

LEAN GREEN ? ESTUDO DO IMPACTO DAS FERRAMENTAS LEAN NO AMBIENTE E PRODUTIVIDADE DAS EMPRESAS PORTUGUESAS

BRUNO MANUEL MOINHOS AZEVEDO

novembro de 2021

LEAN GREEN – ESTUDO DO IMPACTO DAS FERRAMENTAS LEAN NO AMBIENTE E PRODUTIVIDADE DAS EMPRESAS PORTUGUESAS

Bruno Manuel Moinhos Azevedo

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

LEAN GREEN – ESTUDO DO IMPACTO DAS FERRAMENTAS LEAN NO AMBIENTE E PRODUTIVIDADE DAS EMPRESAS PORTUGUESAS

Bruno Manuel Moinhos Azevedo

Estudante n.º 1110198

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Mestre/Especialista José Carlos Vieira de Sá.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação não seria possível sem a colaboração, apoio e incentivo de várias pessoas.

Gostaria de agradecer ao professor José Carlos Vieira de Sá, pela orientação, disponibilidade e incentivo ao longo de todo o percurso.

A todos os participantes que estiverem envolvidos neste estudo, pela cooperação e tempo despendido.

Aos meus colegas de curso, pelo companheirismo e entreaajuda.

À minha namorada Raquel, pelo apoio incondicional e paciência demonstrada.

À minha família e amigos, principalmente aos meus pais e irmão, pela compreensão e motivação constantes.

página propositadamente em branco

RESUMO

O *Lean Manufacturing* é considerado o paradigma mais influente na fabricação, sendo visto há muito tempo como uma solução para melhorar o desempenho operacional e criar uma cultura de melhoria na organização. Paralelamente a este conceito, abordagens de produção ambientalmente amigáveis também se tornaram uma questão de interesse, sendo que as empresas procuram fabricar produtos de forma a reduzir os impactos prejudiciais para o meio ambiente. Assim, surge o termo *Green Manufacturing*, criado para refletir um novo sistema de produção capaz de minimizar o desperdício e a poluição causada pelos processos produtivos.

Na literatura, vários estudos argumentam que o esforço contínuo da metodologia *Lean* para reduzir o desperdício operacional pode-se traduzir em menor dano ambiental, melhorando assim o desempenho ambiental. No entanto, essa visão não é consensual e existem publicações que contradizem isso, fornecendo evidências de que algumas ferramentas *Lean* têm um efeito ambiental negativo.

O presente estudo tem como principal objetivo investigar o efeito das práticas *Lean* na performance operacional e ambiental das organizações industriais portuguesas. Para tal, aplicou-se um questionário, tendo-se obtido respostas de 109 empresas, 72 das quais com práticas implementadas, que foram consideradas válidas para esta investigação.

Constatou-se que as empresas participantes utilizam predominantemente as ferramentas 5S, gestão visual, eventos *Kaizen*, *Kanban*, *Standard Work*, *Value Stream Map* (VSM), *Single Minute Exchange of Die* (SMED) e o *Poka-Yoke*.

Os impactos das ferramentas *Lean* foram avaliados com base no grau de concordância dos participantes segundo uma escala de *Likert* de 5 estágios, sendo que os resultados mostram que a implementação de tais práticas pode melhorar simultaneamente o desempenho operacional e ambiental das organizações, sendo consistentes com outros estudos encontrados na literatura, corroborando a ideia de sinergia entre as abordagens *Lean* e *Green*.

A principal contribuição deste estudo recai sobre as associações estatisticamente significativas encontradas entre o tempo de introdução das ferramentas *Lean* e o grau de concordância com os impactos, tanto a nível operacional como ambiental. No que refere ao desempenho operacional, os resultados revelaram a importância do tempo de implementação das ferramentas na obtenção de níveis mais elevados de desempenho, nomeadamente na satisfação dos clientes, nos prazos de entrega e na flexibilidade. Relativamente ao desempenho ambiental, verificou-se que as empresas com mais anos de implementação de ferramentas experimentam melhores resultados ambientais ao nível da produção de resíduos sólidos, da frequência de acidentes ambientais, das emissões de gases, da produção de resíduos de efluentes e do consumo de materiais perigosos.

PALAVRAS-CHAVE

Lean Manufacturing; *Green Manufacturing*; Ferramentas *Lean*; Desempenho operacional; Desempenho ambiental.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Lean Manufacturing is considered the most influential paradigm in fabrication, being seen for a long time as a solution to improve operational performance and create a culture of improvement in the organization. In parallel to this concept, environmentally friendly production approaches have also become a matter of interest, with companies seeking to manufacture products in order to reduce harmful impacts on the environment. Thus, the term *Green Manufacturing* emerges, created to reflect a new production system capable of minimizing waste and pollution caused by production processes.

In the literature, several studies argue that the continuous effort of the *Lean* methodology to reduce operational waste can translate into less environmental damage, thus improving environmental performance. However, this view is not consensual and there are publications that contradict this, providing evidence that some *Lean* tools have a negative environmental effect.

The main objective of this study is to investigate the effect of *Lean* practices on the operational and environmental performance of portuguese industrial organizations. To this end, a questionnaire was applied, and answers were obtained from 109 companies, 72 of which with implemented practices, which were considered valid for this investigation.

It was found that the participating companies predominantly use 5S tools, visual management, Kaizen events, Kanban, Standard Work, Value Stream Map (VSM), Single Minute Exchange of Die (SMED) and Poka-Yoke.

The impacts of the tools *Lean* were assessed based on the degree of agreement of the participants according to a scale of Likert 5 stages, and the results show that the implementation of such practices can simultaneously improve the operational and environmental performance of organizations, being consistent with other studies found in the literature, corroborating the idea of synergy between approaches *Lean* and *Green*.

The main contribution of this study is the statistically significant associations found between the time of introduction of *Lean* tools and the degree of agreement with the impacts, both operationally and environmentally. About to operational performance, the results revealed the importance of the time of implementation of the tools in achieving higher levels of performance, in particular customer satisfaction, delivery times and flexibility. Regarding environmental performance, it was found that companies with more years of implementation of tools experience better environmental results in the production of solid waste, the frequency of environmental accidents, gas emissions, the production of effluent waste and the consumption of hazardous materials.

KEYWORDS

Lean Manufacturing; Green Manufacturing; Lean tools; Operational performance; Environmental performance.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XI
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Enquadramento e pertinência	13
1.2. Questão e objetivos de investigação	14
1.3. Opções metodológicas	14
1.4. Estrutura do trabalho	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Localização e seleção das publicações	16
2.2. Análise descritiva das publicações selecionadas	16
2.3. Categorização das publicações por tópico de pesquisa	19
2.4. Análise e síntese do conteúdo das publicações	19
2.4.1. <i>Lean Manufacturing</i>	19
2.4.2. <i>Green Manufacturing</i>	23
2.4.3. <i>Ferramentas Lean</i> e resultados <i>green</i>	25
2.4.4. <i>Lean Green</i>	28
3. DESENVOLVIMENTO DO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA	31
3.1. Estrutura do questionário de pesquisa	31
3.1.1. Caracterização do inquirido	32
3.1.2. Caracterização da organização	34
3.1.3. Ferramentas <i>Lean</i>	35
3.1.4. Impacto das ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Estatística Descritiva	42
4.1.1. Caracterização do inquirido	42
4.1.2. Caracterização da organização	43
4.1.3. Ferramentas <i>Lean</i>	44
4.1.4. Impacto das ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental	46
4.2. Estatística inferencial	47
4.2.1. Análise de consistência interna	48
4.2.2. Testes de hipóteses	49
4.3. Discussão de resultados	56
5. CONCLUSÃO	59
5.1. Conclusões finais	59
5.2. Limitações e investigação futura	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO A	67

