração para os equipamentos;<br>Falta de manutenção dos equipamentos | Falhas de adequação do sistema;<br>Resultados fora de especificação ( <i>out of specification – OOS</i> ),<br>tendências ( <i>out of trend – OOT</i> );<br>Investigações; Retestes; Revisão da documentação e correção de erros. |

Tabela 12 - Diagrama causa-efeito grupo 3 (elaboração própria)

| <b>Tempo de espera - Grupo 3</b>   |  |
|--|--|
| <b>Causa</b>   | <b>Problemas (Efeito)</b>  |
| Má distribuição da carga de trabalho; Indefinição no tempo de execução dos ensaios; Conflitos na utilização do equipamento; Mau aproveitamento do tempo durante a preparação das amostras; Prazos indefinidos para aprovação de amostras; Prazos indefinidos para aprovação de amostras para iniciar uma investigação OOS; Indisponibilidade de uso dos reagentes/materiais na altura em que são necessários; Indisponibilidade de utilização dos equipamentos/instrumentos na altura em que são necessários | Tempo de inatividade quando pessoas e equipamentos não estão a criar nenhum tipo de valor. |

Tabela 13 - Diagrama causa-efeito grupo 4 (elaboração própria)

| <b>Competência do Pessoal - Grupo 4</b>   |   |
|---|---|
| <b>Causa</b>  | <b>Problemas (Efeito)</b>   |
| Falta de rotatividade dos colaboradores perante as funções a desempenhar no laboratório; Falta de conhecimento técnicos; Falta de formação extra dada aos colaboradores; Falta de conhecimento de todos os procedimentos operacionais padrão (SOPs); Não cumprimento dos procedimentos operacionais padrão (SOPs); Falta de aproveitamento da experiência e do Know-how dos colaboradores; Falta de envolvidos dos colaboradores nas atividades do laboratório; Falta de condições de saúde e segurança para os colaboradores; Falta de distribuição de responsabilidades pelos colaboradores; Falta de supervisionamento do trabalho realizado; Sobrecarga horária | Elevada rotatividade do pessoal; Métodos demasiado complicados; Treino/formação insuficiente; SOPs (instruções deficitárias); SOPs não serem seguidos; Equipamentos com problemas de manutenção; Problemas na gestão dos fornecimentos; Problemas de stocks. Acidentes. |

Tabela 14 - Diagrama causa-efeito grupo 5 (elaboração própria)

| <b>Transporte - Grupo 5</b>  |  |
|--|--|
| <b>Causa</b>   | <b>Problemas (Efeito)</b>  |
| Dificuldade em transportar as ferramentas de maneira rápida e fácil pelo laboratório; Transporte das ferramentas e materiais por percursos indefinidos; Desorganização das estações de trabalho; Falta de organização no armazenamento das ferramentas gerais do laboratório; Equipamentos desapropriados para o transporte dos equipamentos/ produtos químicos; Falta de informação sobre o que transportar | Armazenagem de amostras e materiais em espaços que poderão estar distantes do laboratório. |

Tabela 15 - Diagrama causa-efeito grupo 6 (elaboração própria)

| <b>Inventário - Grupo 6</b>  |  |
|--|--|
| <b>Causa</b>   | <b>Problemas (Efeito)</b>  |
| Falta de verificação das datas de validade dos produtos químicos do laboratório e dos reagentes; Gestão ineficaz dos consumos de reagentes e consumíveis; Acondicionamento/armazenamento inadequado para as substâncias/reagentes utilizados no laboratório; Controlo inadequado do stock de substâncias/reagentes e da sua utilização; Existência de stocks a funcionar como buffers para as atividades laboratoriais; Falta de verificação regular do espaço de armazenagem disponível; Tipo de seguimento dado aos produtos químicos do laboratório e aos reagentes que ultrapassam o prazo de validade | Excesso de stocks de produtos consumíveis, prazos de validade de reagentes e padrões |

Tabela 16 - Diagrama causa-efeito grupo 7 (elaboração própria)

| <b>Movimentação/Distância - Grupo 7</b>   |   |
|---|---|
| <b>Causa</b>  | <b>Problemas (Efeito)</b>   |
| Sequência aleatório dos equipamentos; longas distâncias nas etapas individuais de trabalho; Falta de fluidez das amostras pelo laboratório; Inexistência de procedimentos para o transporte de equipamentos e materiais; Movimentação desnecessária e por parte dos colaboradores; Espaço agitado e confuso | Excesso de movimentação; Movimentação com maior frequência; Maior distância percorrida; Mais esforço maior do que o necessário. |

Tabela 17 - Diagrama causa-efeito grupo 8 (elaboração própria)

| <b>Pessoal - Grupo 8</b>  |   |
|---|---|
| <b>Causa</b>  | <b>Problemas (Efeito)</b>   |
| Falta de utilização e aproveitamento dos indicadores mais importantes, como OOS, RFT, etc.; Inexistência de um planejamento das atividades laboratoriais; Falta de estimativa de sobre as quantidades a utilizar como reagente; Atividades laboratoriais realizadas aleatoriamente; Dessincronização na realização das atividades; Falta de acompanhamento diário das atividades laboratoriais; falta de verificação dos resultados laboratoriais obtidos | Necessidade de mais recursos do que o necessário para um teste; Utilização de métodos muito complexos ou demasiado consumidores de tempo; Revisões excessivas aos testes efetuados. |

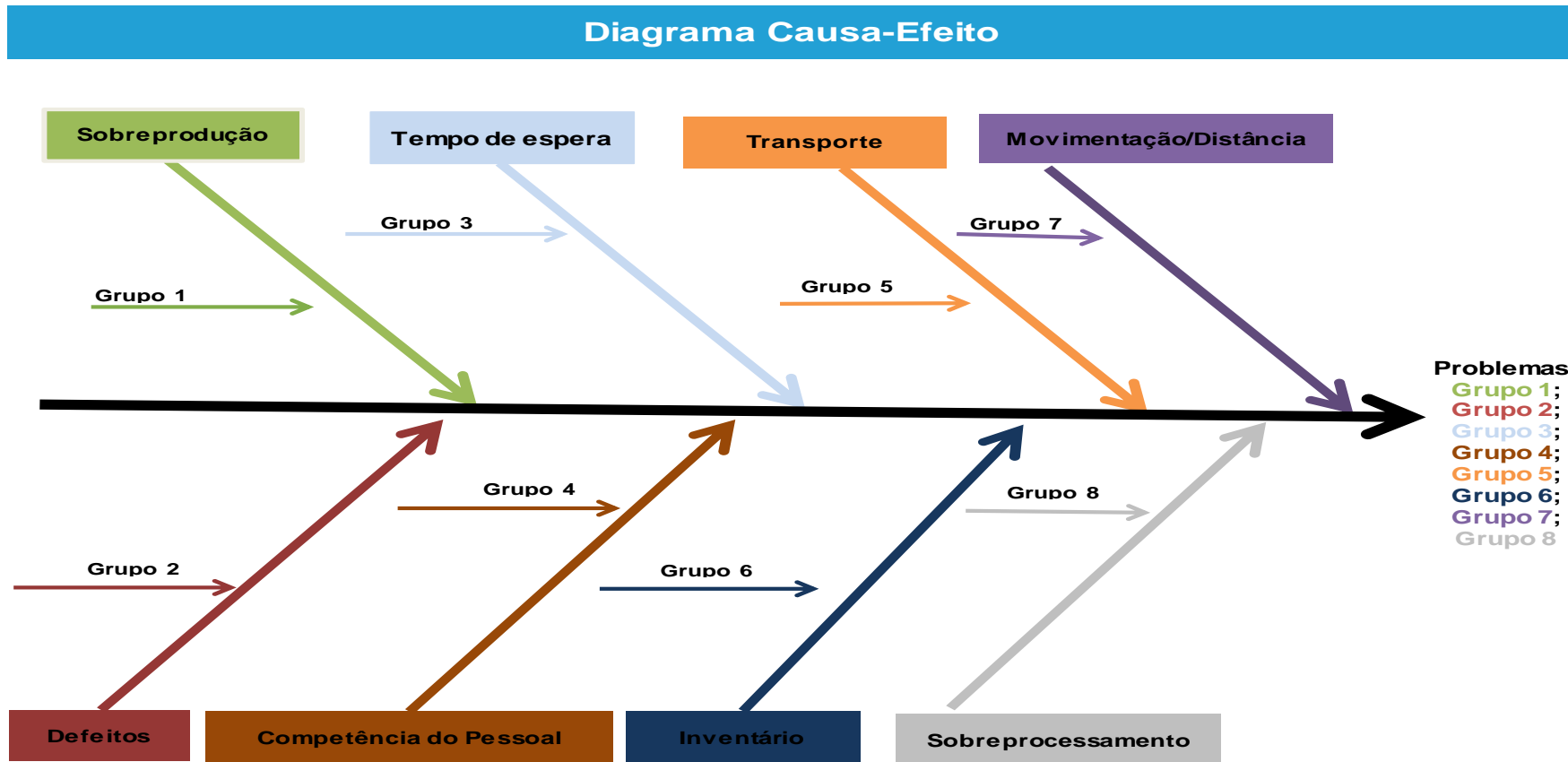



Figura 15 - Diagrama Causa-Efeito Desperdícios no Laboratório (elaboração própria)

### 5.1.3. Instrumento de recolha de dados

Para dar resposta ao diagnóstico e auxiliar a transformação do laboratório de formação de analistas químicos num laboratório *Lean*, desenvolveu-se um Instrumento de recolha de dados para os responsáveis e colaboradores do pHarmalab. Este instrumento é constituído por uma série de afirmações colocadas num conjunto de blocos alinhados de acordo com os oito tipos de desperdícios identificados na tabela 8. As afirmações colocadas por blocos são de resposta fechada, dicotómica onde cada respondente só tem duas opções de resposta, Verdadeiro/Falso. As afirmações foram elaboradas com base na consulta das regras de funcionamento do laboratório, dos procedimentos operacionais padrão, através da análise detalhada do diagrama de causa efeito apresentado na figura 16 e as respetivas tabelas e ainda através de todos os inputs recebidos por pessoas com experiência na realização de trabalho laboratorial.

A figura 16 apresenta um excerto do instrumento de recolha de dados que se encontra no anexo IV.



### DIAGNÓSTICO LEAN LAB

O presente diagnóstico enquadra-se no caso de estudo realizado para o Trabalho Final de Mestrado – Integração de Ferramentas Lean, Eco e TRIZ e seu contributo para a sustentabilidade - do Mestrado em Engenharia da Qualidade e do Ambiente do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e tem como objetivo a recolha de dados de maneira a realizar uma avaliação Lean do laboratório Pharmalab através da análise da situação atual no sentido de identificar oportunidades de melhoria para promover uma cultura de melhoria contínua que suporte os benefícios dos aspetos do Lean Laboratorial. Os dados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos.

Este apresenta-se dividido num conjunto de oito secções correspondendo aos vários tipos de desperdícios *Lean Lab* e são feitas afirmações que só têm duas opções de resposta verdadeiro/falso. Assinale com (X) a opção que considera correta.

O tempo estimado de preenchimento é de 30 minutos. Será garantido o anonimato das respostas

| Inventários  | Verdadeiro | Falso |
|--|------------|-------|
| As datas de validade dos produtos utilizados no laboratório são verificadas sistematicamente.  |            |       |
| Os consumos de reagentes/consumíveis/ materiais são normalmente planeados.   |            |       |
| Os consumos não planeados de reagentes/consumíveis/materiais são registados.   |            |       |
| O acondicionamento/armazenamento é adequado aos produtos utilizados no laboratório. (Rótulos íntegros, FISPQ, seguindo critérios da tabela de incompatibilidades químicas, armazenamento sob refrigeração quando necessário, etc.) |            |       |

Figura 16 - Excerto do instrumento de Diagnóstico Lean Lab

A análise será feita por simples contagem do número de respostas sim versus não para cada bloco. Quanto maior o número de respostas sim melhor será o desempenho *Lean* laboratório.

#### 5.1.4. Tratamento e análise de dados

As respostas foram identificadas por tipo de desperdício e respondente de forma a avaliar o número de respostas obtidas que apontam para um desempenho *Lean* (i.e., respostas assinaladas como verdadeiro) e as que apontam para algum tipo de desperdício (i.e., respostas assinaladas como falso).

Na tabela 18 apresenta-se um resumo da análise efetuada com o total de respostas dos coordenadores de projeto (CP), responsável de laboratório (RL) e técnico de laboratório (TL), sendo que para o tratamento de dados o responsável de laboratório (RL) e o técnico de laboratório (TL) são designados de Colaboradores Técnicos do laboratório (CT\_Lab1 e CT\_Lab2).

Tabela 18 - Quadro resumo das respostas do questionário (elaboração própria)

|                                     |          | Coordenador projeto 1 | Coordenador projeto 2 | CT_Lab 1 | CT_Lab 2 | Total perguntas por parâmetro |
|-------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|-------------------------------|
| <b>Inventários</b>                  | <b>V</b> | 9                     | 9                     | 13       | 13       | 15                            |
|                                     | <b>F</b> | 6                     | 6                     | 2        | 2        |                               |
| <b>Sobre Processamento</b>          | <b>V</b> | 6                     | 7                     | 8        | 7        | 10                            |
|                                     | <b>F</b> | 4                     | 3                     | 2        | 3        |                               |
| <b>Tempo de Espera</b>              | <b>V</b> | 5                     | 7                     | 11       | 11       | 16                            |
|                                     | <b>F</b> | 11                    | 9                     | 5        | 5        |                               |
| <b>Comportamento do Pessoal Lab</b> | <b>V</b> | 18                    | 17                    | 25       | 25       | 27                            |
|                                     | <b>F</b> | 9                     | 10                    | 2        | 2        |                               |
| <b>Defeitos</b>                     | <b>V</b> | 33                    | 30                    | 37       | 41       | 60                            |
|                                     | <b>F</b> | 27                    | 30                    | 23       | 19       |                               |
| <b>Sobreprodução</b>                | <b>V</b> | 6                     | 5                     | 7        | 6        | 9                             |
|                                     | <b>F</b> | 3                     | 4                     | 2        | 3        |                               |
| <b>Transporte</b>                   | <b>V</b> | 3                     | 1                     | 3        | 3        | 6                             |
|                                     | <b>F</b> | 3                     | 5                     | 3        | 3        |                               |
| <b>Moviment./Distâncias</b>         | <b>V</b> | 5                     | 6                     | 8        | 7        | 9                             |
|                                     | <b>F</b> | 4                     | 3                     | 1        | 2        |                               |

A tabela 19 apresenta as percentagens de resposta *Lean* e não *Lean* por tipo de desperdício identificado tendo por base a frequência absoluta.

Tabela 19 - Percentagem *Lean* e não *Lean* por tipo de desperdício (elaboração própria)

|                                     | Percentagem <i>Lean</i> por tipo de desperdício (Respostas como Verdadeiro) | Percentagem não <i>Lean</i> por tipo de desperdício (Respostas como Falso) |
|-------------------------------------|---|--|
| <b>Inventários</b>                  | 73,33%  | 26,67%   |
| <b>Sobre Processamento</b>          | 70,00%  | 30,00%   |
| <b>Tempo de Espera</b>              | 53,13%  | 46,88%   |
| <b>Comportamento do Pessoal Lab</b> | 78,70%  | 21,30%   |
| <b>Defeitos</b>                     | 58,75%  | 41,25%   |
| <b>Sobreprodução</b>                | 66,67%  | 33,33%   |
| <b>Transporte</b>                   | 41,67%  | 58,33%   |
| <b>Movimentação/Distâncias</b>      | 72,22%  | 27,78%   |

A análise global com o objetivo de comparar as respostas obtidas tendo por base as funções associadas encontra-se representada na figura 17.

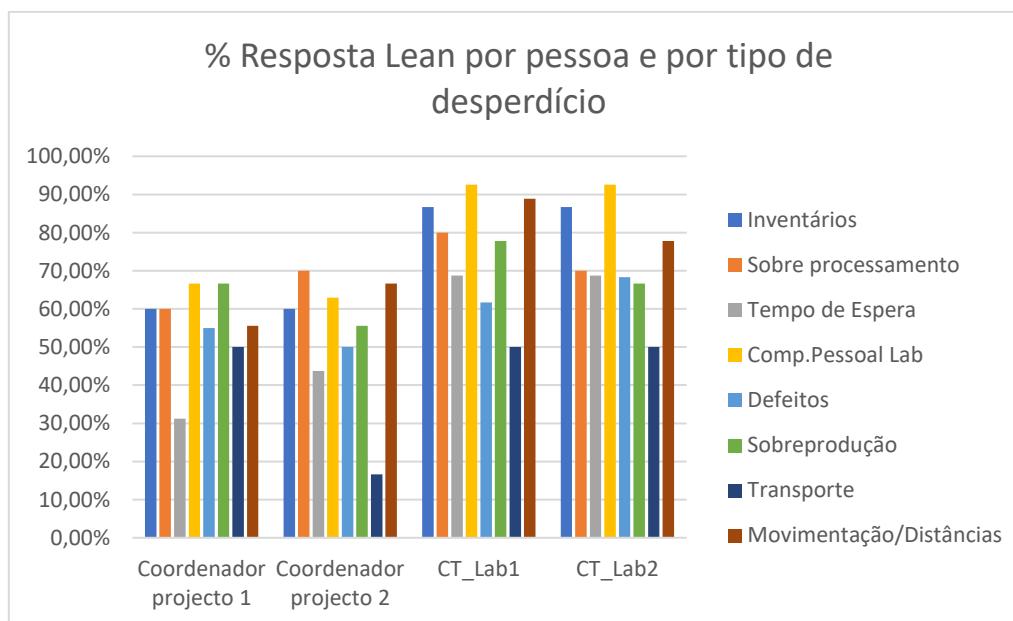


Figura 17 - % Resposta *Lean* por pessoa e por tipo de desperdício (elaboração própria)

As figuras 18 e 19 representam a percentagem de respostas *Lean* (verdadeiro) obtidas por parte dos coordenadores e CT e suas perspetivas em relação aos tipos de desperdícios gerados pelo Laboratório pHarmalab.