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Número de publicações por ano	17
Figura 2 – Tipo de publicação.....	17
Figura 3 – Número de publicações por revista	18
Figura 4 – Número de publicações por conferência	18
Figura 5 – Categorização das publicações selecionadas	19
Figura 6 – Introdução ao questionário.....	32
Figura 7 – Questão 1 da Secção “Caracterização do inquirido”	32
Figura 8 – Questão 2 da Secção “Caracterização do inquirido”	33
Figura 9 – Questão 3 da Secção “Caracterização do inquirido”	33
Figura 10 – Questão 1 da Secção “Caracterização da organização”	34
Figura 11 – Questão 2 da Secção “Caracterização da organização”	34
Figura 12 – Questão 3 da Secção “Caracterização da organização”	35
Figura 13 – Questão 1 da Secção “Ferramentas <i>Lean</i> ”	35
Figura 14 – Questão 1.1 da Secção “Ferramentas <i>Lean</i> ”	36
Figura 15 – Questão 2 da Secção “Ferramentas <i>Lean</i> ”	36
Figura 16 – Questão 3 da Secção “Ferramentas <i>Lean</i> ”	37
Figura 17 – Questão 1 da Secção “Impacto das Ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental” ...	38
Figura 18 – Questão 2 da Secção “Impacto das Ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental” ...	38
Figura 19 – Questão 3 da Secção “Impacto das Ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental” ...	39
Figura 20 – Frequência dos participantes cujas organizações tinham ferramentas <i>Lean</i> implementadas	41
Figura 21 – Frequência do tempo de introdução das ferramentas <i>Lean</i> nas organizações participantes	45
Figura 22 – Frequência da opinião dos participantes sobre a postura das organizações em relação ao ambiente	46
Figura 23 – Frequência do conhecimento dos participantes acerca do <i>Lean Green</i>	46

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Impactos ambientais dos setes tipos de desperdícios	21
Tabela 2 – Frequência da função atual dos inquiridos.....	42
Tabela 3 – Frequência do tempo na função dos inquiridos.....	42
Tabela 4 – Frequência da localização geográfica das organizações participantes	43
Tabela 5 – Frequência da localização geográfica das organizações participantes	43
Tabela 6 – Frequência do setor de atividade das organizações participantes	43
Tabela 7 – Frequência do tempo de atividade das organizações participantes	44
Tabela 8 – Frequência das ferramentas <i>Lean</i> implementadas pelas organizações participantes...	44
Tabela 9 – Frequência do impacto da aplicação das ferramentas <i>Lean</i> no desempenho operacional das organizações convidadas.....	45
Tabela 10 – Frequência do impacto da aplicação das ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental das organizações convidadas.....	47
Tabela 11 – Valor global do alfa de <i>Cronbach</i> (desempenho operacional)	48
Tabela 12 – Valor do alfa de <i>Cronbach</i> para cada item (desempenho operacional).....	48
Tabela 13 – Valor global do alfa de <i>Cronbach</i> (desempenho ambiental)	49
Tabela 14 – Valor do alfa de <i>Cronbach</i> para cada item (desempenho ambiental).....	49
Tabela 15 – Interpretação dos valores do coeficiente de correlação de <i>Spearman</i>	50
Tabela 16 – Correlação entre as habilitações literárias dos participantes e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas <i>Lean</i> no desempenho operacional das organizações.....	51
Tabela 17 – Correlação entre o tempo de atividade das organizações e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas <i>Lean</i> no desempenho operacional das organizações.....	52
Tabela 18 – Correlação entre o tempo de introdução das ferramentas e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas <i>Lean</i> no desempenho operacional das organizações.....	53
Tabela 19 – Correlação entre as habilitações literárias dos participantes e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental das organizações.....	54
Tabela 20 – Correlação entre o tempo de atividade das organizações e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental das organizações	55
Tabela 21 – Correlação entre o tempo de introdução das ferramentas e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental das organizações	56

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

5S	<i>Seiri, Seiton, Seison, Seiketsu e Shitsuke</i>
IBM	<i>International Business Machines Corporation</i>
IPAC	Instituto Português de Acreditação
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
PME	Pequena e Média Empresa
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
VSM	<i>Value Stream Map</i>
WoS	<i>Web of Science</i>

Lista de Símbolos

%	Porcentagem
<i>r</i>	Ró de <i>Spearman</i>

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

O fundamento deste capítulo é apresentar o enquadramento e pertinência do conteúdo exposto nesta dissertação, definir a questão de investigação e os objetivos a atingir, descrever a metodologia utilizada e enunciar a estrutura do relatório.

1.1. Enquadramento e pertinência

Num mercado global cada vez mais competitivo, as empresas procuram alcançar excelência operacional e maximizar o seu desempenho objetivando reduzir custos e fabricar produtos com maior qualidade e em prazos mais curtos. Para atingir esse objetivo e obter vantagem competitiva no mercado, as empresas utilizam princípios e técnicas *Lean* que envolvem o aumento da eficiência e a redução de custos através da eliminação de atividades que não acrescentem valor e ineficiências do processo produtivo (Belekoukias et al., 2014).

Paralelamente, as organizações necessitam de responder às exigências de mudança, sendo que isso implica ciclos de vida mais curtos do produto e da tecnologia, mudanças rápidas na conceção dos produtos devido a pressões competitivas e maior foco em estratégias de diferenciação em função dos consumidores (S. G. Azevedo et al., 2011). Além da crescente taxa de mudança, as empresas procuram responder ao desafio da sustentabilidade que consiste em atingir o crescimento económico garantindo a preservação e proteção do meio ambiente, sendo que este paradigma tem levado muitas empresas a debater formas de lidar com as questões ambientais (Lun, 2011).

A crescente preocupação da sociedade com os impactos ambientais provocados pelos processos de fabrico, aliado às mudanças nos regulamentos e requisitos ecológicos, levaram as empresas a procurar um equilíbrio entre eficiência operacional e ambiental (Garza-Reyes, 2015b). Dessa forma, os desafios atuais não exigem apenas sistemas de produção de alta produtividade, mas também eco eficientes, ou seja, sistemas que fornecem mais valor com menor impacto ambiental (Abreu et al., 2017). Nesse sentido, a abordagem *Green Manufacturing* revela-se importante para ajudar as empresas a minimizar os seus impactos ambientais, reduzindo as emissões poluentes e o consumo de recursos durante os processos de fabrico, sem comprometer a sua eficiência e competitividade (Silva & Gouveia, 2020).

Assim, as organizações devem combinar as abordagens *Lean* e *Green*, quer para melhorar o seu desempenho operacional através da eliminação de desperdícios reduzindo custos e aumentando a sustentabilidade económica, quer para melhorar o seu desempenho ambiental através da eliminação de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, garantindo a sustentabilidade e a sua preservação (Inman & Green, 2018).

A literatura identifica publicações que alegam que ambas as práticas podem trabalhar juntas evidenciando um efeito sinérgico no que respeita à redução de resíduos, ao consumo de energia, materiais e tempo, à gestão da cadeia de abastecimento e à otimização da cadeia produtiva. Em alternativa, existem investigadores que afirmam que as práticas *Lean* e *Green* nem sempre são compatíveis e viáveis, existindo algumas áreas onde combiná-las pode ser particularmente difícil (Abualfaraa et al., 2020).

Nesse contexto, torna-se pertinente a investigação desta relação no atual ambiente empresarial para entender sinergias e *trade-offs* entre ambos os paradigmas. Para isso, realizou-se uma revisão sistemática da literatura seguida da elaboração de um questionário remetido às empresas portuguesas para avaliar a influência das ferramentas *Lean* no seu desempenho sob as perspectivas operacional e ambiental.

1.2. Questão e objetivos de investigação

O presente trabalho procura responder à seguinte questão de investigação: Quais as ferramentas *Lean* vigentes na indústria portuguesa e de que forma impactam o desempenho operacional e ambiental das empresas?

O objetivo geral desta dissertação visa avaliar a importância das ferramentas *Lean* na melhoria do desempenho, em termos ambientais e operacionais, das organizações industriais portuguesas.

Em relação aos objetivos específicos, com este trabalho pretende-se:

- Identificar quais as ferramentas *Lean* mais implementadas pelas empresas portuguesas;
- Estudar o impacto operacional e ambiental com a aplicação da metodologia *Lean*;
- Avaliar o efeito sinérgico entre as abordagens *Lean* e *Green*.

1.3. Opções metodológicas

No âmbito desta dissertação, a metodologia de investigação aplicada foi a pesquisa exploratória. Utilizada quando o tema em estudo é pouco explorado na literatura, a pesquisa exploratória visa conhecer melhor a realidade em análise, para descobrir o que está a acontecer e obter *insights* sobre os tópicos de interesse, procurando identificar padrões, ideias ou hipóteses (Collis & Hussey, 2013; Saunders et al., 2019).

Dessa forma, a metodologia seguida neste estudo assenta nas seguintes atividades:

- Realização de uma pesquisa sobre os paradigmas em estudo que compreende uma revisão sistemática da literatura;
- Elaboração de um questionário para avaliar os níveis de impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental das organizações;
- Envio do questionário para as organizações e recolha das respetivas respostas;
- Análise das respostas obtidas através de fundamentos estatísticos;
- Apresentação das conclusões.

1.4. Estrutura do trabalho

A presente dissertação está organizada em 5 capítulos.

No capítulo 1 é efetuado um enquadramento teórico do tema, são descritos os objetivos do trabalho e a metodologia de investigação utilizada.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica dos paradigmas em estudo, que inclui uma análise sistemática da literatura para identificar contribuições relevantes sobre a relação *Lean/Green*.

No capítulo 3 é descrito o questionário dirigido às empresas portuguesas a fim de investigar os impactos operacionais e ambientais decorrentes da implementação de ferramentas *Lean* nos seus processos produtivos.

No capítulo 4 é realizada a análise e discussão dos resultados, que abrange o tratamento dos dados provenientes dos questionários através de estatística descritiva e inferencial.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões e limitações da investigação desenvolvida e sugeridas potenciais hipóteses para estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa que suporta esta dissertação foi baseada numa revisão sistemática da literatura que é útil para fornecer uma visão geral crítica e revelar lacunas e inconsistências nos estudos existentes (Garza-Reyes, 2015b). Segundo Denyer & Tranfield (2009) uma revisão sistemática da literatura consiste nas seguintes cinco fases consecutivas:

1. Formulação da questão de investigação;
2. Localização dos estudos;
3. Seleção e avaliação dos estudos;
4. Análise e síntese;
5. Apresentação e utilização dos resultados.

2.1. Localização e seleção das publicações

Para a localização e seleção das publicações escolheu-se a plataforma *Web of Science* (WoS), uma vez que compreende diversas publicações provenientes de revistas e de conferências relevantes para a temática em estudo. Esta fase inclui a escolha do termo de pesquisa que visa direcionar a procura para publicações que abordem exclusivamente o paradigma em questão. Assim, a pesquisa baseou-se no termo “*Lean Green*”, considerando todas as bases de dados disponíveis na plataforma WoS e abrangendo o período temporal máximo que a plataforma permite, entre 1900 e junho de 2021.

Como resultado obteve-se uma amostragem inicial de 94 publicações, das quais 10 foram excluídas porque o texto completo não estava disponível e 14 foram retiradas devido a incompatibilidades com o tema em estudo. Após esta triagem, identificaram-se 70 publicações que constituem a base de investigação e serão alvo de análise para perceber todas as contribuições relevantes.

Para realizar essa análise, utilizou-se o Excel para criar uma base de dados, onde foram identificados para cada publicação, a revista ou conferência responsável pela publicação, o ano da publicação, o título da publicação, os objetivos de investigação, as principais contribuições e as limitações referidas pelos respetivos autores. Além disso, as publicações foram categorizadas em 3 grupos: “*Lean*”, “*Green*” e “*Lean Green*” de acordo com o foco da pesquisa e o seu conteúdo temático.

2.2. Análise descritiva das publicações selecionadas

Após categorizar as publicações selecionadas realizou-se uma análise descritiva da pesquisa segundo vários critérios, entre eles o número de publicações por ano, o tipo de publicação e a revista ou a conferência em que as publicações incluídas neste estudo foram divulgadas.

A figura 1 apresenta o número de publicações por ano. De um modo geral, os resultados indicam que a abordagem *Lean Green* atrai interesse e popularidade por parte da comunidade científica desde 2013. Apesar de uma ligeira descida nas publicações em 2014, verifica-se um número

crecente de publicações lançadas, tendo atingindo o pico em 2019, o que revela que este paradigma é um assunto relativamente novo e uma área de pesquisa emergente.

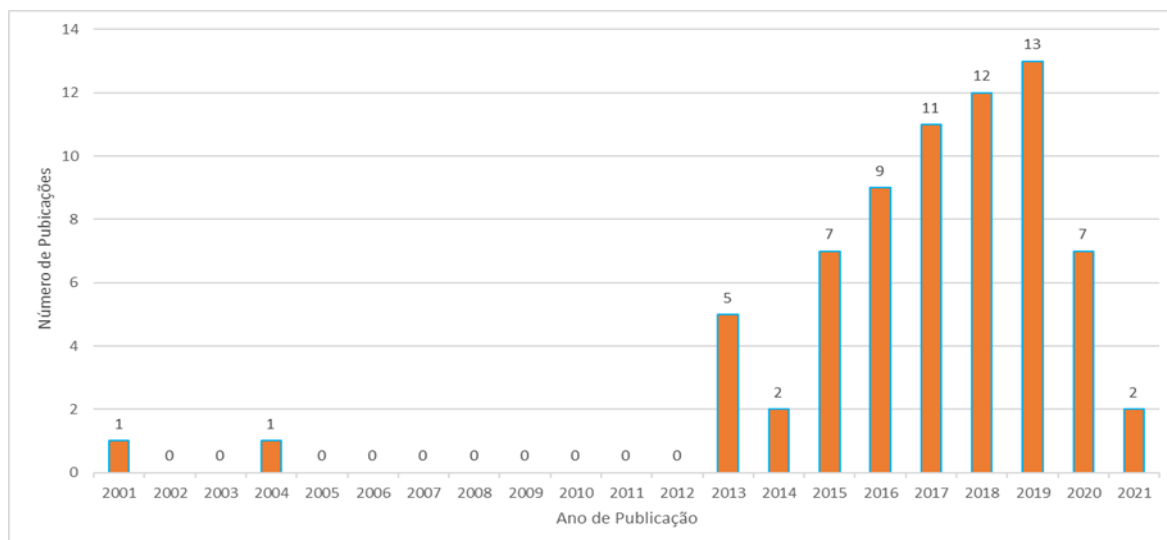


Figura 1 – Número de publicações por ano

Relativamente ao tipo de publicação, 57 (81%) são artigos provenientes de revistas especializadas e 13 (19%) derivam de documentos publicados no seguimento de conferências, conforme indica a figura 2, o que mostra uma tendência atual dos investigadores para escolher as revistas como meio de divulgação dos resultados das suas pesquisas.