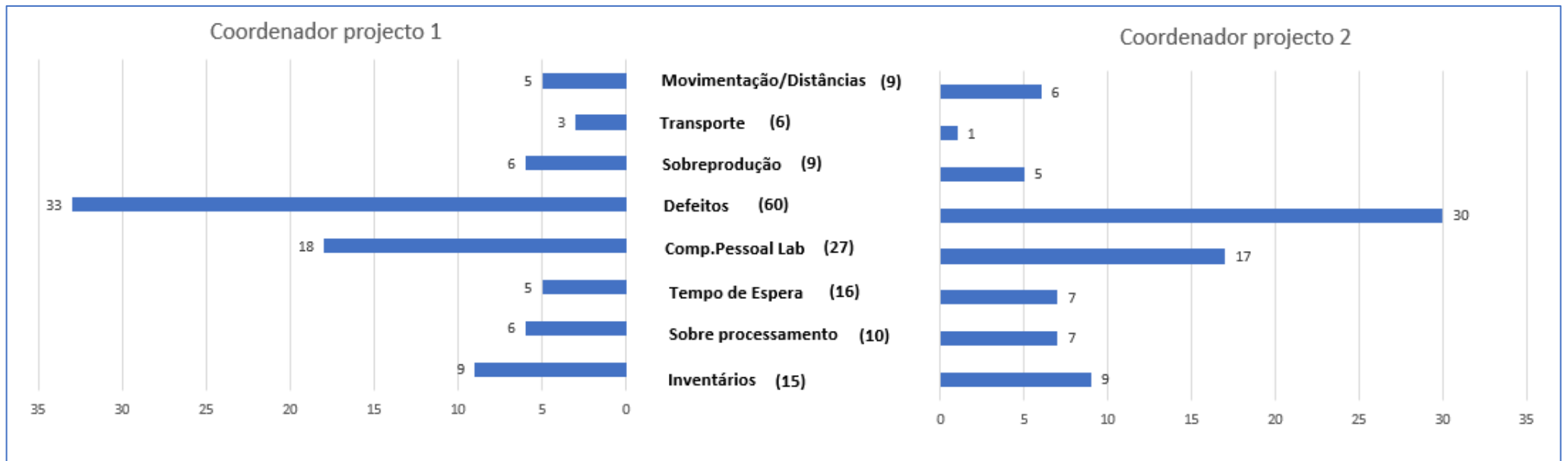


Figura 18 - Comparação respostas *Lean* entre coordenadores de projeto (elaboração própria)

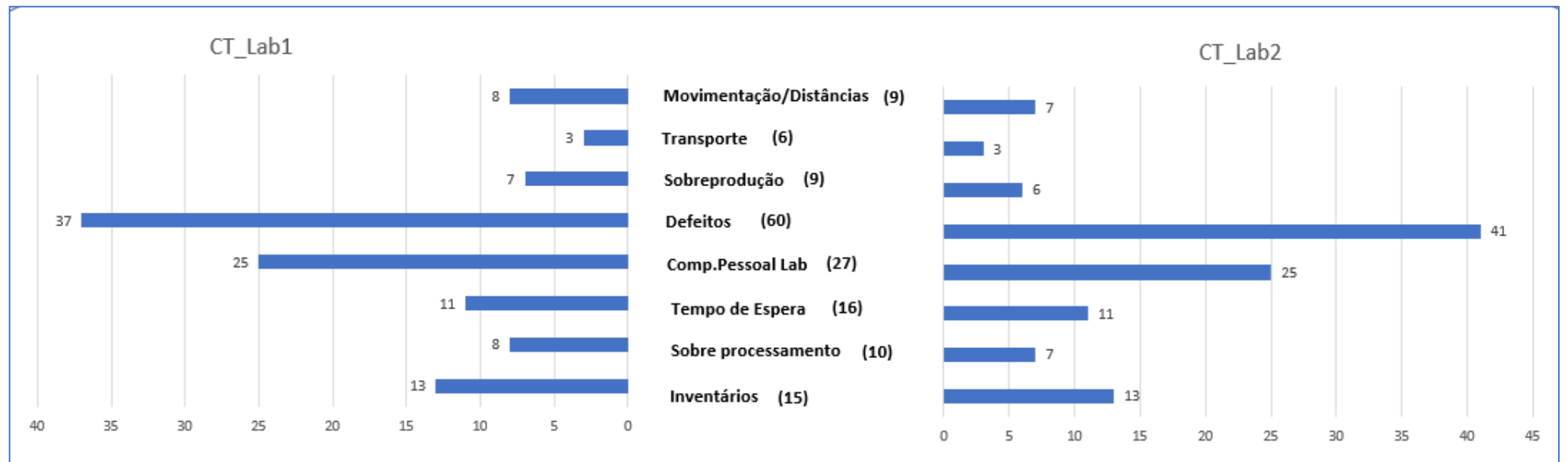


Figura 19 - Comparação respostas *Lean* entre CT\_laboratório (elaboração própria)

Para uma melhor análise dos dados efetuou-se um diagrama de Pareto que ajuda a focar os esforços de melhoria pois é possível hierarquizar as principais causas responsáveis por um determinado efeito (i.e., problema em análise), e assim identificar quais são os principais tipos de desperdícios ordenando os que devem ser resolvidos primeiro e deste modo separar os poucos e vitais dos muitos e triviais (uma vez que cerca de 20% dos desperdícios são normalmente responsáveis por 80% dos problemas).

Para a realização da análise de Pareto, tendo em consideração o diferente número de afirmações por bloco, (correspondente a cada tipo de desperdício) é necessário trabalhar com as frequências ponderadas de forma que a análise não tenha enviesamento provocado pelo diferente número de afirmações de cada bloco.

Para a realização do diagrama foram contabilizadas todas as respostas não Lean (i.e., respostas Falso) para cada tipo de desperdício.

Na tabela 20 representa-se a frequência absoluta por tipo de desperdício bem como o peso a usar para cada classe ( $W_i$ ) de forma a determinar a frequência ponderada e efetuar uma análise de Pareto que não seja afetada pelo diferente número de perguntas por classe de desperdício.

Tabela 20 - Frequência absoluta, Frequência ponderada e Frequência acumulada das respostas não *Lean* por cada tipo de desperdício (elaboração própria)

| <b>Classe de Desperdício</b> | <b>F. abs.</b> | <b><math>W_i</math> (6/total de perguntas por parâmetro)</b> | <b>F. ponderada (F. abs x <math>W_i</math>)</b> | <b>% F. ponderada</b> | <b>% F. acumulada</b> |
|------------------------------|----------------|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>Transporte</b>            | 14             | 1,00   | 14,00   | 20,38                 | 20,38                 |
| <b>Tempo de Espera</b>       | 30             | 0,38   | 11,40   | 16,59                 | 36,97                 |
| <b>Defeitos</b>              | 99             | 0,10   | 9,90  | 14,41                 | 51,38                 |
| <b>Sobreprodução</b>         | 12             | 0,67   | 8,04  | 11,70                 | 63,09                 |
| <b>Sobre processamento</b>   | 12             | 0,60   | 7,20  | 10,48                 | 73,57                 |
| <b>Moviment./Distâncias</b>  | 10             | 0,67   | 6,70  | 9,75                  | 83,32                 |
| <b>Inventário</b>            | 16             | 0,40   | 6,40  | 9,32                  | 92,63                 |
| <b>Comp. Pessoal Lab.</b>    | 23             | 0,22   | 5,06  | 7,37                  | 100,00                |
| <b>Total</b>                 | 216            |  | 68,7  | 100                   |                       |

O diagrama de Pareto apresenta-se na figura 20.

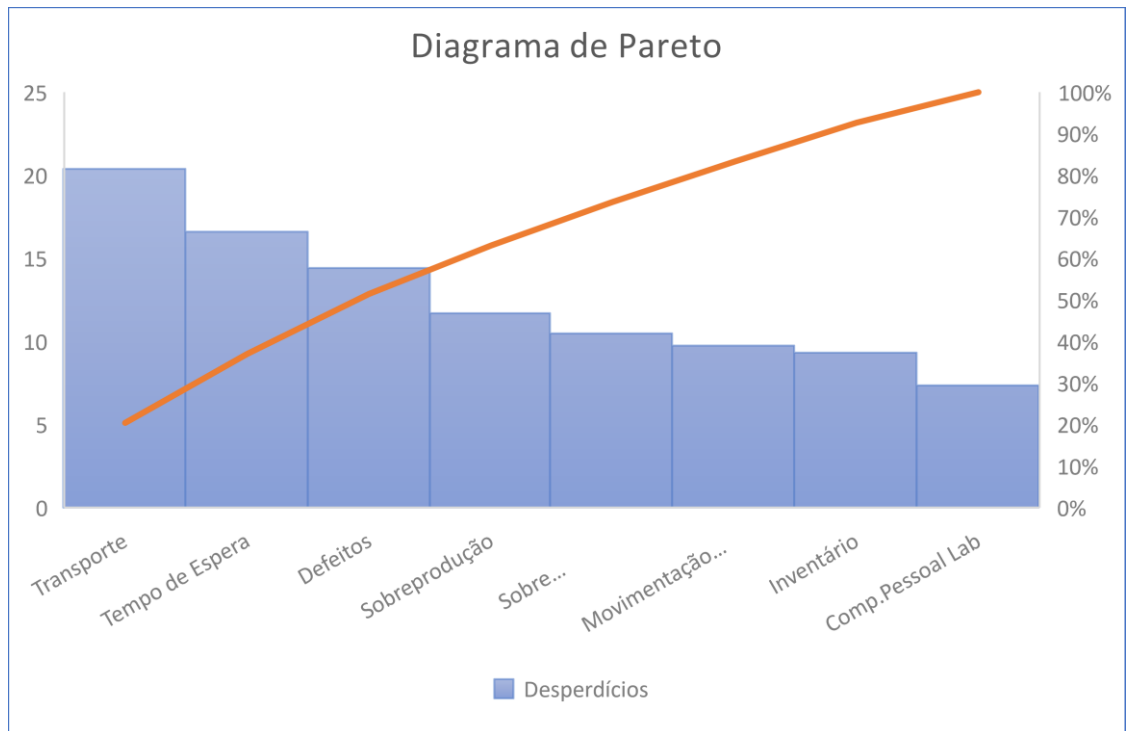


Figura 20 - Diagrama de Pareto (elaboração própria)

Por observação da figura 20 identificam-se três tipos de desperdícios (transporte, tempo de espera e defeitos) como sendo os que mais contribuem para o total de desperdícios identificados. Assim é possível ver que cerca de 37,5% dos vários tipos de desperdício contribuem para cerca de 51,4% dos problemas, sendo necessário focar os esforços de melhoria nessas causas. O objetivo será vir a desenvolver um conjunto de ações corretivas no sentido de eliminar as causas dos problemas identificados.

Com o diagrama de Pareto é possível observar que o transporte é a principal causa para que o Laboratório pHarmaLab não se apresente nas suas melhores condições relativamente as melhorias *Lean*.

### 5.1.5. Discussão dos resultados *Lean Lab*

Uma abordagem e avaliação *Lean* apresenta sempre os seus benefícios. De acordo com a classificação e níveis de desempenho *Lean* propostos é possível avaliar até que ponto a implementação e utilização de uma abordagem *Lean* está a ser bem conseguida. Um laboratório que apresente uma classificação *Lean* de nível 5 (i.e., muito bom) significa que a implementação/utilização da filosofia *Lean* está a ser muito bem conseguida e o foco é manter esse nível através de processos de melhoria contínua e follow-up regulares. No entanto, e como observado pelo caso de estudo no laboratório pHarmalab, nem sempre é fácil atingir esse patamar, todos os detalhes contam e podem contribuir para a diminuição dos tipos de desperdícios gerados.

Na tabela 21 apresentam-se os tipos de desperdício por classificação *Lean Lab* do pHarmalab atendendo à frequência de desperdício por tipo.

Tabela 21 - Percentagem e nível *Lean* por desperdício (elaboração própria)

|                                | <b>Percentagem <i>Lean</i> por tipo de desperdício (Respostas como verdadeiro)</b> | <b>Nível de classificação <i>Lean</i></b> |
|--------------------------------|--|---|
| <b>Inventários</b>             | 73,33%   | 4   |
| <b>Sobre Processamento</b>     | 70,00%   | 4   |
| <b>Tempo de Espera</b>         | 53,13%   | 3   |
| <b>Comp. Pessoal Lab</b>       | 78,70%   | 4   |
| <b>Defeitos</b>                | 58,75%   | 3   |
| <b>Sobreprodução</b>           | 66,67%   | 3   |
| <b>Transporte</b>              | 41,67%   | 2   |
| <b>Movimentação/Distâncias</b> | 72,22%   | 4   |

Como ilustrado na tabela 21 e segundo a tabela 9 a avaliação individual do nível *Lean* por desperdício no pHarmalab varia entre o nível 2 e o nível 4. Transporte, defeitos e tempo de espera são parâmetros onde a filosofia *Lean* não se encontra bem implementada. Assim, para desperdícios relacionados com o transporte é necessário fazer uma reavaliação dos

procedimentos atuais e se necessário criar e estruturar um projeto *Lean* no laboratório. Para os desperdícios que se encontram no nível 3, já existe uma aplicação satisfatória da filosofia *Lean*, no entanto ainda há espaço para muitas melhorias, é preciso fazer uma reavaliação da situação e perceber como se pode melhorar. Comportamento do pessoal do laboratório, movimentação e distâncias, inventários e sobre processamento são os parâmetros onde a filosofia *Lean* é melhor aplicada. Estes desperdícios encontram-se dentro do nível 4, o que significa como referido anteriormente uma implementação da filosofia *Lean* correta, mas ainda é necessário fazer alguns ajustes para que os resultados *Lean* sejam mais notórios, satisfatórios e principalmente mais eficientes.

Assim, tendo em conta as categorias apresentadas pelo diagrama de Pareto como as responsáveis por grande parte dos problemas que impedem a aplicação da utilização *Lean* de forma eficiente foram selecionados dentro de cada tipo de desperdício: transporte, tempo de espera e defeitos as respostas não *Lean* obtidas e coincidentes entre todos, isto é, entre os coordenadores do laboratório, RL e TL. Desta forma, os principais problemas a resolver para cada tipo de desperdício são:

**Transportes:**

- ❖ Inexistência de percursos específicos estabelecidos para o transporte dos reagentes/consumíveis/ materiais.
- ❖ Inexistência de um registo de todo o tipo de material que pode ser transportado (equipamentos, documentos, produtos químicos...)

**Defeitos:**

- ❖ Inexistência da quantificação das fontes de ruído acústico da instalação e as atividades ruidosas temporárias ou permanentes.
- ❖ Inexistência de registos diários das temperaturas adequadas de funcionamento dos sistemas de climatização, equipamentos de refrigeração, etc.
- ❖ Falta de determinação regular dos indicadores mais importantes, como OOS, OOT, etc.
- ❖ Os dados analíticos são sempre introduzidos manualmente no LIMS e não automaticamente.
- ❖ Inexistência de práticas de realização de auditorias periódicas.

- ❖ Falta de registos efetuados em simultâneo com a análise.
- ❖ Inexistência da realização de relatórios para os incidentes QC e rastreamento do número de situações ocorridas.

### **Tempo de Espera**

- ❖ Inexistência da monitorização do tempo de espera para os equipamentos.

Apesar da necessidade de tratar dos restantes desperdícios, se os três tipos de desperdícios referidos e respetivos problemas forem tratados com prioridade, o impacto *Lean* será garantidamente maior, o que contribuirá para a qualidade e sustentabilidade do Laboratório.

## **5.2. Diagnóstico *Eco***

As questões ambientais são de extrema relevância na gestão de um laboratório. A identificação dos aspetos ambientais relevantes na atividade do laboratório estão relacionados com as entradas e saídas utilizadas e consumidas e com todas as técnicas e tarefas utilizadas na atividade laboratorial. A identificação dos aspetos ambientais dos processos laboratoriais vai ser feita com uma adaptação da matriz MET (i.e. Materiais, Energia, Toxicidade). Esta ferramenta qualitativa foi desenvolvida tendo por base as várias fases do ciclo de vida de um produto cujo princípio consiste no preenchimento de uma matriz cujas linhas representam as principais fases do ciclo de vida do produto e as colunas representam os três elementos ambientais. Contudo neste caso de estudo as linhas da matriz constituem as várias técnicas e tarefas desenvolvidas no laboratório onde para cada técnica e tarefa será feita a identificação dos vários aspetos ambientais.

### 5.2.1. Identificação das técnicas

No laboratório Pharmalab são utilizados seis tipos de técnicas diferentes: cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), Cromatografia Gasosa (GC), Cromatografia Gasosa com Head Space (GC-HS), Karl-Fisher (K-F), Análise de distribuição de tamanho de partículas (PSD) e Titulação (i.e., potenciométrica ou volumétrica). Dentro de cada técnica existem vários protocolos com diferentes materiais, solventes, amostras, condições laboratoriais, etc. De seguida é feito um breve resumo sobre as técnicas:

- **HPLC, Cromatografia Gasosa, Cromatografia Gasosa com Head Space**

A cromatografia tem como princípio básico a separação de determinadas misturas através da interação diferencial dos seus componentes entre duas fases, uma móvel e outra estacionária. A fase móvel pode ser constituída por uma substância líquida ou um gás, já a fase estacionária é composta por um líquido ou um sólido. Existem vários tipos de cromatografia, no pPharmalab é utilizada a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), cromatografia gasosa (GC) e Cromatografia Gasosa HS com Head Space (GC-HS).

- **Karl-Fisher**

A titulação Karl-Fisher (K-F) é um método analítico utilizado para aferir o teor de água (humidade) em solventes e outros produtos. A determinação do teor da água, de acordo com Karl-Fisher, é hoje em dia realizada por duas técnicas diferentes:

- Titulação volumétrica Karl-Fisher, onde uma solução que contém iodo é adicionada utilizando-se uma bureta motorizada de pistão. Adequado para amostras onde a água está presente como componente principal.

- Análise Coulométrica Karl-Fisher, onde o iodo é gerado por oxidação eletroquímica na célula. Adequado para amostras onde a água está presente em ínfimas quantidades.

- **Análise de distribuição de tamanho de partículas (PSD)**

A análise granulométrica realizada no equipamento Malvern é um método de análise de tamanho de partículas, também conhecido como difração laser, que consiste na medição dos ângulos de difração do raio laser, que estão relacionados ao diâmetro da partícula. Atualmente,

é a técnica mais utilizada na determinação do diâmetro de partículas devido à possibilidade de medidas em diversos meios: ar, suspensões, emulsões e aerossóis.

- **Titulação**

A titulação é uma técnica analítica que permite a determinação quantitativa de uma substância específica (analito) dissolvida em uma amostra. É baseada em uma reação química completa entre o analito e o reagente (titulante) de concentração conhecida que é adicionado à amostra. O titulante é adicionado até que a reação esteja concluída. Para que seja adequado para uma determinação, o fim da reação de titulação deve ser facilmente observável. Isso significa que a reação deve ser monitorada (indicada) por técnicas apropriadas, como potenciometria (medição do potencial com um sensor) ou com indicadores de cor. A medição do volume de titulante dispensado permite o cálculo do teor do analito com base na estequiometria da reação química.

### **5.2.2. Matriz MET**

Para que fosse possível identificar as principais entradas e saídas de materiais, energia e água em cada técnica utilizada no laboratório (aspectos ambientais), foi construída uma matriz baseada na matriz MET, mas adaptada para a realidade laboratorial e para cada técnica utilizada no pHarmalab.

A análise efetuada foi feita com a colaboração dos CT e apresenta de forma resumida os materiais e equipamentos utilizados para cada técnica, da mesma forma é dada uma indicação dos materiais utilizados durante o input, execução e output da técnica. Juntamente com essa informação é indicado a nível geral onde são gastos os consumos de recursos de energia e consumíveis, bem como as emissões tóxicas e os tipos de resíduos provenientes das técnicas aplicadas. As tabelas 22 e 23 correspondem a duas das matrizes MET efetuadas (ver restantes em anexo V).

Tabela 22 - Matriz MET adaptada para a técnica HPLC (elaboração própria)

| HPLC     | Material/Equipamentos   | Consumo de recursos  |                     | Emissões Tóxicas                    | Resíduos  |
|----------|---|--|---------------------|-------------------------------------|---|
|          |   | Energia  | Massa (consumíveis) |                                     |   |
| Input    | HPLC, sistema de gradiente, detetor UV de comprimento de onda variável, injetor, forno de coluna, integrador, software, balão volumétrico; pipeta volumétrica; óculos | Energia com o funcionamento do equipamento HPLC; gastos com a água | Luvras; viais       | -----                               | resíduos líquidos (não halogenados); resíduos sólidos (viais) |
| Execução | amostras/solventes  | -----<br>-   | -----               | vapores (exemplo: metanol; acetona) | luvas   |
| Output   | Cromatograma  | -----  | -----               | -----                               | -----   |

Tabela 23 - Matriz MET adaptada para a técnica Titulação (elaboração própria)

| Titulação | Material   | Consumo de recursos                             |   | Emissões Tóxicas | Resíduos  |
|-----------|--|---|---|------------------|---|
|           |  | Energia   | Massa   |                  |   |
| Input     | balança analítica; medidor de pH; barquinha de pesagem, bureta de vidro graduada, copo, balão volumétrico, pipeta graduada, óculos | eletricidade (potenciômetro), gastos com a água | luvas; papel absorvente; máscara facial; escovilhão | -----<br>---     | -----<br>-  |
| Execução  | Titulante; Titulado; Indicador   | -----   | -----   | sem emissões     | Misturas resultantes (ácidos/bases e não halogenados) |
| Output    | volume titulante gasto   | -----   | -----   | -----            | -----   |

As questões relacionadas com os consumíveis e vários resíduos são de grande importância pois por forma a reduzir a quantidade de resíduos, os impactos negativos no ambiente e na saúde humana resultantes dos resíduos produzidos ou o teor de substâncias nocivas presentes nos materiais é necessário haver um conhecimento adequado dos mesmos. Só assim é possível analisar a melhor forma de reduzir os impactos ambientais de maneira a provocar uma melhoria da eficiência dos recursos, através da poupança de energia e redução da utilização de materiais, assim como os impactos ambientais da utilização de determinadas matérias-primas e processos.

Foi efetuada a análise da eliminação dos vários tipos de resíduos e materiais utilizados no laboratório. O tratamento da eliminação periódica desses elementos é feito da seguinte forma:

- **Amostras sólidas**

As amostras são entregues ao chefe/técnico de laboratório que, por sua vez, as colocará em contentores dedicados existentes no laboratório e identificados com as etiquetas apropriadas devidamente preenchidas, e que são enviados regularmente para as entidades competentes para subsequente destruição.

- **Resíduos líquidos e sólidos**

O laboratório tem contentores dedicados (barricas) para líquidos, que são separados de acordo com os seguintes critérios:

- a) Solventes halogenados;
- b) Solventes não halogenados;
- c) Ácidos
- d) Bases

Os resíduos líquidos gerados pelos HPLC's e Análise de distribuição de tamanho de partículas (PSD), através do equipamento Malvern, enquadram-se na categoria dos resíduos não halogenados, e os utilizadores são responsáveis pela substituição dos bidões sempre que estes atinjam o limite de segurança.

- e) Os resíduos de Karl-Fischer, por terem na constituição lodo, devem ser segregados para o bidão dos resíduos Halogenados, da mesma forma, quem está a operar no equipamento é responsável por segregar os resíduos para o bidão correspondente.

f) Além dos resíduos líquidos tem-se ainda os resíduos sólidos como as seringas e ampolas usadas na factorização / verificação do Karl-Fischer, e os vials de HPLC e GC usados. Estes resíduos são armazenados em saco de plástico, fechado com o auxílio de um atilho, e colocados no local dedicado para os resíduos contaminados.

g) O Técnico e o Auxiliar do Laboratório são responsáveis por enviar as barricas cheias para o armazém e entrarem em contacto com a empresa dedicada para o efeito.

Em termos quantitativos, e segundo a informação obtida, não se contabiliza (i.e., até à presente data) a quantidade de solvente gasto por equipamento e por curso sendo que cada curso tem uma duração de 4 meses.

A quantificação é feita de uma forma agregada e os valores de resíduos produzidos por curso apresentam-se na tabela 24.

Tabela 24 - Quantidade de resíduos produzido por curso (elaboração própria)

|                                     |
|-------------------------------------|
| <b>5-10 L de ácido</b>              |
| <b>5 L de base</b>                  |
| <b>25-50 L de halogenados</b>       |
| <b>200-250 L de não halogenados</b> |

Da mesma forma não existe registo em relação aos gastos com a energia, mas verifica-se que é necessário manter vários equipamentos como computadores, ar condicionado, agitação contínua Coulômetro Karl-Fisher, lâmpadas HPLC entre outros ligados de forma contínua.

Apesar de serem impressos uma pequena quantidade de documentos que servem como material de apoio, regra geral e como se trata de um ambiente de formação não há a necessidade de imprimir os resultados obtidos, o que contribui para uma redução da quantidade de papel utilizada a nível geral no pHarmalab.

### **5.2.3. Sugestões de melhoria Eco**

A adaptação da matriz MET para o laboratório pHarmalab teve como objetivo analisar de que forma são executadas as técnicas laboratoriais e até que ponto todo o processo envolvente se direciona para uma atitude Eco. Tratando-se de atividades laboratoriais é inevitável o uso de solventes que contribuam para emissões tóxicas, no entanto, e como forma de precaução é aconselhável que se utilize, sempre que possível, solventes cujas emissões tóxicas apresentem um menor risco para a saúde humana. A criação de um caderno de registo para cada técnica também poderá ajudar na perceção das quantidades de solventes utilizados. Quanto à energia, é necessário fazer um levantamento dos gastos mensais com a sua utilização. Verificar a real necessidade dos equipamentos se manterem ligados 24h e os gastos/poupanças que poderão estar associados.

## **5.3. Abordagem TRIZ**

Após a identificação de possíveis problemas *Lean* e Eco o passo seguinte passa pela utilização de uma ferramenta TRIZ que possibilite a resolução de alguns dos problemas analisados. Como referido no capítulo 2, TRIZ é uma metodologia sistemática de resolução inventiva de problemas, baseada no conhecimento e orientada para o ser humano.

A ferramenta utilizada é a Matriz de Contradição Técnica, um guia entre as contradições técnicas e as possíveis soluções dadas nos 40 princípios inventivos.

Para elaborar a Matriz é necessário identificar quais dos 39 parâmetros de engenharia se pretende melhorar, tendo em atenção que a melhoria de alguns parâmetros poderá ter um efeito negativo em outros parâmetros. Uma vez que se trata de problemas detetados a nível de um laboratório, os parâmetros e as suas soluções devem ser adaptadas à realidade em que estão inseridas.

Com base na análise do diagnóstico *Lean* e Eco foi feito um levantamento de forma a identificar quais os objetivos principais a atingir para melhorar alguns dos problemas detetados.

Os objetivos passam por:

1. Reduzir os tempos ineficientes/ espera
2. Aumentar a fiabilidade da informação

3. Reduzir os problemas de registo de informação
4. Aumentar a produtividade
5. Reduzir a ineficiência energética
6. Reduzir a quantidade de resíduos (materiais e consumíveis)

Assim, e com base nesses objetivos foi feita a seleção dos aspetos a melhorar e de possíveis aspetos que poderiam ser prejudicados (i.e., parâmetros em conflito), tudo segundo os 39 parâmetros de engenharia e utilizando a matriz TRIZ. A tabela 25 apresenta a matriz de contradição *Lean* e *Eco*.

Tabela 25- Matriz de contradição *Lean* e *Eco* (elaboração própria)

|  |    |                       | Parâmetros prejudicados |                        |             |                      |                |                    |                     |   |                      |                |                          |
|--|----|-----------------------|-------------------------|------------------------|-------------|----------------------|----------------|--------------------|---------------------|---|----------------------|----------------|--------------------------|
|  |    |                       | 9                       | 13                     | 17          | 24                   | 25             | 27                 | 28                  | 30                                      | 33                   | 35             | 37                       |
|  |    |                       | Velocidade              | Estabilidade do objeto | Temperatura | Perda de informação  | Perda de tempo | Fiabilidade        | Precisão de fabrico | Fatores indesejados que atuam no objeto | Conveniência de uso  | Adaptabilidade | Complexidade no controlo |
| Parâmetros a melhorar ou a implementar | 22 | Perda de energia      | ---                     | 2,6,14, 39             | 7,19, 38    | ---                  | ---            | 10,11, <u>35</u>   | ---                 | ---                                     | ---                  | ---            | <u>3,15,23,35</u>        |
|  | 24 | Perda de informação   | ---                     | ---                    | ---         | 24, <u>26</u> ,28,32 | ---            | ---                | ---                 | ---                                     | 22,27                | ---            | ---                      |
|  | 25 | Perda de tempo        | ---                     | 3,5,22,35              | ---         | <u>24,26,28,32</u>   | ---            | 4, <u>10</u> ,30   | <u>24,28,32,34</u>  | ---                                     | ---                  | ---            | ---                      |
|  | 26 | Quantidade de matéria | ---                     | ---                    | ---         | ---                  | ---            | ---                | ---                 | ---                                     | 10, <u>25</u> ,29,35 | <u>3,15,29</u> | ---                      |
|  | 27 | Fiabilidade           | <u>11,21,28,35</u>      | ---                    | ---         | ---                  | ---            | ---                | ---                 | ---                                     | 17,27,40             | ---            | ---                      |
|  | 39 | Produtividade         | ---                     | 3,22,35, <u>39</u>     | ---         | <u>13</u> ,15,23     | ---            | <u>1</u> ,10,35,38 | ---                 | <u>13</u> ,22,24,35                     | ---                  | ---            | ---                      |

Os princípios inventivos ilustrados na tabela poderão resolver os conflitos existentes, desta forma e como representado na tabela 26, foram selecionados e adaptados aqueles que melhor se adequam ao estudo de caso e as características do laboratório pHarmalab.

Tabela 26 - 40 Princípios Inventivos adaptados ao pHarmalab (elaboração própria)

|          | <b>40 Princípios Inventivos</b>  | <b>40 Princípios Inventivos adaptados ao pHarmalab</b>   |
|----------|--|--|
| <b>1</b> | <p><b>Segmentação:</b></p> <p>A. Dividir o objeto em partes independentes.</p> <p>B. Secionar o objeto (para facilitar a montagem e desmontagem).</p> <p>C. Aumentar o grau de segmentação do objeto</p>   | <p>Dividir os objetos em partes independentes; descentralizar o registo de informação através de dispositivos presentes nos postos de trabalho que reencaminharão o registo para um computador central; criar a possibilidade de ter mobiliário modular que rapidamente se ajuste a novos processos/tarefas/procedimentos.</p> |
| <b>3</b> | <p><b>Qualidade Local</b></p> <p>A. Providenciar a transição de uma estrutura homogênea de um objeto ou ambiente externo (ação) para uma estrutura heterogênea.</p> <p>B. Fazer com que os diferentes componentes do objeto executem funções diferentes.</p> <p>C. Colocar cada parte do objeto em condições mais favoráveis para o seu funcionamento.</p> | <p>Procurar colocar os instrumentos em condições mais favoráveis para o seu funcionamento; uniformizar os materiais e consumíveis dentro do possível de forma a servirem para várias técnicas/ operações (Nota: permite uniformizar o tipo de resíduos e facilitar o seu tratamento).</p>                                      |

|           | <b>40 Princípios Inventivos</b>   | <b>40 Princípios Inventivos adaptados ao pHarmalab</b>  |
|-----------|---|---|
| <b>10</b> | <p><b>Ação Prévia</b></p> <p>A. Realizar as alterações necessárias num objeto com antecedência total ou parcial.</p> <p>B. Colocar os objetos com antecedência de modo que eles possam entrar em ação no momento oportuno e numa posição conveniente.</p>                           | <p>Rearranjar os instrumentos e meios de análise com a devida antecedência para que possam entrar em ação no momento oportuno e na posição conveniente.</p>                                 |
| <b>11</b> | <p><b>Amortecimento Prévio</b></p> <p>Compensar a confiabilidade relativamente baixa de um objeto com contramedidas tomadas com antecedência.</p>   | <p>Preparar soluções de registo de informação alternativas que compensem a baixa fiabilidade dos sistemas atuais (Sistemas de registo manual versus sistemas de registo automatizados).</p> |
| <b>13</b> | <p><b>Inversão</b></p> <p>A. Em vez de uma ação ditada pelas especificações do problema, aplicar uma ação oposta (por exemplo, arrefecimento em vez de aquecimento).</p> <p>B. Transformar elemento móvel do objeto ou do meio ambiente em imóvel e o elemento imóvel em móvel.</p> | <p>Transformar elementos móvel do objeto ou do meio ambiente em imóvel e elemento imóvel em móvel (ex.: ver transporte e movimentações no laboratório).</p>                                 |
| <b>15</b> | <p><b>Dinamismo</b></p> <p>A. Ajustar as características do objeto ou do meio ambiente ao melhor</p>  | <p>Ajustar as características do instrumento ao do meio ambiente para melhorar o</p>  |