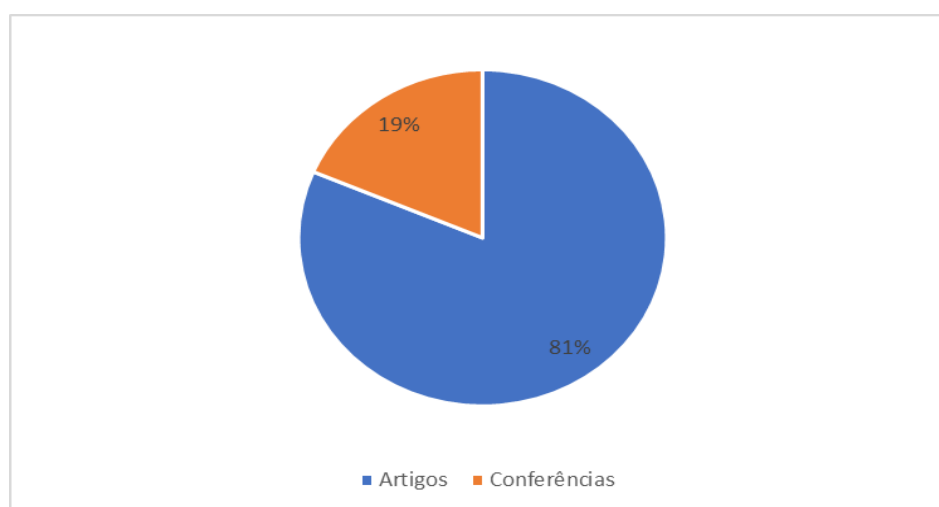


Figura 2 – Tipo de publicação

Quanto à publicação dos artigos, num total de 33 revistas identificadas, destaca-se o *Journal of Cleaner Production* que contribui com 17 dos 57 artigos selecionados, seguido por outras seis revistas: *Sustainability* (3 artigos), *Business Strategy and the Environment* (3 artigos), *International Journal of Productivity and Performance Management* (2 artigos), *Benchmarking-an International Journal* (2 artigos), *Production Planning & Control* (2 artigos) e *International Journal of Production Economics* (2 artigos), como se observa na figura 3.

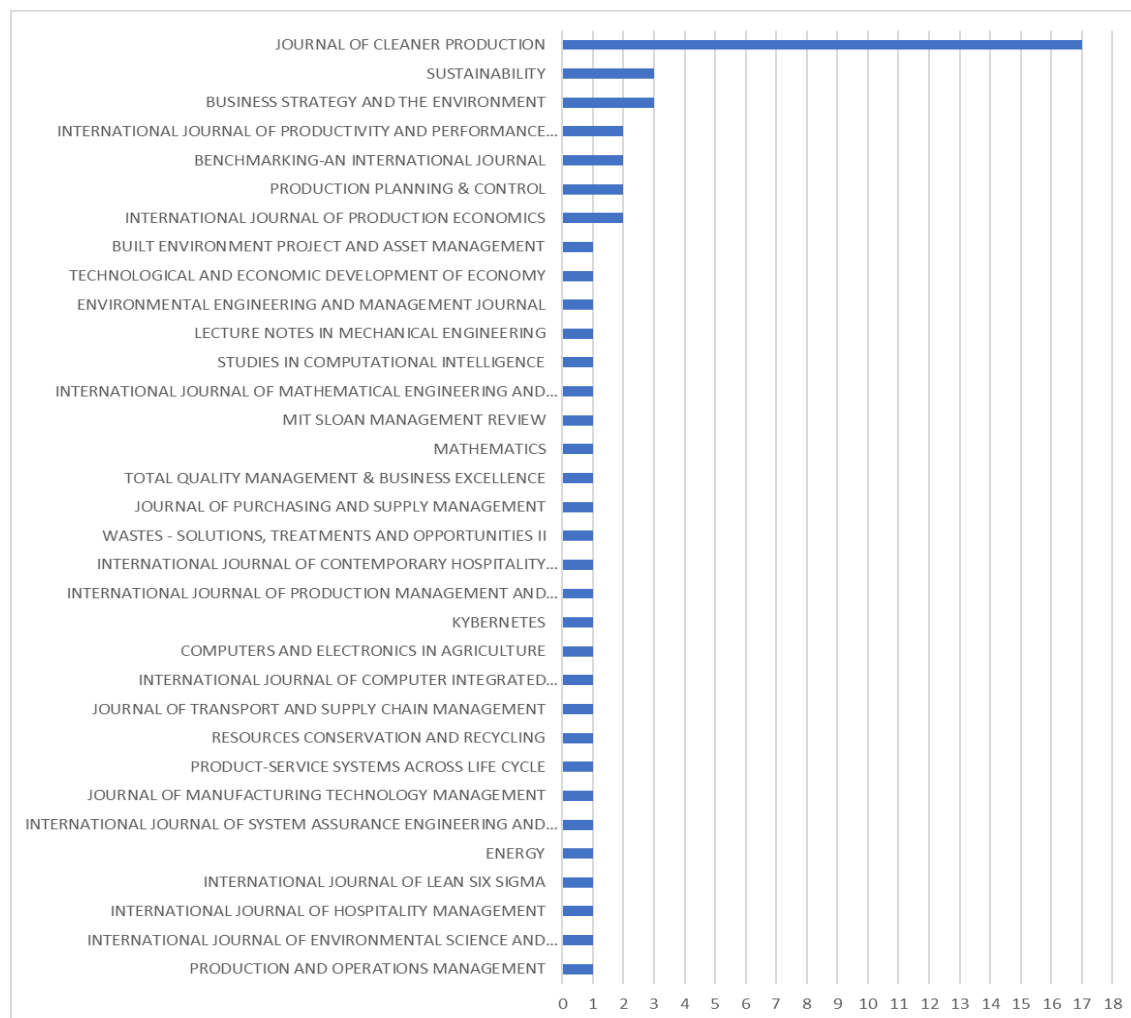


Figura 3 – Número de publicações por revista

Em relação aos documentos apresentados no seguimento de conferências, identificaram-se 13 conferências com contribuições relevantes, sendo que todas fornecem apenas uma publicação, sem predominância de nenhuma delas, conforme mostra a figura 4.