|           | <b>40 Princípios Inventivos</b>  | <b>40 Princípios Inventivos adaptados ao pHarmalab</b>  |
|-----------|--|---|
|           | <p>desempenho em cada fase do funcionamento.</p> <p>B. Se um objeto for imóvel, torná-lo móvel. Tornar o objeto intermutável.</p> <p>C. Dividir o objeto em partes que possam mudar de posição relativamente a cada uma das outras partes.</p> | <p>desempenho em cada fase do funcionamento.</p>  |
| <b>24</b> | <p><b>Mediação</b></p> <p>A. Usar um objeto intermediário para transferir ou executar uma ação.</p> <p>B. Ligar temporariamente o objeto original a um outro que seja fácil de remover.</p>  | <p>Usar um objeto intermediário para transferir ou executar uma ação (ex.: carrinhos de transporte).</p>                                    |
| <b>25</b> | <p><b>Autosserviço</b></p> <p>A. Providenciar que o objeto, além de servir a si próprio, realize também operações suplementares e de reparação.</p> <p>B. Fazer uso dos materiais e da energia desperdiçados</p>                               | <p>Usar os resíduos enquanto Recursos valorizáveis e ver as possibilidades de aproveitamento e valorização dos resíduos do laboratório.</p> |

|           | <b>40 Princípios Inventivos</b>  | <b>40 Princípios Inventivos adaptados ao pHarmalab</b>  |
|-----------|--|---|
| <b>26</b> | <p style="text-align: center;"><b>Cópia</b></p> <p>A. Usar uma cópia simples e barata, em vez do objeto original, se este for complexo, caro, frágil ou inconveniente em funcionamento.</p> <p>B. Se uma cópia ótica visível já for utilizada, substituí-la por uma cópia infravermelha ou ultravioleta.</p> <p>C. Substituir o objeto (ou sistema de objetos) pela sua imagem ótica. A imagem pode ser reduzida ou aumentada.</p> | <p>Usar formas de registo de informação simples via uso de meios informáticos com garantia de utilização de cópias; em certos casos, se possível, efetuar o registo recorrendo a meios óticos (ex.: fotografia, imagens).</p> |
| <b>32</b> | <p style="text-align: center;"><b>Mudança de Cor</b></p> <p>A. Alterar a cor do objeto ou do seu ambiente.</p> <p>B. Alterar o grau de translucidez do objeto ou do seu ambiente.</p> <p>C. Usar aditivos coloridos para observar objetos ou processos que são difíceis de ver.</p> <p>D. Se tais aditivos já forem utilizados, aplicar traços luminescentes ou atómicos.</p>  | <p>Alterar a cor dos objetos ou do seu ambiente (Sistema de codificação por cores para utilização de materiais, percursos a utilizar no laboratório, etc.).</p>   |
| <b>35</b> | <p style="text-align: center;"><b>Transformação do Estado Físico ou Químico</b></p> <p>A. Alterar o estado físico do sistema.</p>  | <p>Alterar o grau de flexibilidade; alterar a temperatura ou o volume; estudar as técnicas e a instrumentação analítica para</p>  |

|           | <b>40 Princípios Inventivos</b>  | <b>40 Princípios Inventivos adaptados ao pHarmalab</b>          |
|-----------|--|---|
|           | B. Alterar a concentração ou densidade.<br>C. Alterar o grau de flexibilidade.<br>D. Alterar a temperatura ou volume.  | efetuar uma análise que permita a implementação dos princípios. |
| <b>39</b> | <b>Ambiente Inerte</b><br>A. Substituir o ambiente normal por um inerte.<br>B. Introduzir uma substância neutra ou aditivos ao objeto.<br>C. Realizar o processo em vácuo. | Substituir o ambiente de trabalho por outro mais simplificado.  |

A metodologia TRIZ não serve de substituta para outras metodologias nem pretende competir com elas, mas ser sim uma ferramenta auxiliar e complementar na procura de soluções para os problemas identificados. Desta forma, a aplicação da matriz de contradições e os princípios inventivos auxiliam no processo de criatividade para a procura de soluções específicas através da prévia identificação de soluções standard.

Para o caso particular do pHarmalab, e após a identificação das soluções standard foi possível relacionar e adaptar sem causar qualquer tipo de constrangimento essas mesmas soluções a realidade laboratorial atualmente existente. Assim, a adaptação dos princípios inventivos referidos na tabela 26 irá contribuir para que se cumpram os objetivos propostos sem prejudicar outros parâmetros do laboratório, garantindo assim, uma melhoria *Lean* e *Eco* sem prejuízo para nenhuma das metodologias a implementar.

Para que os objetivos propostos no início do presente capítulo sejam atingidos são sugeridas algumas propostas de melhoria:

### **Reduzir os tempos ineficientes/ espera**

- Garantir sempre que todos os instrumentos e meios de análise a serem utilizados no dia estão prontos para tal, para que a sua utilização no momento oportuno e na posição conveniente não se torne um fator de atraso para a realização das atividades.
- Adquirir carrinhos de transporte ou outro tipo de objeto intermediário que permita transportar mais coisas (material, equipamentos, registos, etc..) em menos tempo e sem a necessidade de realizar a mesma ação mais do que uma vez.
- Criar um sistema de percursos de cores no chão de forma a evidenciar-se quais os melhores percursos a seguir para a realização de uma função ou tarefa. O sistema de codificação por cores também pode ser aplicado para a utilização de materiais, pois associar cada material a uma cor irá permitir uma fácil identificação dos locais onde estes se encontram, o que garante a poupança de tempo.

### **Aumentar a fiabilidade da informação**

- Criar ou obter um sistema de registo de informação do próprio equipamento capaz de reconhecer e detetar possíveis erros, garantir que existem valores padrão e que são definidos intervalos e valores limites, para que os resultados obtidos estejam sempre conformes ou que se observe o erro em uma fase inicial, não comprometendo todo o processo.

### **Reduzir os problemas de registo de informação**

- Criar um sistema de registo de informação em duplicado (no mínimo) em que há pelo menos dois tipos diferentes de registo (ex.: registo informático vs registo em papel ou cópias). Quando adequado efetuar o registo recorrendo a meios óticos (ex.: fotografia, imagens).

### **Aumentar a produtividade**

- Trabalhar, quando possível, com matérias montáveis e desmontáveis que permitam o reaproveitamento de algumas partes para utilizações futuras ou para funções diferentes.

- Adquirir dispositivos eletrônicos para cada posto de trabalho que permitam reencaminhar e comunicar todas as informações necessários para um dispositivo central o que irá permitir entre outras coisas um melhor aproveitamento do tempo de trabalho disponível.

- Adquirir mobiliários modular que se se ajustem aos processos, tarefas e procedimentos, garantindo a possibilidade de aumentar o espaço laboratorial, a versatilidade e funcionalidade do laboratório.

- Criar um ambiente de trabalho mais simples e prático, garantindo que todo o tipo de material e equipamento que se encontram no laboratório são de facto necessários e utilizados com frequência.

- Ver a real necessidade dos objetos, materiais e equipamentos estarem ou não alocados em locais fixos que obriguem a deslocações constantes para esses mesmos locais.

#### **Reduzir a ineficiência energética**

- Inicialmente, é necessário estudar todas as técnicas e a instrumentação analítica para compreender a influência que a alteração de fatores como temperatura e volume terão nas atividades realizadas, nos processos e nos objetivos a cumprir. Fazer o mesmo estudo para o uso dos equipamentos e garantir uma maior flexibilidade para a alteração das definições energéticas utilizadas. Após toda a recolha de informação e com base no estudo efetuado fazer as alterações permitidas e que garantam poupanças de energia.

- Com base na informação recolhida no ponto anterior ajustar as características do instrumento ao do meio ambiente em que está inserido para que os instrumentos se encontrem em condições mais favoráveis para o seu funcionamento, melhorando o seu desempenho em cada fase do funcionamento.

#### **Reduzir a quantidade de resíduos (materiais e consumíveis)**

- Uniformizar os materiais e consumíveis dentro do possível de forma a servirem para várias técnicas/ operações, o que permite uniformizar o tipo de resíduos e facilitar o seu tratamento final.

## 6. Conclusões e perspetivas futuras

O principal objetivo da revisão realizada na fase inicial era encontrar estudos individuais relevantes que abordassem a extensão de como a pesquisa existente sobre iniciativas de Eco e iniciativas de *Lean* direcionadas para o design progrediu para o uso de métodos TRIZ nas duas últimas décadas. Outro objetivo principal era entender melhor as direções para pesquisas futuras sobre o uso do TRIZ em Eco design e paradigmas de *Lean* design, bem como a identificação de possíveis lacunas, problemas e oportunidades. Com base nos estudos individuais realizados, foi possível verificar que há algum trabalho a ser desenvolvido na busca de modelos que acomodem a aplicação de ferramentas TRIZ com Eco e *Lean* design, procurando os benefícios de tais modelos.

Através da revisão biográfica realizada foi possível observar que existem muitas ferramentas que podem ser de grande utilidade na aplicação dos conceitos de *Lean* e Eco, desta forma na parte final do trabalho apresentou-se um estudo de caso desenvolvido no laboratório de formação de analistas químicos do ISEL, pHarmalab, e onde o principal objetivo era a avaliação ao ambiente laboratorial da filosofia *Lean* e direções Eco com a ajuda de algumas das ferramentas preconizadas nos capítulos anteriores.

Com dados recolhidos através de pesquisas e discussão de ideias com pessoas afetas ao laboratório foi elaborado um diagrama causa-efeito, o que permitiu elaborar um diagnóstico sobre o funcionamento do laboratório e direcionado para a filosofia *Lean*, da mesma forma foram observados os comportamentos Eco existentes no laboratório e registados em uma matriz MET adaptada a realidade laboratorial. Com a informação analisada foi possível aplicar uma ferramenta TRIZ, a matriz de contradição, de forma a sugerir opções de melhoria que permitam garantir um laboratório sustentável a nível da filosofia *Lean* e Eco.

Com o diagrama de causa-efeito e com a realização do diagnóstico foi possível avaliar até que ponto a filosofia *Lean* se encontra bem implementada pois a criação de um Laboratório *Lean* é, antes de tudo, uma tarefa interna da organização. Uma filosofia *Lean* bem aplicada permite entre outras coisas que os processos de laboratório sejam mais definidos, estruturados e controlados, o que permite um desempenho mais consistente e previsível do laboratório;

permite um aumento significativo de produtividade; permite uma compreensão detalhada da capacidade do laboratório e garante pessoal do laboratório mais capacitado para o seu trabalho.

Foram detetados alguns tipos de desperdícios que prejudicam o bom funcionamento do laboratório, existindo a necessidade de atuar e corrigir os mesmos. Transporte, defeitos e tempo de espera representam (de um total de 8) 51,4 % dos desperdícios que não contribuem para uma filosofia *Lean*. Para corrigir os erros cometidos são sugeridas mudanças que podem ser iniciadas com pequenos passos, de área em área, a qualquer momento e que contribuem para que as alterações se façam notar ao longo do tempo. Assim, uma sugestão é iniciar com passos pequenos e utilizar uma abordagem 5S (i.e., **Seiri** (*Classificação*), **Seiton** (*Ordem*), **Seiso** (*limpeza*), **Seiketsu** (*padronização*), **Shitsuke** (*Disciplina*)) referenciada no capítulo 2.

É possível solucionar alguns dos problemas dos tipos de desperdícios evidenciados nos Diagnósticos *Lean Lab* e no diagrama de Pareto com:

A criação de percursos específicos estabelecidos para o transporte dos reagentes/consumíveis/ materiais.

A aquisição de equipamentos apropriados para o transporte dos equipamentos/ produtos químicos.

A melhoria e desenvolvimento de SOP's que contenham instruções claras para a utilização das técnicas, desde preparação de amostras a procedimentos a efetuar, para, assim evitar-se a repetição da atividade laboratorial, preservar-se materiais, reduzir as quantidades de solventes utilizados e garantir que ao mesmo tempo que os colaboradores cometem menos erros também aprendem a forma correta de proceder.

A manutenção preventiva programada regularmente e que inclua uma inspeção sistemática para garantir que o equipamento está a funcionar corretamente e proteger contra falhas inesperadas pois instrumentos preservados de forma adequada reduzem a probabilidade de erros de medição no dia-a-dia e evitam custos de reparação.

A criação de um caderno de registo para cada equipamento existente no laboratório e adequá-lo ao seu uso, por exemplo, um caderno de registo da utilização do frigorífico deverá ter a informação da temperatura utilizada no dia, o que é colocado no frigorífico, hora de utilização, etc. Deve ainda ser criado um registo específico para as condições ambientais do laboratório:

temperatura, humidade, nível de ruído, etc. Outros indicadores importantes também devem ser verificados e registados.

A realização de pelo menos uma auditoria interna por ano.

A realização de avaliações de desempenho aos colaboradores do laboratório antes do início de cada sessão para se obter uma visão geral das competências de cada um e saber quais são os pontos fracos e fortes de cada um, bem como as áreas em que precisam melhorar, mas envolvê-los sempre em todo o processo de forma a estarem informados e motivados.

A criação de um plano de desenvolvimento das competências em falta para cada colaborador. No plano deve constar os objetivos a atingir e o tempo em que se deverá atingi-los, de forma a que a aprendizagem seja progressiva e visando sempre a melhoria das competências.

A participação dos colaboradores em formações consideradas pertinentes e necessárias.

As sugestões referidas anteriormente são apenas uma pequena parte de alguns dos passos iniciais que poderão dar o suporte necessário para uma implementação *Lean* bem executada deste raiz, o que irá permitir que o impacto *Lean* seja garantidamente maior e com um maior contributo para a qualidade e sustentabilidade do Laboratório. O importante é que todos os envolvidos com o laboratório pHarmalab desenvolvam uma cultura de melhoria contínua e voltada para uma filosofia *Lean* que permitirá mudanças de mentalidade e de comportamentos no laboratório.

A matriz construída com base na matriz MET, mas adaptada para a realidade laboratorial e para cada técnica utilizada no pHarmalab ajudou a criar uma visão mais ampla sobre o uso de materiais, energia, consumo, emissão de substâncias tóxicas e resíduos. Uma vez que são utilizados vários tipos de solventes, são emitidas substâncias tóxicas, há o consumo de vários tipos de energia, fora as questões relacionadas com os gastos energéticos, pode considerar-se que o pHarmalab ainda não se encontra em pleno relativamente a questões Eco que contribuam para a sustentabilidade do Laboratório. No entanto, também é necessário ter em conta que sendo um laboratório é inevitável a utilização de tais recursos e consequentes emissões e gastos, então a melhor estratégia é tentar reduzir o mais possível na utilização de solventes prejudiciais para o homem. É necessário criar uma cultura de registos e contabilização de gastos energéticos uma

vez que esse tipo de informação pode ser crucial para uma alteração de comportamento e conduta face aos gastos associados a energia.

A ferramenta TRIZ utilizada, a matriz de contradição, serviu de intermediária para encontrar outras possíveis soluções que permitam cumprir os objetivos estabelecidos de forma a melhorar os parâmetros que neste momento são prejudiciais para o Laboratório, a nível *Lean* e *Eco*, mas sem prejudicar outros parâmetros associados. Foram considerados 12 princípios inventivos que permitirão melhorar aspetos relacionados com: perda de energia, perda de informação, perda de tempo, fiabilidade, produtividade e quantidade de resíduos (materiais e consumíveis).

Como referido na revisão da literatura e através criação do modelo apresentado no capítulo 4 uma aplicação mais bem conseguida das metodologias *Lean* e *Eco*, e com o auxílio de uma ferramenta TRIZ, quer seja no laboratório pHarmalab como em outros tipos de ambientes como o industrial, terá sempre o potencial de orientar e auxiliar analistas químicos, engenheiros, designers, etc. no desenrolar dos seus trabalhos de forma sustentável.