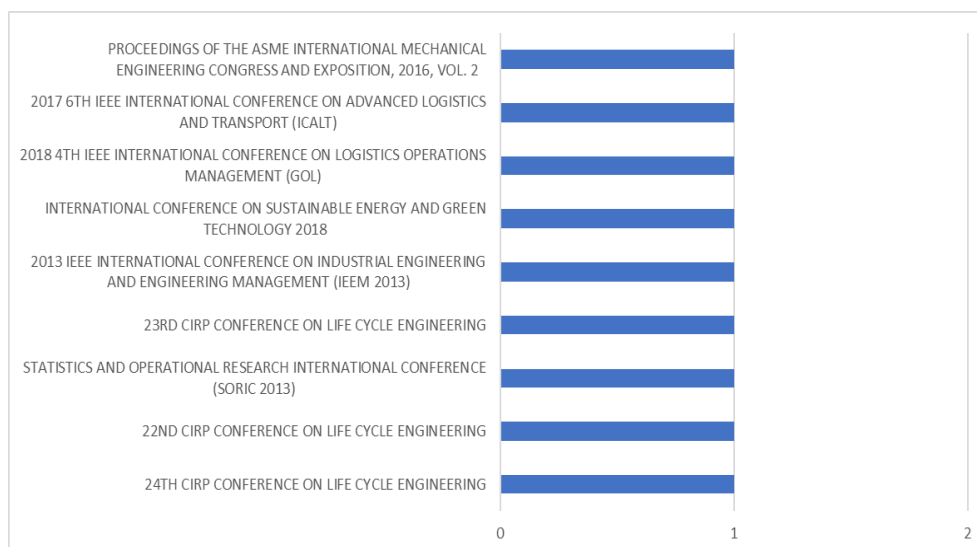


Figura 4 – Número de publicações por conferência

2.3. Categorização das publicações por tópico de pesquisa

Finalmente, as publicações foram categorizadas segundo três tópicos de pesquisa: “*Lean*”, “*Green*” e “*Lean Green*” com base no foco da pesquisa e no conteúdo temático de cada uma. De acordo com a categorização, a abordagem *Lean Green* foi aquela que mereceu mais atenção por parte dos investigadores com 57 publicações, o que representa um total de 81%. Seguidamente, surgem 8 publicações (12%) relativas ao *Green Manufacturing* e 5 publicações (7%) direcionadas para o *Lean Manufacturing*, conforme mostra a figura 5.

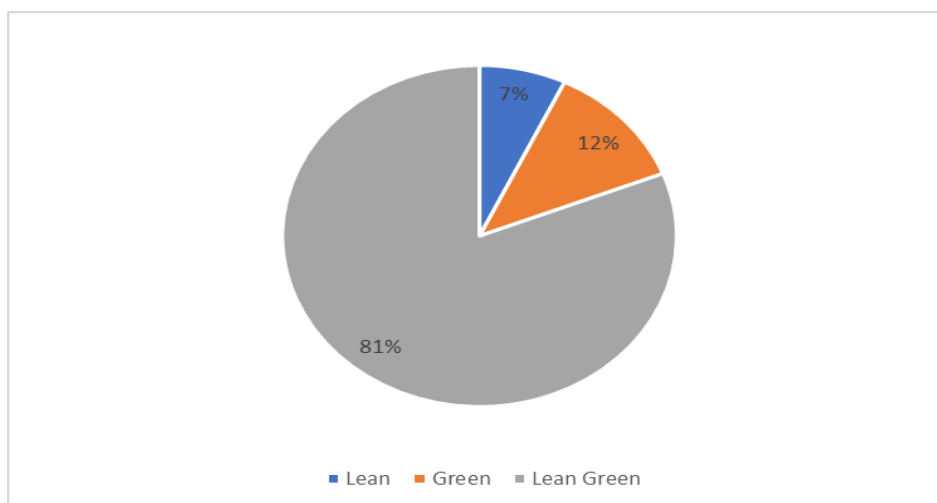


Figura 5 – Categorização das publicações selecionadas

2.4. Análise e síntese do conteúdo das publicações

Atendendo à informação disponibilizada pelas publicações selecionadas este subcapítulo encontra-se estruturado da seguinte forma: inicia com uma abordagem ao *Lean Manufacturing*, onde se revela a origem e os princípios dessa filosofia. Posteriormente, fornece uma visão geral sobre o *Green Manufacturing* e aborda o impacto das principais ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações. Em última análise, explora o conceito *Lean Green*, apresentando diferentes perspetivas sobre a relação entre ambos os paradigmas.

2.4.1. *Lean Manufacturing*

O conceito *Lean Manufacturing* surge pela primeira vez num artigo intitulado “*Triumph of the lean production system*” (Krafcik, 1988) e foi ainda mais popularizado com a publicação do livro “*The Machine that Changed The World*” (Womack et al., 1990). Estes autores criaram este termo para descrever a filosofia e técnicas de produção desenvolvidas por fabricantes de automóveis japoneses, especificamente o Sistema de Produção Toyota (*Toyota Production System* - TPS). Esta abordagem teve início na década de 50 e surge após Eiichi Toyoda e Taiichi Ohno perceberem que o sistema de produção em massa nunca poderia funcionar no Japão em função do contexto socioeconómico e cultural vivido naquele país. Assim, adotaram um novo modelo produtivo que tinha como objetivo aumentar a produtividade e eficiência através da eliminação de desperdícios, procurando responder às exigências dos clientes no mais curto espaço de tempo possível com

maior qualidade e menor custo (Ohno, 1988). Desperdício refere-se a qualquer atividade humana que absorve recursos (humanos, materiais ou financeiros) mas não cria nenhum valor, comprometendo o potencial competitivo das empresas (Womack & Jones, 1996). De acordo com Ohno (1988), existem sete formas de desperdício nos sistemas de fabrico que não acrescentam valor ao produto e pelos quais o cliente não está disposto a pagar, sendo eles:

1. Excesso de Produção – Ocorre quando são fabricados mais produtos que o planeado. Resulta num consumo desnecessário de matéria-prima, aumento do custo de posse com o *stock* armazenado e poderá levar ao transporte excessivo dos artigos. Exemplos deste tipo de desperdício é produzir para *stock* baseado na previsão de vendas, aumentar a produção para evitar *setups* e fabricar lotes grandes;
2. Inventários – Resultam do excesso de produção e referem-se as *stocks* de matéria-prima, produto acabado e em processamento, ou seja, qualquer material ou produto existente acima da quantidade necessária e antes do momento necessário. Elevados inventários implicam altos custos com áreas de armazenamento e devem-se por exemplo a elevados tempos de *setup*, operações de retrabalho, atrasos nas entregas das encomendas, avarias nos equipamentos, etc.;
3. Transporte – Engloba a movimentação excessiva de pessoas, matérias e informação resultando em dispêndio desnecessário de tempo e recursos. A deslocação dos artigos para *stock* ou entre postos de trabalho exemplificam este tipo de desperdício e devem-se por exemplo a fabricar lotes grandes, produção “empurrada” e *layout* inadequado ao processo produtivo;
4. Movimento – Refere-se às movimentações desnecessárias realizadas pelos operadores e deriva da desorganização dos postos de trabalho ou de *layout's* mal estruturados, resultando em tempo perdido na procura de materiais e ferramentas;
5. Tempo de espera – Diz respeito a longos períodos de inatividades de pessoas, equipamentos, materiais, peças e informação, originando fluxos irregulares e tempos de processamento longos. Corresponde ao período em que os recursos estão parados impedindo o operador de realizar a operação seguinte. As esperas devem-se por exemplo à falta de matéria-prima, avarias nas máquinas, atrasos nas entregas das encomendas, processos muito burocráticos, pessoas com autonomia reduzida, etc.;
6. Sobre processamento – Compreende atividades adicionais que não agregam valor ao produto final e que não são pedidas pelo cliente. Resultam do uso incorreto de equipamentos e ferramentas, tecnologia inadequada, especificações do cliente pouco claras, qualidade excessiva, etc. Exemplos deste tipo de desperdício são operações de rebarbagem e inspeções desnecessárias;
7. Defeitos – Aponta a todos os produtos que não estão de acordo com os requisitos do cliente e derivam de processos incapazes, problemas na qualidade dos produtos, baixa qualificação dos operadores ou incumprimento dos prazos de entrega. Ocorre quando o produto contém falhas que impossibilitam o seu uso correto e que implicam retrabalho ou reprocessamento para a sua recuperação, traduzindo perdas monetárias para empresa devido aos custos relativos a materiais, mão-de-obra e equipamentos, envolvendo movimento e transporte escusado.