## Bibliografia

- [1] S. Buzuku and I. Shnai, "A systematic literature review of TRIZ used in Eco-Design A systematic literature review of TRIZ used in Eco-Design," *J. Eur. TRIZ Assoc.* 02-2017 1, vol. 04, no. January, 2018.
- [2] V. Bashkite and T. Karaulova, "Integration of green thinking into lean fundamentals by theory of inventive problems-solving tools," *23rd DAAAM Int. Symp. Intell. Manuf. Autom.* 2012, vol. 1, no. 1, pp. 345–350, 2012.
- [3] G. Filho, A. R. Ometto, H. Rozenfeld, D. C. A. Pigosso, and E. T. Zanette, "Ecodesign methods focused on remanufacturing," *J. Clean. Prod.*, vol. 18, pp. 21–31, 2010.
- [4] E. Sanyé-Mengual, R. G. Lozano, R. Farreny, J. Oliver-Solà, C. M. Gasol, and J. Rieradevall, "Introduction to the eco-design methodology and the role of Product Carbon Footprint," in *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors*, no. May 2015, Springer, 2014, pp. 1–24.
- [5] S. Gupta and S. K. Jain, "A literature review of lean manufacturing," *Int. J. Manag. Sci. Eng. Manag.*, vol. 8, no. 4, pp. 241–249, 2013.
- [6] S. D. Savransky, *Engineering of Creativity - Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*, vol. 53, no. 9. 2000.
- [7] D. A. D. J. Pacheco, C. S. Ten Caten, H. V. G. Navas, C. F. Jung, V. Cruz-Machado, and G. H. N. Lopes, "Systematic Eco-innovation in Lean PSS Environment: An Integrated Model," *Procedia CIRP*, vol. 47, pp. 466–471, 2016.
- [8] A. Alves, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, and A. B. Siriban-Manalang, *Lean Engineering for Global Development*. Springer International Publishing, 2019.
- [9] O. Taiichi and M. Setsuo, *Just-in-time for today and tomorrow*. Cambridge, Mass: Productivity Press, 1988.
- [10] O. Taiichi, *O Sistema Toyota de Producao - Além da Produção Em Larga Escala*, 1st ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 1997.
- [11] D. A. G. Segura, J. Peinado, and A. R. Graeml, "Fatores influenciadores do sucesso da adoção da produção enxuta: uma análise da indústria de três países de economia emergente," *Revista de Administração*, vol. 46, no. 4, pp. 423–436, 2011.
- [12] J. Peinado and A. R. Graemi, "O Sistema Toyota de Produção," *UnicenP*, p. 748, 2007.
- [13] J. R. dos R. A. Antonio and V. Antunes, "Takt-time: conceitos e contextualização dentro do sistema toyota de produção," *Gestão & Produção*, vol. 8, no. 1, pp. 1–18, 2001.
- [14] D. Tapping and T. Shuker, *Value Stream Management for the Lean Office: Eight Steps to Planning, Mapping, & Sustaining Lean Improvements in Administrative Areas*. Productivity Press, 2003.
- [15] S. R. Cirino, H. S. Gonçalves, H. R. Hékis, J. V. Queiroz, and F. C. B. P. Queiroz, "Sistema de Produção Enxuta: analisando as práticas adotadas em uma indústria têxtil paraibana," *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sist.*, vol. 1, pp. 9–21, 2013.
- [16] M. Devendra and K. Manjunathachari, "Concept of Heijunka," *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2015.
- [17] M. Imai, *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy*, vol. 2. MCGRAW-HILL EDUCATION - EUROPE, 2012.
- [18] H. Quesada and U. Buehlmann, "Lean Thinking : Examples and Applications in the Wood Products Industry," 2011.

- [19] Health PEI, “5 Principles of Lean Everything we do under the Lean umbrella should always answer any or all of these principles,” 2018.
- [20] G. Rand, J. Womack, and D. T. Jones, *Lean Thinking-Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation.*, vol. 1. Free Press, 1996.
- [21] L. Junqueira, “Aplicação da Lean Construction para Redução,” 2016.
- [22] A. Simboli, R. Taddeo, and A. Morgante, “Value and Wastes in Manufacturing. An Overview and a New Perspective Based on Eco-Efficiency,” *Adm. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 173–191, 2014.
- [23] R. T. Domingo, “Identifying and Eliminating The Seven Wastes or Muda,” *Bus. Manag. Artic. Manuf. Manag. Asian Inst. Manag.*, pp. 1–4, 2003.
- [24] R. Pereira, “The Seven Wastes,” *iSIXSIGMA*, vol. 5, no. 5, 2009.
- [25] S. A. Irani and J. Zhou, “Value Stream Mapping of a Complete Product,” *White Pap. Lean Manuf. Japan*, no. 1, pp. 1–24, 2008.
- [26] M. Gunduz and A. F. Naser, “Cost Based Value Stream Mapping as a Sustainable Construction Tool for Underground Pipeline Construction Projects,” *Sustainability*, 2017.
- [27] A. C. G. C. Ribeiro, *Implementação Da Filosofia Lean Na Gestão Dos Serviços De Saúde : O Caso Dos Centros De Saúde Da Região Norte*. 2013.
- [28] T. Rohac and M. Januska, “Value Stream Mapping Demonstration on Real Case Study,” in *Procedia Engineering*, 2015, vol. 100, pp. 520–529.
- [29] P. Falkowski and P. Kitowski, “The 5S methodology as a tool for improving organization of production,” *PhD Interdiscip. J.*, pp. 127–133, 2013.
- [30] R. A. Al-aomar, “Applying 5S Lean Technology : An Infrastructure for Continuous Process Improvement,” pp. 1606–1611, 2011.
- [31] K. Ramdass, “Integrating 5S Principles with Process Improvement : A Case Study Kem Ramdass,” *Proc. PICMET*, pp. 1908–1917, 2015.
- [32] J. Michalska and D. Szewieczek, “The 5S methodology as a tool for improving the organisation,” *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 24, no. 2, pp. 211–214, 2007.
- [33] O. Omogbai and K. Salonitis, “The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach,” *Procedia CIRP*, vol. 60, pp. 380–385, 2017.
- [34] Health PEI, “Gemba Walks,” 2019.
- [35] “A simple guide to Gemba Walk,” *Tervene*, 2019. .
- [36] D. Yash and N. Sohani, “Single Minute Exchange of Dies: Literature Review,” *Int. J. Lean Think.*, vol. 3, no. 2, pp. 27–37, 2012.
- [37] A. Abraham, K. N. Ganapathi, K. Motwani, and M. S. E. Student, “Setup Time Reduction through SMED Technique in a Stamping Production Line,” *SASTECH J.*, vol. 11, no. 2, pp. 47–52, 2012.
- [38] K. Ishikawa, “Identificação de causas pelo diagrama de espinha de peixe ( Ishikawa ) Metodologia,” pp. 1–2, 1989.
- [39] F. Barnas, “Ferramentas da qualidade,” 2019.
- [40] V. J. Moreira, *Manual Prático de Eco-design*. 2009.
- [41] D. Russo, “A computer aided strategy for more sustainable products,” *IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.*, vol. 355 AICT, pp. 149–162, 2011.
- [42] D. Russo, C. Rizzi, and G. Montelisciani, “Inventive guidelines for a TRIZ-based eco-design matrix,” *J. Clean. Prod.*, vol. 76, pp. 95–105, 2014.

- [43] IIEFP, “Eco-gestão; Eco-design,” 2019.
- [44] I. M. Jo, “M7 – Sustainable Product Design,” no. July, pp. 1–81, 2013.
- [45] W. N. Yard, “The Lids Wheel,” 2019.
- [46] J. M. Campolina, C. S. L. Sigrist, and V. A. da S. Moris, “Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida,” *Rev. Eletrônica em Gestão, Educ. e Tecnol. Ambient.*, vol. 19, no. 2, pp. 735–750, 2015.
- [47] R. Kalevi and D. Ellen R., *Simplified TRIZ*. Auerbach Publications, 2007.
- [48] I. M. Ilevbare, D. Probert, and R. Phaal, “A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice,” *Technovation*, vol. 33, no. 2–3, pp. 30–37, 2013.
- [49] H. V. G. Navas, “Fundamentos do TRIZ - Parte II - Níveis de Inovação,” *Inovação & Empreendedorismo Newsletter nº 51 - Maio 2014 - Vida Económica*, no. September, p. 3, 2014.
- [50] O. Mayer, “TRIZ Inventive Problem Solving Methodology,” 2014.
- [51] D. Russo, D. Regazzoni, and T. Montecchi, “Eco-design with TRIZ laws of evolution,” *Procedia Eng.*, vol. 9, pp. 311–322, 2011.
- [52] M. G. Moehrlé, “What is TRIZ? From conceptual basics to a framework for research,” *Creat. Innov. Manag.*, vol. 14, no. 1, pp. 3–13, 2005.
- [53] C. de I. para Pme. InnoSkills, “Instrumentos para o desenvolvimento de soluções inovadoras - TRIZ,” 2005.
- [54] B.-U. Mishra, “Introduction to the Concept of Ideality in TRIZ.”
- [55] H. Sivan and K. Kanthavel, “TRIZ : A Perfect Tool for Process Innovation by Tackling Engineering contradictions,” *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, pp. 21–26, 2004.
- [56] R. Sociais, “Opportunities in Over The Top,” *Vida Económica - Inovação e Empreendedorismo*, no. October, 2015.
- [57] T. Montecchi and D. Russo, “Knowledge based approach for formulating TRIZ contradictions,” *Procedia Eng.*, vol. 131, pp. 451–463, 2015.
- [58] B. Zlotin and A. Zusman, “The Concept of Resources in TRIZ : Past , Present and Future,” 2005.
- [59] U. Mishra, “An Introduction to ARIZ - -The Algorithm of Inventive Problem Solving,” 2014.
- [60] L. Lane, “ARIZ : The Algorithm for Inventive Problem Solving,” 1991.
- [61] L. Shulyak, “Introduction to TRIZ,” 1998.
- [62] P. S. Bajwa and D. Mahto, “Concepts, Tools and Techniques of Problem Solving Through Triz: A review,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 7, pp. 3061–3073, 2013.
- [63] H. V. G. Navas, “Fundamentos do TRIZ pARTE VIII - MOdelO SubSTânCIA-CAMPo newsletter,” *Vida Económica - Inovação e Empreendedorismo*, no. September, 2015.
- [64] H. Navas and A. Gonçalves-Coelho, “Aplicação dos instrumentos analíticos da triz à resolução de problemas do toleranciamento,” 2015.
- [65] J. Terninko, E. Domb, and J. Miller, “The Seventy-six Standard Solutions , with Examples Section One.”
- [66] J. A. Garza-Reyes, “Green lean and the need for Six Sigma,” *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 6, no. 3, pp. 226–248, Aug. 2015.
- [67] T. McCarty, M. Jordan, and D. Probst, *Six Sigma for Sustainability: How Organizations*

- Design and Deploy Winning Environmental Programs*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.
- [68] J. K. Choi, L. F. Nies, and K. Ramani, "A framework for the integration of environmental and business aspects toward sustainable product development," *J. Eng. Des.*, vol. 19, no. 5, pp. 431–446, 2008.
- [69] C. Luttrupp and J. Lagerstedt, "EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development," *J. Clean. Prod.*, vol. 14, no. 15–16, pp. 1396–1408, 2006.
- [70] C. Rizzi, D. Russo, and M. Serafini, "Is TRIZ an Ecodesign Method?," in *Sustainable Design and Manufacturing*, Springer, Cham, 2016, pp. 525–535.
- [71] C. Strasser and W. Wimmer, "Eco-Innovation, Combining Ecodesign and Triz for Environmentally Sound Product Development," in *Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm, 2003*, pp. 1–8.
- [72] Hsiang-Tang Chang and Jahau Lewis Chen, "An Eco-innovative design method based on design-around approach," in *2003 EcoDesign 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2003*, pp. 575–582.
- [73] Kobayashi, "Idea generation and risk evaluation methods for life cycle planning," in *2003 EcoDesign 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2003*, pp. 117–123.
- [74] D. Russo, M. Serafini, and C. Rizzi, "TRIZ based computer aided LCA for Ecodesign," in *Computer-Aided Design and Applications*, vol. 13, no. 6, 2016, pp. 816–826.
- [75] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Ross, *The Machine that Changed the World*. Free Press, 1990.
- [76] L. Ross & Associates Environmental Consulting, "Lean Manufacturing and the Environment : Research on Advanced Manufacturing Systems and the Environment and," 2003.
- [77] B. Huthwaite, *The lean design solution : a practical guide to streamlining product design and development*. Institute for Lean Innovation, 2007.
- [78] R. Mascitelli, *The Lean Design Guidebook: Everything Your Product Development Team Needs to Slash Manufacturing Cost*. Technology Perspectives, 2004.
- [79] M. del V. Segarra-Ona, M. De-Miguel-Molina, and A. Paya-Martinez, "A Review Of The Literature On Eco-Design In Manufacturing Industry: Are The Institutions Focusing On The Key Aspects?," *Rev. Bus. Inf. Syst.*, vol. 15, no. 5, p. 61, Sep. 2011.
- [80] D. E. Santos-Reyes and T. Lawlor-Wright, "A design for the environment methodology to support an environmental management system," *Integr. Manuf. Syst.*, vol. 12, no. 5, pp. 323–332, Sep. 2001.
- [81] S. Ren, F. Gui, Y. Zhao, Z. Xie, H. Hong, and H. Wang, "Accelerating preliminary low-carbon design for products by integrating TRIZ and Extenics methods," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 9, no. 9, pp. 1–18, 2017.
- [82] L. Chechurin, "TRIZ in Science. Reviewing Indexed Publications," *Procedia CIRP*, vol. 39, pp. 156–165, 2016.
- [83] L. Chechurin and Y. Borgianni, "Understanding TRIZ through the review of top cited publications," *Comput. Ind.*, vol. 82, pp. 119–134, 2016.
- [84] R. Karlsson and C. Luttrupp, "EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue," *J. Clean. Prod.*, vol. 14, no. 15–16, pp. 1291–1298, Jan. 2006.
- [85] K. Schischke, M. Hagelüken, and G. Steffenhagen, "An Introduction to EcoDesign Strategies—Why, what and how?," 2005.

- [86] E. Jones and D. Harrison, "Investigating the use of TRIZ in Eco- innovation," 1999.
- [87] T. R. Browning, "Value-based product development: refocusing lean," in *Proceedings of the 2000 IEEE Engineering Management Society. EMS - 2000 (Cat. No.00CH37139)*, 2000, pp. 168–172.
- [88] T. Baines, H. Lightfoot, G. M. Williams, and R. Greenough, "State-of-the-art in lean design engineering: A literature review on white collar lean.," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, pp. 1539–1547, 2006.
- [89] P. Middleton, "Lean Software Development : Two Case Studies," *Softw. Qual. J.*, no. 4, pp. 241–252, 2002.
- [90] M. Poppendieck and T. Poppendieck, "Introduction to Lean Software Development," in *Extreme Programming and Agile Processes in Software Engineering*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 280–280.
- [91] H. McManus, A. Haggerty, and E. Murman, "Lean Engineering : Doing the Right Thing Right," *1st Int. Conf. Innov. Integr. Aerosp. Sci.*, no. August, pp. 1–10, 2014.
- [92] B. Haque and M. James-moore, "Applying lean thinking to new product introduction," *J. Eng. Des.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–31, Feb. 2004.
- [93] J. Freire and L. F. Alarcón, "Achieving Lean Design Process: Improvement Methodology," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 128, no. 3, pp. 248–256, 2002.
- [94] C. Muiambo, I. João, and H. Navas, "THE INTEGRATION OF TRIZ METHODS WITH ECO-DESIGN AND LEAN DESIGN : A LITERATURE REVIEW AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS TO THE DEVELOPMENT OF A NEW," *MATRIZ TRIZfest*, pp. 1–12, 2018.
- [95] H.-N. Hsieh, J.-F. Chen, and Q. Do, "Applying TRIZ and Fuzzy AHP Based on Lean Production to Develop an Innovative Design of a New Shape for Machine Tools," *Information*, vol. 6, no. 1, pp. 89–110, 2015.
- [96] G. Cao, P. Luo, L. Wang, and X. Yang, "Key Technologies for Sustainable Design Based on Patent Knowledge Mining," in *CIRP*, 2016, vol. 39, pp. 97–102.
- [97] I. Ekmekci and M. Koksai, "Triz Methodology and an Application Example for Product Development," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 2689–2698, 2015.
- [98] C. Spreafico and D. Russo, "TRIZ industrial case studies : a critical survey," in *CIRP*, 2016, vol. 39, pp. 51–56.
- [99] H. T. Chang and J. L. Chen, "The conflict-problem-solving CAD software integrating TRIZ into eco-innovation," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 35, no. 8–9, pp. 553–566, 2004.
- [100] D. Russo and M. Serafini, "Anticipating the identification of contradictions in Eco-design problems," *Procedia Eng.*, vol. 131, pp. 1011–1020, 2015.
- [101] G. Letens, "Lean Product Development-Faster, Better &hellip; Cleaner?," *Front. Eng. Manag.*, vol. 2, no. 1, p. 52, 2015.
- [102] G. Johansson and E. Sundin, "Lean and green product development : two sides of the same coin ?," *J. Clean. Prod.*, vol. 85, pp. 104–121, 2014.
- [103] R. A. Shirwaiker and G. E. Okudan, "Contributions of TRIZ and axiomatic design to leanness in design: An investigation," *Procedia Eng.*, vol. 9, pp. 730–735, 2011.
- [104] R. Luansing, C. Pesigan, and E. Rustico, "An e-trike ICE project - innovative , concrete and ergonomic : systems design to support sustainable e-trike commercialization," in *Manufacturing*, 2015, vol. 3, pp. 2333–2340.
- [105] E. Vezzetti, S. Moos, and S. Kretli, "Computer-Aided Design A product lifecycle management methodology for supporting knowledge reuse in the consumer packaged goods domain," *Comput. Des.*, vol. 43, no. 12, pp. 1902–1911, 2011.