Mais tarde, foi identificado por Liker (2004) um oitavo desperdício relacionado com o subaproveitamento da criatividade das pessoas que advém do mau aproveitamento das ideias dos colaboradores por parte das empresas. A não utilização do potencial criativo dos colaboradores traduz-se em perdas de tempo, habilidades e oportunidades de melhorar o processo produtivo.

Recentemente, com o surgimento das preocupações com o meio ambiente, as fontes de desperdícios foram alargadas de modo abranger as práticas prejudiciais ao ambiente (sucata, uso excessivo de energia, transporte, emissões, efluentes e resíduos criados durante o processo produtivo) e a utilização excessiva de recursos naturais (Simboli et al., 2014). É importante salientar que reduzindo ou removendo as atividades que não acrescentam valor para o cliente também contribui para a redução do impacto ambiental (Ghobadian et al., 2020). A tabela seguinte mostra a relação entre os sete tipos de desperdícios e os impactos ambientais (US EPA, 2007):

Tabela 1 – Impactos ambientais dos setes tipos de desperdícios (adaptado de US EPA, 2007)

Tipo de desperdício	Impactos ambientais
Excesso de Produção	• Mais matérias-primas e energia consumida para fabricar produtos desnecessários; • Produtos extra podem-se estragar ou ficar obsoletos, exigindo o seu descarte.
Inventários	• Maior consumo de embalagens para acondicionar os produtos em <i>stock</i>; • Mais energia para climatizar ou iluminar o espaço necessário para o armazenamento; • Eventual deterioração dos produtos em <i>stock</i>, obrigando ao seu descarte e a mais matérias-primas para os substituir.
Transporte / Movimento	• Mais energia elétrica consumida ou combustível; • Eventuais emissões de gases poluentes; • Possibilidade de danificar os produtos, transformando-os em sucata.

Defeitos	• Mais matérias-primas e energia consumida para fabricar produtos defeituosos; • Produtos defeituosos podem não ter reparação e ser considerados sucata.
Sobre processamento	• Mais energia consumida e eventuais emissões de gases poluentes em processos desnecessários.
Tempo de espera	• Potencial deterioração dos materiais que estão parados e consequentemente eliminação para a sucata; • Mais energia gasta em climatização e iluminação durante o tempo de inatividade.

Segundo Womack & Jones (1996), a filosofia de produção *Lean* possui cinco princípios-chave que a descrevem e contribuem diretamente para a eliminação de desperdícios:

1. Identificar o Valor – Definir o significado de valor sob a perspectiva do cliente, sendo que este valor deriva da necessidade do cliente e compete às empresas determinarem essa necessidade para conseguirem identificar o que o seu cliente está disposto a pagar. Assim, tudo aquilo pelo qual o cliente não está disposto a pagar é considerado desperdício e deve ser minimizado;
2. Identificar Cadeia de Valor – Consiste em identificar as diferentes atividades no processo produtivo, desde a concepção até à entrega do produto final ao cliente. No decorrer da cadeia de valor são realizadas uma série de atividades, que segundo Hines & Taylor (2000) devem ser classificadas da seguinte forma:
 - Atividades que agregam valor – são aquelas que aos olhos do cliente tornam o produto ou serviço mais valioso, e por isso devem ser mantidas;
 - Atividades que não agregam valor – são aquelas que aos olhos do cliente não tornam o produto ou serviço mais valioso, sendo desnecessárias no processo atual, e por isso devem ser eliminadas o mais rápido possível;
 - Atividades necessárias que não agregam valor – são aquelas que aos olhos do cliente não tornam o produto ou serviço mais valioso, mas que são necessárias no processo atual e por isso, devem ser otimizadas.

Todas as atividades que não agregam valor ao processo produtivo são denominadas por desperdícios e contribuem para um aumento dos tempos e custos de produção, sem representar valor sob a perspectiva do cliente. Ao eliminar estas atividades otimiza-se o processo maximizando a entrega de valor ao cliente;

3. Estabelecer o Fluxo Contínuo – Delinear o fluxo de produção contínuo, sem pontos de estrangulamento que comprometam o processo. Como resultado verifica-se a redução dos tempos de fabrico dos produtos, processamento de pedidos e *stocks*, proporcionando à empresa uma capacidade de resposta mais rápida e eficaz às necessidades dos clientes;
4. Sistema de Produção Pull – Consiste em fabricar o produto apenas quando o cliente pretender, isto é, as empresas deixam de “empurrar” os produtos para o cliente, passando o cliente a “puxar” a produção, possibilitando que as empresas fabriquem na quantidade e no momento certo, reduzindo o excesso de produção e a acumulação de *stocks*;
5. Procura da Perfeição – Compreende focalizar os esforços da empresa na procura da perfeição. Trata-se da aplicação da melhoria contínua, procurando a eliminação de todos os desperdícios, mantendo só as atividades que acrescentam valor presentes no processo produtivo.

O *Lean Manufacturing* é considerado o melhor sistema de produção do século XXI (Rose et al., 2011), sendo que o seu objetivo final é criar um processo harmonioso e de qualidade elevada capaz de fabricar produtos de acordo com a procura dos clientes sem desperdícios e com preços competitivos (Roslin & Shahadat, 2014).

Na literatura, o efeito positivo da implementação das práticas *Lean* tem sido amplamente reconhecido em várias dimensões do desempenho operacional (Khanchanapong et al., 2014), todavia, no que se refere ao desempenho ambiental, as pesquisas sobre o seu impacto são ambíguas (Iranmanesh et al., 2019).

2.4.2. Green Manufacturing

Espera-se que a população mundial cresça em 2 biliões de pessoas nos próximos 30 anos, passando dos atuais 7,7 biliões de indivíduos para 9,7 biliões em 2050 (ONU, 2019). Como consequência do crescimento massivo da população, os recursos naturais não-renováveis são cada vez mais escassos e caros, sendo que as empresas, governos e organizações devem definir a adoção de práticas sustentáveis como parte das suas prioridades (Henao et al., 2019).

Desde o final dos anos 80, o conceito de desenvolvimento sustentável (Bruntland, 1987), definido como sendo aquele que atende às necessidades da presente geração sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades, despertou um interesse crescente. Uma empresa sustentável é aquela que contribui para o desenvolvimento sustentável, assegurando simultaneamente o desenvolvimento económico, social e benefícios ambientais ou o que foi denominado como o “*Triple Bottom Line*” (Elkington, 1998). Este paradigma propõem às empresas uma métrica para o medir o seu desempenho usando uma perspetiva multidimensional que integra não apenas os aspetos tradicionais, como lucro, retorno sobre o investimento ou preços das ações, mas também aspetos ambientais e sociais (Henao et al., 2019). Assim, a perspetiva económica, o equilíbrio ambiental e a responsabilidade social são três parâmetros indispensáveis para alcançar a sustentabilidade (Savitz & Weber, 2006) e é a interação harmoniosa entre estas dimensões que garante um crescimento e desenvolvimento equilibrado da sociedade (Mittal et al., 2017).