- [106] H. Kobayashi, "A systematic approach to eco-innovative product design based on life cycle planning," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 20, no. 2, pp. 113–125, 2006.
- [107] C. Ahmed, D. Mario, and M. Gardoni, "Establishment of a methodology for eco-innovation based on inventive principle," *J. Innov. Res. Adv. Eng. Vol.*, vol. 1, no. 8, p. 10, 2014.
- [108] S. Negny, J. P. Belaud, G. Cortes Robles, E. Roldan Reyes, and J. B. Ferrer, "Toward an eco-innovative method based on a better use of resources: Application to chemical process preliminary design," *J. Clean. Prod.*, vol. 32, pp. 101–113, 2012.
- [109] M. Hamdi, "Lessons from rhizosphere and gastrointestinal ecosystems for inventive design of sustainable wastes recycling bioreactors," *Biochem. Eng. J.*, vol. 105, pp. 62–70, 2016.
- [110] J. Barragan, S. Negny, G. Cortes, J. Marc, and L. Lann, "Eco-innovative design method for process engineering," vol. 45, pp. 137–151, 2012.
- [111] Y. Li, C. Chu, W. Chien, and P. Chang, "Determination of developing trend for a novelty microbial electrolysis cell by a modified inventive problem solving approach," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 8, pp. 1–6, 2013.
- [112] M. Mansoor, N. Mariun, and N. I. AbdulWahab, "Innovating problem solving for sustainable green roofs: Potential usage of TRIZ – Theory of inventive problem solving," *Ecol. Eng.*, vol. 99, pp. 209–221, 2017.
- [113] J. Lewis and C. Lee, "Developing Sustainable Innovative Products for the Bottom of the Pyramid by Biomimetic Design Concepts," *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 629–634, 2017.
- [114] J. Chen and W.-C. Chen, "TRIZ Based Eco-Innovation in Design for Active Disassembly," in *CIRP Conference on Life Cycle Engineering, 2007*, pp. 83–87.
- [115] A. J. C. Trappey, J. J. R. Ou, G. Y. P. Lin, and M. Y. Chen, "An eco- and inno-product design system applying integrated and intelligent qfde and triz methodology," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 443–459, 2011.
- [116] S. B. Yen and J. L. Chen, "An eco-innovative tool by integrating FMEA and TRIZ methods," in *Proceedings - Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Eco Design 2005*, 2005, pp. 678–683.
- [117] D. Puspitarini, A. Suzianti, and H. Al Rasyid, "Designing A Sustainable Energy-harvesting Stairway: Determining Product Specifications Using TRIZ Method," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 216, no. October 2015, pp. 938–947, 2016.
- [118] J. L. Chen, I. Shen, and H. Huang, "Energy saving innovative design of green machine tools by case-based reasoning," in *Global Conference on Sustainable Manufacturing, 2013*, pp. 419–424.
- [119] S. Vinodh, V. Kamala, and K. Jayakrishna, "Integration of ECQFD, TRIZ, and AHP for innovative and sustainable product development," *Appl. Math. Model.*, vol. 38, no. 11–12, pp. 2758–2770, 2014.
- [120] C. H. Yeh, J. C. Y. Huang, and C. K. Yu, "Integration of four-phase QFD and TRIZ in product R&D: A notebook case study," *Res. Eng. Des.*, vol. 22, no. 3, pp. 125–141, 2011.
- [121] F. K. Wang and K. S. Chen, "Applying Lean Six Sigma and TRIZ methodology in banking services," *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, vol. 21, no. 3, pp. 301–315, 2010.
- [122] C.-N. Wang, Y.-F. Huang, T.-N. Le, and T.-T. Ta, "An Innovative Approach to Enhancing the Sustainable Development of Japanese Automobile Suppliers," *Sustainability*, vol. 8, no. 5, p. 420, 2016.
- [123] E. T. Kerga *et al.*, "Set Based Concurrent Engineering Innovation Roadmap," *Adv. Inf. Commun. Technol.*, vol. 415, pp. 253–261, 2013.

- [124] J. F. Alves, H. V. G. Navas, and I. L. Nunes, "Application of TRIZ Methodology for Ergonomic Problem Solving in a Continuous Improvement Environment," in *Advances in Safety Management and Human Factors*, 2016, pp. 473–485.
- [125] V. Bashkite, T. Karaulova, and O. Starodubtseva, "Framework for Innovation-Oriented Product End-Of-Life Strategies Development," *Procedia Eng.*, vol. 69, pp. 526–535, 2014.
- [126] D. Russo and V. Birolini, "A TRIZ based method for making systematic innovation in Eco-Design," *Int. J. Syst. Innov.*, vol. 2, no. 1, pp. 22–32, 2011.
- [127] J. Fresner, J. Jantschgi, S. Birkel, J. Bärnthaler, and C. Krenn, "The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects," *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 2, pp. 128–136, 2010.
- [128] J. L. Chen and S.-C. Huang, "Eco-Innovative Design of Product Service Systems by using the Substance-Field Analysis Method," in *Functional Thinking for Value Creation*, Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 63–68.
- [129] Z. Tang, R. Chen, and X. Ji, "An innovation process model for identifying manufacturing paradigms," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 43, no. 13, pp. 2725–2742, 2005.
- [130] W. Chen and J. Lewis, "Eco-innovation by Integrating Biomimetic Design and ARIZ," vol. 15, pp. 401–406, 2014.
- [131] R. Stratton and R. D. H. Warburton, "The strategic integration of agile and lean supply," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 85, no. 2, pp. 183–198, 2003.
- [132] T. Sakao, "A QFD-centred design methodology for environmentally conscious product design," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 18–19, pp. 4143–4162, 2007.
- [133] G. Mao, S. Wang, Q. Teng, J. Zuo, X. Tan, and H. Wang, "The sustainable future of hydropower: A critical analysis of cooling units via the Theory of Inventive Problem Solving and Life Cycle Assessment methods," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 2446–2453, 2017.
- [134] C. J. Yang and J. L. Chen, "Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method," *J. Clean. Prod.*, vol. 19, no. 9–10, pp. 998–1006, 2011.
- [135] C. J. Yang and J. L. Chen, "Forecasting the design of eco-products by integrating TRIZ evolution patterns with CBR and Simple LCA methods," *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 3, pp. 2884–2892, 2012.
- [136] C. R. Bertelli, G. Loureiro, S. José, and S. Paulo, "Quality Problems in Complex Systems even Considering the Application of Quality Initiatives during Product Development," pp. 40–51, 2015.
- [137] L. J. Lee, J. Leu, and Y. Huang, "A Value Engineering Based Method of Configuring ICT-based Customer Service Centers," in *2nd International Conference on Information Science and Control Engineering*, 2015.
- [138] S. Brad, B. Mocan, E. Brad, and M. Fulea, "TRIZ to support blue-design of products," *Procedia CIRP*, vol. 39, pp. 125–131, 2016.
- [139] G. Caligiana, A. Liverani, D. Francia, L. Frizziero, and G. Donnici, "Integrating QFD and TRIZ for innovative design," *J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–15, 2017.
- [140] S. R. Dewi, B. Setiawan, and S. Nugroho, "5S program to reduce change-over time on forming department ( case study on CV Piranti Works temanggung )," in *Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2013.
- [141] V. Chulvi and R. Vidal, "Usefulness of evolution lines in eco-design," *Procedia Eng.*, vol. 9, pp. 135–144, 2011.

- [142] T. Toivonen and J. Siitonen, "Value Stream Analysis for Complex Processes and Systems," *Procedia CIRP*, vol. 39, pp. 9–15, 2016.
- [143] D. T. S. Guimarães, "Metodologia TRIZ Aplicada ao Estudo de Melhoria da Gestão das Atividades Metrológicas na Saúde," 2016.
- [144] H. V. G. Navas, "Fundamentos do TrIZ PaRTe VII - PRInCÍPIos InVenTIVos ou TéCniCas PaRa VenCeR ConFIITos Helena," *Vida Económica - Inovação e Empreendedorismo*, no. September, p. 1, 2014.
- [145] Oxford, "Contradictions Matrix for Solving Technical Contradictions Separation Principles for Solving Physical Contradictions Inventive Principles," *Oxford Univ.*, p. 1, 1993.

# Anexos

## Anexo I – 39 Parâmetros de Engenharia <sup>[143]</sup> <sup>[144]</sup>

### 1. **Peso (objeto móvel)**

Massa do objeto em movimento num campo gravitacional.

### 2. **Peso (objeto imóvel)**

Massa do objeto imóvel num campo gravitacional.

### 3. **Comprimento (objeto móvel)**

Dimensão linear do objeto.

### 4. **Comprimento (objeto imóvel)**

Dimensão linear do objeto.

### 5. **Área (objeto móvel)**

Característica geométrica para descrever uma quantidade de espaço bidimensional, interna ou externa do objeto em movimento.

### 6. **Área (objeto imóvel)**

Característica geométrica para descrever uma quantidade de espaço bidimensional, interna ou externa do objeto imóvel.

### 7. **Volume (objeto móvel)**

Quantidade de espaço tridimensional ocupado por um objeto.

### 8. **Volume (objeto imóvel)**

Quantidade de espaço tridimensional ocupado por um objeto.

### 9. **Velocidade**

Distância percorrida por um objeto num determinado intervalo de tempo ou uma taxa em relação a um processo ou ação.

### 10. **Força**

Medida de interação que tenha como intenção modificar a condição de um objeto.

### 11. **Tensão ou pressão**

Força exercida por unidade de área.

**12. Forma**

Contorno externo de um componente ou sistema.

**13. Estabilidade do objeto**

Integridade do sistema, e o relacionamento dos seus elementos incluindo também nesta categoria a decomposição química, o desgaste, a dissociação e o aumento de entropia.

**14. Resistência**

Capacidade de um objeto se opor à aplicação de uma força.

**15. Durabilidade (objeto móvel)**

Intervalo de tempo em que o objeto pode executar uma ação, vida útil ou durabilidade.

**16. Durabilidade (objeto imóvel)**

Intervalo de tempo em que o objeto pode executar uma ação, vida útil ou durabilidade.

**17. Temperatura**

Condição térmica de um objeto ou sistema.

**18. Claridade**

Fluxo de luz por unidade de área, incluindo também características óticas como a cor, brilho, qualidade da luz, etc.

**19. Energia gasta (objeto móvel)**

Medida da capacidade de um objeto efetuar uma ação.

**20. Energia gasta (objeto imóvel)**

Medida da capacidade de um objeto efetuar uma ação.

**21. Potência**

Taxa na qual a ação é executada ou taxa de uso da energia.

**22. Perda de energia**

Ineficiência, energia gasta que não contribui para a execução da tarefa.

**23. Perda de massa**

Perda de massa de componentes do sistema, total ou parcial, permanente ou temporário.

**24. Perda de informação**

Perda de dados ou acesso a eles, de ou para um sistema, que pode ser parcial ou total, permanente ou temporário. Nessa informação podem estar incluídos dados visuais, auditivos, táteis, olfativos ou gustativos.

**25. Perda de tempo**

Ineficiência do uso do tempo disponível.

**26. Quantidade de matéria**

Número ou quantidade de materiais, substâncias, peças ou subsistemas que podem ser alterados.

**27. Fiabilidade**

Capacidade de um sistema ou componente cumprir as tarefas pretendidas em determinadas condições.

**28. Precisão de medição**

Proximidade entre o valor medido e o valor real.

**29. Precisão de fabrico**

Proximidade entre as características reais de um sistema ou objeto e as características especificadas ou requeridas.

**30. Fatores indesejados que atuam no objeto**

Suscetibilidade de um sistema aos efeitos prejudiciais externos.

**31. Efeitos colaterais indesejados**

Redução da eficiência ou da qualidade devido ao objeto como parte integrante da operação.

**32. Manufaturabilidade**

Facilidade de fabricação, manufatura, montagem e inspeção.

**33. Conveniência de uso**

Simplicidade do processo.

**34. Manutenção**

Conveniência, conforto, simplicidade e tempo para reparar falhas ou defeitos de um sistema.

**35. Adaptabilidade**

Capacidade de um sistema responder positivamente a alterações externas, inclusive o seu uso em múltiplas formas e sob diferentes condições.

**36. Complexidade do dispositivo**

Número e diversidade de elementos e relacionamento entre si dentro do sistema.

**37. Complexidade no controlo**

O controlo de sistemas é complexo, custoso, requer muito tempo e mão-de-obra.

**38. Nível de automação**

Capacidade de um sistema ou objeto executar tarefas sem a intervenção humana.

**39. Produtividade**

Número de funções ou operações realizadas por um sistema por unidade de tempo.

Tempo por unidade de função ou operação. Saída por unidade de tempo ou custo por unidade de saída.

## **Anexo II – 40 Princípios Inventivos** <sup>[143]</sup> <sup>[144]</sup>

### **Princípio 1 – Segmentação:**

- A. Dividir o objeto em partes independentes.
- B. Secionar o objeto (para facilitar a montagem e desmontagem).
- C. Aumentar o grau de segmentação do objeto

### **Princípio 2 - Extração (Extração, Recuperação, Remoção):**

- A. Extrair do objeto a parte ou a propriedade que “perturba”.
- B. Extrair do objeto apenas a parte ou a propriedade necessária.

### **Princípio 3 - Qualidade Local:**

- A. Providenciar a transição de uma estrutura homogênea de um objeto ou ambiente externo (ação) para uma estrutura heterogênea.
- B. Fazer com que os diferentes componentes do objeto executem funções diferentes.
- C. Colocar cada parte do objeto em condições mais favoráveis para o seu funcionamento.

### **Princípio 4 – Assimetria:**

- A. Substituir uma forma simétrica por uma forma assimétrica
- B. Se um objeto já for assimétrico, aumentar o seu grau de assimetria

### **Princípio 5 – Combinação:**

- A. Combinar no espaço os objetos homogêneos ou objetos destinados a operações contíguas
- B. Combinar no tempo as operações homogêneas ou contíguas

### **Princípio 6 – Universalidade:**

A. Se um objeto servir para realizar várias funções, assim, poder-se-á eliminar os outros elementos.

**Princípio 7 – Nidificação:**

A. Colocar o objeto dentro de outro, que, por sua vez, é colocado no interior de um terceiro objeto, etc.

B. Passar o objeto através de uma cavidade num outro objeto.

**Princípio 8 – Contrapeso:**

A. Compensar o peso de um objeto juntando – o com um outro objeto que gera uma força de elevação.

B. Compensar o peso de um objeto com forças aerodinâmicas ou hidrodinâmicas geradas pelo meio ambiente.

**Princípio 9 – Contra-acção prévia:**

A. Realizar uma contra-acção por antecipação.

B. Submeter o objeto ao pré-carregamento com contra tensão para compensar tensões excessivas ou indesejáveis.

**Princípio 10 – Ação Prévia:**

A. Realizar as alterações necessárias num objeto com antecedência total ou parcial.

B. Colocar os objetos com antecedência de modo que eles possam entrar em ação no momento oportuno e numa posição conveniente.

**Princípio 11 – Amortecimento Prévio:**

Compensar a confiabilidade relativamente baixa de um objeto com contramedidas tomadas com antecedência.

**Princípio 12 – Equipotencialidade:**

A. Alterar as condições de trabalho, de modo que um objeto não precise de ser levantado ou abaixado.

**Princípio 13 – Inversão:**

- A. Em vez de uma ação ditada pelas especificações do problema, aplicar uma ação oposta (por exemplo, arrefecimento em vez de aquecimento).
- B. Transformar elemento móvel do objeto ou do meio ambiente em imóvel e o elemento imóvel em móvel.

**Princípio 14 – Esfericidade:**

- A. Substituir os elementos lineares por curvilíneos, as superfícies planas por superfícies esféricas e as formas cúbicas por formas esferoidais.
- B. Usar rolos, esferas, espirais.
- C. Substituir movimento linear por movimento rotativo; utilizar forças centrífugas.

**Princípio 15 – Dinamismo:**

- A. Ajustar as características do objeto ou do meio ambiente ao melhor desempenho em cada fase do funcionamento.
- B. Se um objeto for imóvel, torná-lo móvel. Tornar o objeto intermutável.
- C. Dividir o objeto em partes que possam mudar de posição relativamente a cada uma das outras partes.

**Princípio 16 - Ação Parcial ou Excessiva:**

- A. Se for difícil obter o efeito desejado a 100%, alcançar mais ou menos o efeito desejado

**Princípio 17 – Transição para uma Nova Dimensão:**

- A. Providenciar a transição do movimento ou localização unidimensionais em bidimensionais; dos bidimensionais em tridimensionais, etc.
- B. Utilizar composição de objetos em vários níveis.
- C. Inclinar o objeto ou colocá-lo de lado.
- D. Utilizar o lado oposto de uma dada superfície.

E. Projetar linhas óticas nas áreas adjacentes ou no lado oposto do objeto.

**Princípio 18 - Vibrações Mecânicas:**

- A. Utilizar oscilação.
- B. Se oscilação já existir, aumentar a sua frequência até à ultrassónica.
- C. Usar a frequência de ressonância.
- D. Substituir as vibrações mecânicas por piezo-vibrações
- E. Usar vibrações ultrassónicas em conjunto com um campo eletromagnético

**Princípio 19 – Ação Periódica:**

- A. Substituir uma ação contínua por uma periódica (impulso).
- B. Se uma ação já é periódica, mudar a sua frequência.
- C. Aproveitar os intervalos entre os impulsos para realizar ações adicionais.

**Princípio 20 - Continuidade de uma Ação Útil:**

- A. Realizar ações sem interrupções. Todos os elementos do objeto devem operar em plena capacidade.
- B. Remover movimentos em repouso e intermédios.
- C. Substituir movimentos vai-e-vem por rotativos.

**Princípio 21 – Aceleração:**

- A. Realizar operações prejudiciais ou perigosas a uma velocidade muito alta.

**Princípio 22 – Transformação de Prejuízo em Proveito:**

- A. Utilizar fatores nocivos (especialmente os ambientais) para obter um efeito positivo.
- B. Remover um fator prejudicial combinando-o com um outro fator prejudicial.
- C. Aumentar a intensidade de ação nociva até que esta deixe de ser prejudicial.

**Princípio 23 – Reação:**

- A. Introduzir reação.
- B. Se a reação já existir, mudá-la.

**Princípio 24 – Mediação:**

- A. Usar um objeto intermediário para transferir ou executar uma ação.
- B. Ligar temporariamente o objeto original a um outro que seja fácil de remover.

**Princípio 25 – Autosserviço:**

- A. Providenciar que o objeto, além de servir a si próprio, realize também operações suplementares e de reparação.
- B. Fazer uso dos materiais e da energia desperdiçados

**Princípio 26 – Cópia:**

- A. Usar uma cópia simples e barata, em vez do objeto original, se este for complexo, caro, frágil ou inconveniente em funcionamento.
- B. Se uma cópia ótica visível já for utilizada, substituí-la por uma cópia infravermelha ou ultravioleta.
- C. Substituir o objeto (ou sistema de objetos) pela sua imagem ótica. A imagem pode ser reduzida ou aumentada.

**Princípio 27 -Uso e descarte (objetos baratos e de vida curta):**

- A. Substituir um objeto caro por um outro mais barato, mesmo comprometendo outras propriedades (por exemplo, durabilidade).

**Princípio 28 - Substituição do Sistema Mecânico:**

- A. Substituir um sistema mecânico por um sistema ótico, acústico, térmico ou olfativo.
- B. Usar um campo elétrico, magnético ou eletromagnético para a interação com o objeto.

C. Substituir campos: - Campos estacionários por campos móveis - Campos fixos por campos que mudam com o tempo - Campos aleatórios por campos estruturados

D. Utilizar campos em conjunto com partículas ferromagnéticas.

**Princípio 29 - Utilização de Sistemas Pneumáticos ou Hidráulicos:**

A. Substituir as peças sólidas de um objeto por gás ou líquido. Estas peças podem usar ar ou água para insuflar, ou usar amortecedores pneumáticos ou hidrostáticos.

**Princípio 30 - Membranas Flexíveis ou Películas Finas:**

A. Substituir construções tradicionais por membranas flexíveis ou películas finas.

B. Isolar o objeto do meio ambiente utilizando membranas flexíveis ou películas finas.

**Princípio 31 - Utilização de Materiais Porosos:**

A. Tornar o objeto poroso ou adicionar elementos porosos (inserção, revestimentos, etc.).

B. Se o objeto já for poroso, preencher os poros com alguma substância.

**Princípio 32 - Mudança de Cor:**

A. Alterar a cor do objeto ou do seu ambiente.

B. Alterar o grau de translucidez do objeto ou do seu ambiente.

C. Usar aditivos coloridos para observar objetos ou processos que são difíceis de ver.

D. Se tais aditivos já forem utilizados, aplicar traços luminescentes ou atômicos.

**Princípio 33 – Homogeneidade:**

Fazer objetos que interagem com o objeto principal do mesmo material (ou de material com características semelhantes) do material do objeto principal.

**Princípio 34 - Rejeição e Recuperação de Componentes:**

A. Depois de ter concluído a sua função ou de se tornar inútil, rejeitar (descartar, dissolver, evaporar, etc.) o elemento do objeto ou modificá-lo durante o processo de trabalho deste.

B. Reparar os elementos do objeto durante o seu trabalho.

**Princípio 35 - Transformação do Estado Físico ou Químico:**

- A. Alterar o estado físico do sistema.
- B. Alterar a concentração ou densidade.
- C. Alterar o grau de flexibilidade.
- D. Alterar a temperatura ou volume.

**Princípio 36 – Mudança de Fase:**

Usar o fenómeno de mudança de fase (por exemplo, a alteração do volume, a libertação ou a absorção de calor, etc.)

**Princípio 37 - Expansão Térmica:**

- A. Usar a expansão ou contração de material alterando a temperatura.
- B. Usar vários materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica.

**Princípio 38 – Utilização de Oxidantes Fortes:**

Obter transição de um nível de oxidação para um nível mais alto - Do ar ambiente para ar oxigenado - Do ar oxigenado para oxigénio - Do oxigénio para oxigénio ionizado - Do oxigénio ionizado para oxigénio ozonado - Do oxigénio ozonado para ozono - Do ozono para oxigénio singleto.

**Princípio 39 - Ambiente Inerte:**

- A. Substituir o ambiente normal por um inerte.
- B. Introduzir uma substância neutra ou aditivos ao objeto.
- C. Realizar o processo em vácuo.

**Princípio 40 - Materiais Compósitos:**

- A. Substituir materiais homogéneos por compósitos

# Anexo III – Matriz de Contradições <sup>[145]</sup>

| 39 Technical Parameters                    | 40 Inventive Principles |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |
|--|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
|  | 1                       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |   |   |
| 1 Weight of moving object                  | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |   |   |
| 2 Weight of stationary object              | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 3 Length of moving object                  | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 4 Length of stationary object              | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 5 Area of moving object                    | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 6 Area of stationary object                | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 7 Volume of moving object                  | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 8 Volume of stationary object              | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 9 Speed                                    | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 10 Force (not weight)                      | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |   |   |
| 11 Stress on person                        | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 12 Shape                                   | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 13 Stability of the object's composition   | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 14 Strength                                | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 15 Duration of action by moving object     | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 16 Duration of action by stationary object | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |   |   |
| 17 Temperature                             | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 18 Illumination intensity                  | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 19 Use of energy by moving object          | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 20 Use of energy by stationary object      | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 21 Power                                   | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 22 Loss of energy                          | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 23 Loss of substance                       | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 24 Loss of information                     | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 25 Loss of time                            | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 26 Quantity of substance                   | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 27 Reliability                             | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 |
| 28 Measurement Accuracy                    | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 29 Manufacturing Precision                 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 30 Object affected harmful factors         | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 31 Object generated harmful factors        | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 32 Ease of manufacture                     | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 33 Convenience of Use                      | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 34 Ease of repair                          | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 35 Adaptability or versatility             | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 36 Drive complexity                        | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 37 Difficulty of detecting and measuring   | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 38 Safety of automation                    | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |
| 39 Productivity                            | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 |   |



| 40 Inventive Principles         | Separation Principles for Solving Physical Contradictions |      |           |       |
|---------------------------------|---|------|-----------|-------|
|                                 | Space   | Time | Condition | State |
| 1 Segmentation                  | +   | +    | +         | +     |
| 2 Taking Out                    | +   | +    | +         | +     |
| 3 Local Quality                 | +   | +    | +         | +     |
| 4 Asymmetry                     | +   | +    | +         | +     |
| 5 Merging                       | +   | +    | +         | +     |
| 6 Universality                  | +   | +    | +         | +     |
| 7 Nested Doll                   | +   | +    | +         | +     |
| 8 Anti-Weight                   | +   | +    | +         | +     |
| 9 Prior Counteraction           | +   | +    | +         | +     |
| 10 Prior Action                 | +   | +    | +         | +     |
| 11 Cushion in Advance           | +   | +    | +         | +     |
| 12 Equipotentiality             | +   | +    | +         | +     |
| 13 The Other Way Round          | +   | +    | +         | +     |
| 14 Spheroidality - Curvature    | +   | +    | +         | +     |
| 15 Dynamics                     | +   | +    | +         | +     |
| 16 Partial or Excessive Action  | +   | +    | +         | +     |
| 17 Another Dimension            | +   | +    | +         | +     |
| 18 Mechanical Vibration         | +   | +    | +         | +     |
| 19 Periodic Action              | +   | +    | +         | +     |
| 20 Continuity of Useful Action  | +   | +    | +         | +     |
| 21 Rushing Through              | +   | +    | +         | +     |
| 22 Bleeding in Disguise         | +   | +    | +         | +     |
| 23 Feedback                     | +   | +    | +         | +     |
| 24 Intermediary                 | +   | +    | +         | +     |
| 25 Self-Service                 | +   | +    | +         | +     |
| 26 Copying                      | +   | +    | +         | +     |
| 27 Cheap Short-Living Objects   | +   | +    | +         | +     |
| 28 Replace Mechanical System    | +   | +    | +         | +     |
| 29 Pneumatics and Hydraulics    | +   | +    | +         | +     |
| 30 Flexible Membrane/Thin Films | +   | +    | +         | +     |
| 31 Porous Materials             | +   | +    | +         | +     |
| 32 Colour Change                | +   | +    | +         | +     |
| 33 Homogeneity                  | +   | +    | +         | +     |
| 34 Discarding and Recovering    | +   | +    | +         | +     |
| 35 Parameter Change             | +   | +    | +         | +     |
| 36 Phase Transition             | +   | +    | +         | +     |
| 37 Thermal Expansion            | +   | +    | +         | +     |
| 38 Accelerate-Oxidation         | +   | +    | +         | +     |
| 39 Inert Environment            | +   | +    | +         | +     |
| 40 Composite Materials          | +   | +    | +         | +     |

## Anexo IV – Diagnóstico Lean Lab

### DIAGNÓSTICO *LEAN LAB*

O presente diagnóstico enquadra-se no caso de estudo realizado para o Trabalho Final de Mestrado – Integração de Ferramentas *Lean*, Eco e TRIZ e seu contributo para a sustentabilidade - do Mestrado em Engenharia da Qualidade e do Ambiente do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e tem como objetivo a recolha de dados de maneira a realizar uma avaliação *Lean* do laboratório pHarmalab através da análise da situação atual no sentido de identificar oportunidades de melhoria para promover uma cultura de melhoria contínua que suporte os benefícios dos aspetos do *Lean* Laboratorial. Os dados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos.

Este apresenta-se dividido num conjunto de oito secções correspondendo aos vários tipos de desperdícios *Lean Lab* e são feitas afirmações que só têm duas opções de resposta verdadeiro/falso. Assinale com (X) a opção que considera correta.

O tempo estimado de preenchimento é de 30 minutos. Será garantido o anonimato das respostas

| Inventários  | Verdadeiro | Falso |
|--|------------|-------|
| As datas de validade dos produtos utilizados no laboratório são verificadas sistematicamente.  |            |       |
| Os consumos de reagentes/consumíveis/ materiais são normalmente planeados.   |            |       |
| Os consumos não planeados de reagentes/consumíveis/materiais são registados.   |            |       |
| O acondicionamento/armazenamento é adequado aos produtos utilizados no laboratório. (Rótulos íntegros, FISPQ, seguindo critérios da tabela de incompatibilidades químicas, armazenamento sob refrigeração quando necessário, etc.) |            |       |
| O armazenamento de reagentes/consumíveis/materiais está organizado de forma a haver um controlo adequado da utilização dos mesmos.   |            |       |
| Existem stocks de segurança para os reagentes/consumíveis/ materiais usados nas atividades laboratoriais.  |            |       |
| Existe uma verificação regular do espaço de armazenagem disponível.  |            |       |
| É dado seguimento aos produtos usados no laboratório que ultrapassam o prazo de validade.  |            |       |
| Não existe sobre armazenamento de materiais/produtos/consumíveis.  |            |       |
| Não se mantêm armazenados produtos que se encontrem fora do prazo de validade.   |            |       |
| O chefe laboratório/técnico controla e verifica sempre o stock de padrões bem como todos os seus movimentos.   |            |       |

|   |            |       |
|---|------------|-------|
| Não se mantém em uso equipamento obsoleto.  |            |       |
| É usado um sistema de etiquetagem próprio para todo o inventário  |            |       |
| Nunca existem produtos para os quais se verifique sobre armazenagem   |            |       |
| Nunca existem roturas de stocks.  |            |       |
| <b>Sobre processamento (processamento impróprio)</b>  | Verdadeiro | Falso |
| Os indicadores mais importantes, como OOS, OOT, etc. são regularmente determinados e usados para otimizar as atividades laboratoriais |            |       |
| Existindo um planeamento das atividades laboratoriais, esse é de conhecimento geral   |            |       |
| Existem estimativas sobre as quantidades máximas de produtos a utilizar por atividade.  |            |       |
| É estabelecida uma sequência das atividades a realizar durante o dia.   |            |       |
| Existe sincronização na realização das atividades diárias.  |            |       |
| Não existem rotinas implementadas de repetição de testes que possam resultar em sobreteste.   |            |       |
| A dimensão das amostras é minimizada de modo a gastar o mínimo de reagentes ainda assim garantindo a adequada precisão                |            |       |
| Mesmo desconfiando de um resultado os analistas não podem repetir os testes diversas vezes.   |            |       |
| As quantidades de amostra a ensaiar são sempre as menores possíveis desde que a precisão necessária possa ser obtida                  |            |       |
| Estão implementadas medidas para minimizar o desperdício de solventes (ex.: limpeza automática após titulação)                        |            |       |
| <b>Tempo de Espera</b>  | Verdadeiro | Falso |
| O volume de trabalho por analista é distribuído uniformemente ao longo dos dias / semana.   |            |       |
| O analista conhece qual o tempo de execução esperado para cada ensaio.  |            |       |
| Nunca existem conflitos na utilização dos equipamentos.   |            |       |
| Não existe tempo mal aproveitado durante a preparação das amostras.   |            |       |
| Existem prazos definidos para a aprovação dos resultados de ensaios.  |            |       |
| Existem prazos definidos para iniciar uma investigação OOS.   |            |       |
| Os reagentes/consumíveis/ materiais encontram-se sempre disponíveis/prontos a usar na altura em que são necessários.                  |            |       |
| Os ensaios nunca são suspensos por falta de algum/alguns reagentes/consumíveis/ materiais.  |            |       |
| Os reagentes/consumíveis/ materiais de laboratório são armazenados de maneira ordenada e são fáceis de localizar.                     |            |       |
| É feita a monitorização continua do consumo de reagentes, materiais, consumíveis, etc.  |            |       |
| Existe a monitorização do tempo de espera para os equipamentos.   |            |       |

|  |            |       |
|--|------------|-------|
| Estão determinados os tempos padrão para as análises.  |            |       |
| Determina-se o tempo usado na transcrição dos resultados.  |            |       |
| As interrupções não planeadas são registadas.  |            |       |
| A transferência de dados obtidos de um equipamento para o LIMS não origina tempo de espera.  |            |       |
| A alocação dos equipamentos do laboratório é feita de modo a minimizar os tempos mortos.   |            |       |
| <b>Competências do Pessoal de Laboratório</b>  | Verdadeiro | Falso |
| Existe um sistema de rotatividade entre os analistas e as atividades realizadas no laboratório.  |            |       |
| Os métodos utilizados por cada analista vão ao encontro dos seus conhecimentos laboratoriais.  |            |       |
| Os analistas sabem sempre o que fazer quando em presença de um OOS.  |            |       |
| Os analistas têm conhecimento de todos os procedimentos operacionais padrão (SOPs).  |            |       |
| Os analistas seguem todos os procedimentos operacionais padrão (SOPs).   |            |       |
| É sempre feito o aproveitamento da experiência e do Know-how dos analistas envolvidos no laboratório.  |            |       |
| Os analistas são/sentem-se completamente envolvidos nas atividades do laboratório.   |            |       |
| Os utilizadores do laboratório usam sempre os equipamentos de proteção individual (EPIs).  |            |       |
| Existe um mapa geral que indica quais as responsabilidades laboratoriais e em que nível os analistas as podem executar   |            |       |
| O laboratório tem um técnico analista com competências para supervisionar as diversas atividades laboratoriais   |            |       |
| O pessoal do Laboratório está familiarizado com as técnicas, documentos e procedimentos relacionados com o seu trabalho  |            |       |
| O laboratório realiza ou efetua levantamentos de necessidades de formação (interna e externa) e elabora planos de acordo com esse levantamento                       |            |       |
| O número de horas de trabalho é o mais adequado  |            |       |
| Os utilizadores do laboratório têm a preocupação de cumprir as condições de segurança de forma a garantir as condições de saúde e segurança dos demais utilizadores. |            |       |
| Não existe absentismo não planeado   |            |       |
| Os analistas têm treino específico para efetuar a análise das causas raiz de um problema.  |            |       |