Entre as principais preocupações trazidas à tona pela sustentabilidade estão os efeitos debilitantes da poluição ambiental, que colocou indústrias e comunidades em alerta para a destruição iminente se não forem tomadas medidas antecipadamente (Fercoq et al., 2016). Nesse sentido, a sustentabilidade ambiental é atualmente uma estratégia imperativa para as organizações que deve estar alinhada com as suas prioridades tradicionais de rentabilidade e eficiência (Garza-Reyes, 2015b).

Com a necessidade urgente de integrar a sustentabilidade no meio industrial, o *Green Manufacturing* surgiu como uma filosofia e abordagem operacional com o objetivo de reduzir o impacto ambiental negativo dos produtos e serviços das organizações, bem como melhorar a eficiência ambiental das suas operações, sem comprometer a realização dos seus objetivos financeiros (Garza-Reyes, 2015b).

Este novo paradigma de produção pode ser definido como a capacidade de utilizar de forma inteligente os recursos naturais para a fabricação, criando produtos e serviços, que graças às novas tecnologias, medidas regulamentares e políticas sociais coerentes, são capazes de satisfazer objetivos económicos, ambientais e sociais, preservando assim o ambiente e continuando a melhorar a vida humana (Garetti & Taisch, 2012).

O *Green Manufacturing* sugere um sistema produtivo capaz de reduzir o consumo de materiais e de energia, promovendo a utilização de recursos renováveis e não tóxicos ao homem e ao meio ambiente e tentando incorporar a reciclagem de forma eficiente, transformando os *outputs* em *inputs* através da reutilização e o reaproveitamento de materiais (Deif, 2011).

No contexto industrial, o termo *Green* refere-se ao nível de preocupação ambiental das empresas no processo de fabrico e no fornecimento de produtos para a sociedade. Passar a ser *Green* significa fornecer mais produtos ecológicos, minimizando os impactos para o meio ambiente, sendo que essa prática é importante para formar uma imagem sustentável juntos dos clientes e também cria uma vantagem competitiva para as empresas (Zameer et al., 2020).

As principais abordagens encontradas na literatura no âmbito do *Green Manufacturing* incluem o controlo da poluição, a prevenção da poluição e a responsabilidade pelo produto. O controlo da poluição visa armazenar, tratar e/ou descartar a poluição gerada. A prevenção da poluição está relacionada com atividades destinadas a minimizar o uso de recursos como energia e água, a diminuir a produção de resíduos sólidos e a promover a reciclagem, resultando em custos de fabrico mais baixos. Por fim, a responsabilidade pelo produto inclui conceber produtos e processos ambientalmente amigáveis, utilizando recursos renováveis e incentivando os fornecedores a seguir a mesma estratégia (Rusinko, 2007).

Em última análise, a implementação do *Green Manufacturing* pode reduzir a poluição ambiental e o desperdício de recursos, melhora a taxa de utilização dos materiais e desempenha um papel fundamental na promoção do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, as empresas necessitam de integrar o conceito *green* na sua cadeia produtiva, utilizando materiais com menor impacto ambiental e tecnologias mais limpas e eficientes nos seus processos de fabrico, bem como sistemas de tratamento ecológico adequados para minimizar a poluição do meio ambiente (Liang, 2019).

2.4.3. Ferramentas Lean e resultados green

As mudanças climáticas, a degradação ambiental e escassez de recursos naturais constituem uma problemática atual e representam um grande desafio para a humanidade. Face a este desafio, as empresas foram obrigadas a desenvolver melhores estratégias para apoiar a sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, o *Lean* oferece práticas que podem ser implementadas e adaptadas para enfrentar os desafios ambientais e atender aos requisitos de sustentabilidade (Garza-Reyes et al., 2018). Assim, o objetivo desta seção é apresentar nos seguintes pontos as ferramentas *Lean* mais utilizadas pelas organizações a fim de melhorar o seu desempenho ambiental.

- **Eventos Kaizen**

O *Kaizen* é um dos processos-chave de uma organização *Lean*, sendo que o seu objetivo foca eliminação todas as formas de desperdício através da melhoria incremental e contínua das operações (Garza-Reyes et al., 2018). Esta filosofia assenta em dois propósitos que passam por desenvolver um cultura de solução de problemas com pensamento científico e estruturado, e por envolver trabalhadores de múltiplas funções e níveis na organização, que trabalham juntos para resolver um problema ou melhorar um processo (US EPA, 2007; Pampanelli et al., 2014).

De modo a identificar oportunidades para aumentar o desempenho ambiental, as empresas recorrem a eventos *Kaizen*. Nestes eventos forma-se uma equipa multidisciplinar, que através da recolha de dados e observação das práticas de trabalho, discute problemas e questões que estão a ter impacto no desempenho ambiental da empresa. Posteriormente, a equipa analisa a causa raiz do problema do ponto de vista científico e aplica ferramentas *Lean* para evitar a recorrência dos problemas e identificar novos problemas que possam surgir. Os resultados são funcionários envolvidos, melhoria no ambiente de trabalho e o desenvolvimento de processos mais eficientes que consideram os requisitos dos *stakeholders*, o que ajudará a reduzir a utilização de recursos e o desperdício ambiental (Cherrafi et al., 2019).

- **Value Stream Mapping (VSM)**

O *Value Stream Mapping* (VSM) é uma ferramenta de produção *Lean* orientada para a visualização e compreensão dos processos, através da esquematização do fluxo de material e de informação necessário desde os fornecedores de matérias-primas até à entrega do produto final ao cliente. O objetivo do VSM é identificar as maiores fontes de desperdício de um processo produtivo, tratando-se de uma ferramenta usada para caracterizar e analisar a situação atual da empresa, identificar os problemas e as suas causas, e definir o estado futuro que se deseja alcançar (Vaz, 2015).

O VSM pode ser aplicado para monitorizar detalhadamente as entradas, saídas e o fluxo de informação associado ao uso de energia, água e materiais, permitindo comparar a taxa de utilização dos recursos relativamente à necessidade de cada processo e analisar o fluxo de resíduos ambientais (emissões atmosféricas, águas residuais, resíduos perigosos e lixo) e o fluxo de informação para as agências reguladoras. Nesse sentido, a observação do VSM permite identificar operações desnecessárias e oportunidades de evitar o excesso de energia, água e uso de matérias-primas que favorecem a redução de custos e a otimização da cadeia produtiva, para além de contribuir positivamente para o desempenho ambiental (US EPA, 2007).

- ***Total Productive Maintenance (TPM)***

O *Total Productive Maintenance* (TPM) é um método *Lean* que se concentra em atingir o máximo de eficiência nos equipamentos de um sistema produtivo (EPA, 2011). Baseia-se no trabalho de equipa e na manutenção autónoma como garantia do bom funcionamento e vida útil mais longa dos equipamentos (Chen et al., 2019).

O TPM foca-se em seis grandes desperdícios que provocam a ineficiência dos equipamentos (EPA, 2011):

1. Avarias;
2. Perdas derivadas a configurações e afinações nos equipamentos;
3. Paragens;
4. Velocidade reduzida;
5. Defeitos e retrabalho;
6. Perdas de rendimento.