|  |            |       |
|--|------------|-------|
| A operação dos equipamentos/sistemas corresponde sempre ao nível de competência/conhecimento dos analistas.  |            |       |
| A formação no posto de trabalho é registada com recurso a critérios explícitos.  |            |       |
| Quando o analista se ausenta do posto de trabalho faz sempre <i>log off</i> de todos os sistemas de computador por ele/ela usados.                     |            |       |
| Ao deixar o trabalho diariamente o analista garante que o trabalho em curso está devidamente registado.  |            |       |
| O chefe de laboratório assegura a formação em equipamentos de segurança.   |            |       |
| O chefe de laboratório assegura a existência de uma matriz com as tarefas específicas alocadas a cada membro da equipa de laboratório                  |            |       |
| Existe acesso a todas as fichas de dados de segurança dos produtos manipulados no laboratório.   |            |       |
| Todos os elementos conhecem o procedimento de tratamento de resíduos sólidos e líquidos.   |            |       |
| Todos os elementos sabem qual é o procedimento a seguir em caso de resultados analíticos incorretos com disposição no LIMS.                            |            |       |
| Todos os elementos sabem como decorre a investigação de um resultado analítico.  |            |       |
| Todos os elementos sabem o que fazer perante a falha dos critérios de aceitação do <i>System suitability</i>   |            |       |
| <b>Defeitos</b>  | Verdadeiro | Falso |
| Os utilizadores do laboratório conhecem todos os tipos de defeitos que estão diretamente relacionados com as técnicas utilizadas.                      |            |       |
| Há uma verificação/registo prévio da qualidade dos reagentes/consumíveis/ materiais antes da sua utilização.   |            |       |
| Existe sempre uma pré-avaliação dos fornecedores antes da sua escolha que obedece a critérios que estão definidos e registados.                        |            |       |
| Existe a quantificação das fontes de ruído acústico da instalação e as atividades ruidosas temporárias ou permanentes.                                 |            |       |
| Existem registos diários das temperaturas adequadas de funcionamento dos sistemas de climatização, equipamentos de refrigeração, etc.                  |            |       |
| Os produtos de limpeza são mantidos corretamente fechados, de forma a evitar a libertação de compostos poluentes.                                      |            |       |
| Existe um tratamento diferenciado e respetivos registos dos produtos que apresentam defeitos.  |            |       |
| Os objetivos da realização das atividades experimentais são bem definidos e de conhecimento de todos.  |            |       |
| O laboratório tem equipamento qualificado para a realização de todos os ensaios.   |            |       |
| O laboratório tem um plano de calibração definido para todos os equipamentos utilizados.   |            |       |
| O laboratório realiza verificações/confirmações periódicas do funcionamento dos equipamentos.  |            |       |
| Os equipamentos são verificados de forma a garantir que os que podem ser/estar desligados quando não estão a ser utilizados estão de facto desligados. |            |       |
| As estações de trabalho estão sempre limpas e arrumadas.   |            |       |
| As estações de trabalho foram bem projetadas para o fim a que se destinam.   |            |       |

|  |  |  |
|--|--|--|
| As condições de trabalho são auditadas internamente de forma regular e existem registos.   |  |  |
| Os indicadores mais importantes, como OOS, OOT, etc., são regularmente determinados.   |  |  |
| Os indicadores são visualizados, analisados e incluídos em relatórios.   |  |  |
| Pode-se relatar a produtividade no laboratório sem investir tempo e esforço adicionais.  |  |  |
| Não existe capacidade disponível do laboratório por aproveitar.  |  |  |
| Os equipamentos do laboratório estão sempre em perfeitas condições de funcionamento.   |  |  |
| As capacidades atuais dos equipamentos são adequadas e regularmente avaliadas.   |  |  |
| Na calibração / qualificação dos equipamentos não existem situações a melhorar.  |  |  |
| As peças de reposição ou componentes importantes estão sempre presentes quando são necessários.  |  |  |
| Todos os equipamentos/sistemas têm uma forma de operação simples e intuitiva.  |  |  |
| Quando ocorre um OOS inicia-se de imediato uma investigação.   |  |  |
| A receção, registo e armazenamento de amostras que entram no laboratório segue um procedimento standard.   |  |  |
| Erros durante a transcrição de nomes e números de amostras são identificados e registados.   |  |  |
| As potenciais fontes de contaminação estão todas bem identificadas.  |  |  |
| Existem pontos de controlo estabelecidos sobre as principais fontes de contaminação.   |  |  |
| Os analistas mantêm sempre o local de trabalho devidamente arrumado e limpo nomeadamente o material e equipamento usado.   |  |  |
| Existem placas e etiquetas para identificar todos os testes em curso (em banho Maria, placas de aquecimento, equipamentos analíticos (HPLC, GC, etc...), bancadas de laboratório, etc..      |  |  |
| Existe garantia que as soluções de amostra e de padrão são armazenadas até ao final da análise para que foram preparadas e só se não forem observados OOS e OOT as soluções são descartadas. |  |  |
| Ao deixar o trabalho diariamente os analistas garantem que as soluções preparadas se encontram identificadas e que o trabalho em curso está registado e cumpre com o procedimento em vigor.  |  |  |
| Os resíduos do trabalho em curso são sempre colocados nos contentores apropriados nunca existindo falhas.  |  |  |
| É feito o registo de todos os resíduos do trabalho em curso.   |  |  |
| Os utilizadores verificam o estado de inspeção do equipamento antes da sua utilização.   |  |  |
| Os reagentes têm prazo de validade que nunca é excedido.   |  |  |
| O chefe/técnico de laboratório assegura que os equipamentos são sujeitos a calibração/manutenção interna segundo procedimento interno  |  |  |
| O chefe/técnico de laboratório garante que são efetuadas as calibrações e manutenções externas definidas e garante a existência de todos os registos relacionados com essas intervenções.    |  |  |

|   |            |       |
|---|------------|-------|
| Após expirar o prazo de validade estabelecido para os reagentes o chefe/técnico de laboratório assegura sempre a sua eliminação garantindo que nenhum será utilizado fora do prazo estabelecido |            |       |
| As amostras solidas recebidas no laboratório para análise depois de analisadas são registadas por quantidade e técnica antes de eliminadas.   |            |       |
| Os líquidos a eliminar são quantificados por técnica e são separados em classes/contentores adequados (ex.: solventes halogenados, solventes não halogenados, ácidos, bases).                   |            |       |
| Os materiais descartáveis como por ex. seringas e ampolas viais de HPLC e GC usados são quantificados por técnica e armazenados e colocados no local para resíduos contaminados.                |            |       |
| O analista verifica sempre se a substância de referência a usar se encontra dentro da validade.   |            |       |
| Os analistas verificam e registam sempre diariamente as condições normais de utilização das balanças analíticas.  |            |       |
| O chefe de laboratório assegura a correta manutenção dos equipamentos e existem registos sobre as manutenções   |            |       |
| Existe um registo da verificação periódica das condições dos equipamentos de proteção coletiva e individual   |            |       |
| O plano de limpeza e higienização é executado nos timings estipulados e existem registos  |            |       |
| Existe um plano de manutenção preventiva para os equipamentos de laboratório capaz de assegurar o seu bom funcionamento e prevenir avarias  |            |       |
| Nunca existem problemas de preservação de integridade de dados na utilização de softwares e aplicações informáticas   |            |       |
| Os dados analíticos são sempre introduzidos automaticamente no LIMS e não manualmente.  |            |       |
| Os cálculos analíticos são sempre verificados por fonte independente.   |            |       |
| As auditorias são uma prática realizada periodicamente  |            |       |
| Os registos são sempre efetuados em simultâneo com a análise.   |            |       |
| São sempre feitos relatórios para os incidentes QC e existe rastreamento do número de situações ocorridas   |            |       |
| Os incidentes VQ são sempre registados no sistema de desvios  |            |       |
| Os analistas efetuam sempre a pré-lavagem do material de acordo com os procedimentos escritos   |            |       |
| Os utilizadores registam o estado de inspeção do equipamento antes da sua utilização.   |            |       |
| A periodicidade da intervenção para calibração/manutenção cada equipamento está definido e devidamente registada de acordo com critérios estabelecidos.   |            |       |
| Todos os resultados analíticos são verificados por pessoal qualificado (um verificador).  |            |       |
| <b>Sobreprodução (produção excessiva)</b>   | Verdadeiro | Falso |
| Existe controlo e registo das quantidades de reagentes e produtos químicos utilizados durante as atividades   |            |       |
| Todas as técnicas foram otimizadas de modo a consumir a mínima quantidade de reagentes e produtos   |            |       |

|   |            |       |
|---|------------|-------|
| Foi estudado se todas as atividades laboratoriais realizadas são necessárias  |            |       |
| Não existem atividades laboratoriais não planeadas  |            |       |
| Existe controlo e análise dos resultados finais das atividades (em termos de quantidades finais obtidas).                                 |            |       |
| Os tempos padrão de realização dos ensaios estão determinados.  |            |       |
| Os tempos efetivos de realização de cada ensaio são registados.   |            |       |
| Os atrasos inesperados/tempos inativos não necessários são registados.  |            |       |
| Todas as preparações de soluções são registadas.  |            |       |
| <b>Transporte</b>   | Verdadeiro | Falso |
| Os utilizadores conseguem transportar os reagentes/consumíveis/materiais de maneira rápida e fácil pelo laboratório.                      |            |       |
| Existem percursos específicos estabelecidos para o transporte dos reagentes/consumíveis/materiais.  |            |       |
| As estações de trabalho encontram-se sempre limpas e arrumadas para facilitar a deslocação e transporte.                                  |            |       |
| Os reagentes/consumíveis/materiais gerais do laboratório necessário ao normal funcionamento são armazenados junto aos postos de trabalho. |            |       |
| Existe equipamento apropriado para o transporte dos equipamentos/ produtos químicos   |            |       |
| Existe um registo de todo o tipo de material que pode ser transportado (equipamentos, documentos, produtos químicos...)                   |            |       |
| <b>Movimentação/Distâncias</b>  | Verdadeiro | Falso |
| Os equipamentos analíticos estão organizados numa sequência lógica (tendo em conta o procedimento de ensaio).                             |            |       |
| Os equipamentos estão organizados em células de trabalho.   |            |       |
| O laboratório dispõe de procedimentos para o correto transporte de materiais e instrumentos.  |            |       |
| O laboratório dispõe de procedimentos para a correta conservação e manuseamento de padrões e materiais de referência                      |            |       |
| A movimentação dos analistas é a menor possível para a realização de um ensaio.   |            |       |
| A movimentação entre analistas não origina um espaço de trabalho mais agitado/confuso.  |            |       |
| As distâncias que separam as tarefas individuais do fluxo de trabalho são as menores possíveis.   |            |       |
| Os resultados podem ser eletronicamente arquivados sem desperdício nas distâncias percorridas e no tempo gasto.                           |            |       |
| Os acessórios necessários para os ensaios a efetuar estão arrumados o mais próximo possível.  |            |       |

Muito obrigada pela sua colaboração!

## Anexo V – Matriz MET adaptada para cada Técnica

Tabela 27 - Matriz MET adaptada para a técnica Karl-Fisher Coulômetria (elaboração própria)

| Karl-Fisher Coulômetria | Material  | Consumo de recursos   |                                  |               |                                 |
|-------------------------|---|---|----------------------------------|---------------|---------------------------------|
|                         |   | Energia   | Massa                            | Emissões      | Resíduos                        |
| <b>Input</b>            | Balança analítica; Coulômetro; eletrodo gerador; copos de titulação; ampola de padrão; óculos | Energia gasta com computador; energia gasta com o equipamento Karl-Fisher (sensores, parâmetros de controle); | Luvas; septo; seringas e agulhas | -----         | Resíduos líquidos (halogenados) |
| <b>Execução</b>         | Hydranal - Coulomat AG; Hydranal - Water Standart;  | Energia gasta nas limpezas, lavagem seringas, estufa  | Agente abrasivo (detergente)     | Metanol, iodo | -----                           |
| <b>Output</b>           | Resultado reportado pelo software (teor de água no padrão de água)                            | -----   | -----                            | -----         | -----                           |

Tabela 28 - Matriz MET adaptada para a técnica Karl-Fisher Volumetria (elaboração própria)

| Karl-Fisher volumetria | Material   | Consumo de recursos   |   | Emissões      | Resíduos  |
|------------------------|--|---|---|---------------|---|
|                        |  | Energia   | Massa                                   |               |   |
| Input                  | Balança analítica; equipamento Karl-Fisher; barcos de pesagem; vials, septo, espátula, tampa de vidro; ampola de padrão; buretas; óculos | Energia gasta com computador; energia gasta com o equipamento Karl-Fisher (sensores, parâmetros de controlo); | Luvas; máscara facial, papel de limpeza |               | Resíduos líquidos (iodo); resíduos sólidos (seringas e ampolas); buretas; |
| Execução               | Aquametric solvent; aquametric titrant; Hydranal - Water Standart; Sodium Tartrate Dihydrate   | Energia gasta nas limpezas, lavagem seringas, teepol;   | Agente abrasivo (detergente)            | Metanol, iodo | -----   |
| Output                 | Resultado reportado pelo software (análise); água purificada   | -----   | -----                                   | -----         | -----   |

Tabela 29 - Matriz MET adaptada para a técnica Cromatografia Gasosa (elaboração própria)

| GC              | Material  | Consumo de recursos   |                      |                  |   |
|-----------------|---|---|----------------------|------------------|---|
|                 |   | Energia   | Massa                | Emissões Tóxicas | Resíduos  |
| <b>Input</b>    | Cromatógrafo a gás, amostrador automático, detetor de fid, software de aquisição de dados, balança analítica, material de vidro classe A, balão volumétrico; pipeta volumétrica; máscara facial | Energia com o funcionamento do equipamento, gastos com a água | Luvas; óculos; vasos | -----            | Resíduos líquidos (não halogenados); resíduos sólidos (tampas dos vasos/ lâ de vidro) |
| <b>Execução</b> | Methanol; Ethanol; 1-propanol; N,N-Dimethylacetamide; dmf; água; N,N-Dimethylacetamide;   | -----   | -----                | Gases            | -----   |
| <b>Output</b>   | Cromatograma  | -----   | -----                | -----            | -----   |

Tabela 30 - Matriz MET adaptada para a técnica Cromatografia Gasosa Head Space (elaboração própria)

| GC-HS           | Material   | Consumo de recursos   |                       |                  |   |
|-----------------|--|---|-----------------------|------------------|---|
|                 |  | Energia   | Massa                 | Emissões Tóxicas | Resíduos  |
| <b>Input</b>    | Cromatógrafo a gás, detetor de fid, injetor headspace, software de aquisição de dados, balança analítica, material de vidro classe A, balão volumétrico; pipeta volumétrica; óculos; | Energia com o funcionamento do equipamento, gastos com a água | Máscara facial; luvas | -----            | Resíduos líquidos (não halogenados); resíduos sólidos (vials) |
| <b>Execução</b> | Methanol; Ethanol; N,N-Dimethylacetamide; t-butanol;   | -----   | -----                 | Gases            | -----   |
| <b>Output</b>   | Cromatograma   | -----   | -----                 | -----            | -----   |

Tabela 31 - Matriz MET adaptada para a técnica Análise de distribuição de tamanho de partículas-via seca (elaboração própria)

| PSD - Via<br>seca | Material  | Consumo de recursos                        |        | Emissões Tóxicas             | Resíduos                        |
|-------------------|---|--|--------|------------------------------|---------------------------------|
|                   |   | Energia                                    | Massa  |                              |                                 |
| <b>Input</b>      | Mastersizer 3000, Banho ultrassónico, vortex, cronómetro calibrado, espátula, tubo de vidro (aprox. dimensões: diâmetro interno = 3,0 cm; altura = 7,0-8,0 cm), vareta de vidro, pipetas de polietileno Pasteur, óculos | Energia com o funcionamento do equipamento | Luvas; | Radiações equipamento, ruído | Resíduos presentes no aspirador |
| <b>Execução</b>   | Lecithin; isopropanol (IPA)/2-propanol; methanol; water; heptane;   | -----                                      | -----  | Todas as entradas            | -----                           |
| <b>Output</b>     | Relatório de dispersão  | -----                                      | -----  | -----                        | -----                           |

Tabela 32 - Matriz MET adaptada para a técnica Análise de distribuição de tamanho de partículas via húmida (elaboração própria)

| PSD - Via húmida | Material  | Consumo de recursos   |  | Emissões Tóxicas  | Resíduos                             |
|------------------|---|---|--|---|--------------------------------------|
|                  |   | Energia   | Massa  |   |                                      |
| <b>Input</b>     | Mastersizer 3000, Banho ultrassónico, vortex, cronómetro calibrado, espátula, tubo de vidro (aprox. dimensões: diâmetro interno = 3,0 cm; altura = 7,0-8,0 cm), vareta de vidro, pipetas de polietileno Pasteur, óculos | Energia com o funcionamento do equipamento, computador, gastos com a água | Luvas; filtro: filtro de membrana Polypro de 0,45 um GH (47mm) | Radiações equipamento, ruído                                      | Resíduos líquidos (não halogenados); |
| <b>Execução</b>  | Lecithin; isopropanol (IPA)/2-propanol; methanol; water; heptane;   | -----   | -----  | Lecithin; isopropanol (IPA)/2-propanol; methanol; water; heptane; | -----                                |
| <b>Output</b>    | Relatório de dispersão  | -----   | -----  | -----   | -----                                |