A eficiência dos equipamentos é avaliada através do indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). O OEE é em três métricas separadas: disponibilidade, eficiência e qualidade. A métrica disponibilidade é uma comparação entre a quantidade de tempo que o equipamento está realmente em atividade e a quantidade de tempo programada para produzir e é calcula dividindo o tempo de execução pelo tempo total disponível para produção. Por sua vez, a métrica eficiência é uma comparação entre a produção real de um equipamento e a produção esperada para o mesmo período e é calculado dividindo o tempo padrão pelo tempo efetivo. Por fim, a métrica qualidade representa o número de itens que atende às especificações e é obtido dividindo o número de peças conformes pelo total de peças produzidas. Como resultado da multiplicação destas três métricas surge o OEE do equipamento (Zammori et al., 2011; Ng et al., 2015).

Os benefícios do TPM são uma maior longevidade para os equipamentos, uma menor necessidade para substituir os equipamentos e menos impactos ambientais associados, já que a redução de derramamentos e vazamentos de óleo e emissões de gases poluentes para a atmosfera resultam em menos danos ambientais. Além disso, o TPM evita falhas nos equipamentos que podem produzir sucata e o consumo extra de recursos (Chen et al., 2019).

Da mesma forma, a manutenção adequada dos equipamentos ajuda a reduzir os defeitos de fabricação, sendo que a redução de defeitos pode ajudar a eliminar o desperdício de três formas (Rossi et al., 2020):

- Menos defeitos diminuem o número de produtos que devem ser descartados;
- Menos defeitos significa que as matérias-primas, a energia e os resíduos resultantes associados à sucata são eliminados;
- Menos defeitos diminuem a quantidade de energia, matéria-prima e resíduos que são usados ou produzidos para corrigir produtos defeituosos que necessitem de ser retrabalhados.

- **5S**

O programa 5S deriva das iniciais de cinco palavras japonesas: *Seiri, Seiton, Seison, Seiketsu* e *Shitsuke* (Cruz, 2013). Está estruturado em cinco etapas precisas tais como: separar, arrumar, limpar, normalizar e manter (Chiarini, 2014) e promove a organização, limpeza e disciplina através da consciência e responsabilidade de todos os colaboradores visando tornar o ambiente de trabalho mais agradável, seguro e eficiente (Azevedo, 2011).

Na mesma linha das outras ferramentas *Lean*, o programa 5S é usado para identificar e eliminar desperdícios e otimizar os custos no processo (Vaz, 2015). Neste caso, os desperdícios podem apresentar-se sob a forma de *stocks* defeituosos, matéria-prima retida, gabaritos, mesas e carrinhos desnecessários, ferramentas e acessórios não utilizados e documentação inútil, sendo que a ideia é usar apenas o que é necessário no momento e na quantidade certa, descartando tudo o resto (Monden, 2011).

Para começar o programa 5S é necessário fazer uma triagem, onde todos os colaboradores limpam e organizam o seu local de trabalho, descartando os objetos não necessários e identificando os que são efetivamente necessários. O passo seguinte passa por definir claramente um local específico para alocar esses objetos, facilitando o uso e a procura por parte dos trabalhadores. A próxima etapa passa por promover a limpeza do posto de trabalho. Posteriormente, definem-se padrões e procedimentos para manter as boas práticas e finalmente, verifica-se a execução dos padrões estabelecidos (Azevedo, 2011; Cruz, 2013; Belhadi et al., 2018).

As vantagens do programa 5S passam por identificar e reduzir o lixo e os resíduos durante o processo de triagem, o que conduz a uma redução drástica na produção de resíduos (Belhadi et al., 2018). Outra melhoria indicada, é que esta filosofia pode ser útil para reduzir vazamentos de óleo (Chiarini, 2014; Belhadi et al., 2018).

- **SMED**

O *Single Minute Exchange of Die* (SMED) ajuda as empresas a reduzir os tempos de *setup* quando a produção é interrompida e outro produto é iniciado (Chiarini, 2014). Esta abordagem passa por converter o que se chama atividades internas, que necessitam de ser executadas com a máquina parada, em atividades externas, que podem ser executadas com a máquina em funcionamento. Isto permite otimizar a utilização das máquinas, trabalhando apenas quando necessário, o que leva à redução dos tempos de produção e de inatividade (Ulutas, 2011).

Do ponto de vista ambiental, a aplicação do SMED favorece a produção de pequenos lotes, evitando o consumo desnecessário de energia no armazenamento e transporte de lotes grandes de produtos (Belhadi et al., 2018). Além disso, esta metodologia contribui para reduzir a excessão de produção e os *stocks*, o que representa um menor consumo de energia e materiais, reduzindo também as emissões de gases poluentes (Costa et al., 2013).

2.4.4. *Lean Green*

Lean e *Green* andam geralmente de mãos dadas, pois ser *Lean* implica reduzir o desperdício e, portanto, é provável que melhore a eficiência na utilização dos recursos e reduza o impacto ambiental (Ng et al., 2015).

Ambas as práticas visam minimizar o desperdício, sendo que a principal diferença assenta na definição de desperdício. Enquanto as práticas *Lean* ajudam as empresas a eliminar atividades que não agregam valor relacionadas com o mau aproveitamento dos recursos (tempo, mão de obra, equipamento, espaço) e inventários, as práticas *Green* estão direcionadas para minimizar os impactos ambientais negativos dos sistemas de produção (Mollenkopf et al., 2010), sendo que isso deverá ser causado pela redução ou eliminação de resíduos ambientais que incluem o consumo desnecessário de energia, água ou matérias-primas e a libertação de gases poluentes e resíduos perigosos para o meio ambiente (US EPA, 2007).

A literatura identifica publicações que alegam que ambas as práticas podem trabalhar juntas evidenciando um efeito sinérgico no que respeita à redução de resíduos, ao consumo de energia materiais e tempo, à gestão da cadeia de abastecimento e à otimização da cadeia produtiva (Abualfaraa et al., 2020).

Nessa lógica, Pampanelli et al. (2014) sugerem um modelo *Lean Green* que fornece evidências sobre a sinergia entre ambas as práticas. Os autores demonstram que a aplicação da filosofia *Kaizen* numa célula produtiva pode reduzir a utilização de recursos de 30 a 50% e tem potencial para diminuir os custos totais de 5 a 10% no fluxo de massa e energia.

Por sua vez, Ng et al. (2015) visam demonstrar a aplicabilidade de uma metodologia que visa integrar práticas *Lean* e *Green* através do estudo de um caso prático numa empresa que fabrica peças metálicas por estampagem. Nesta metodologia os indicadores utilizados para medir o desempenho ambiental da empresa foram a eficiência do valor de carbono e pegada de carbono, sendo que os resultados mostram que devido a uma redução de 64.7% no *lead time*, a eficiência do valor de carbono pode ser melhorada em 36.3% e a pegada de carbono reduzida em 29.9%. Desta forma, os resultados fornecem evidências que as empresas podem alcançar benefícios quantitativos integrando e implementando o *Lean Green*.

Já Belhadi et al. (2018) fornecem evidências do efeito sinérgico entre as práticas *Lean* e *Green* através do estudo de um caso prático de implementação da filosofia *Lean* numa PME. Através deste estudo, as vantagens da implementação de práticas *Lean* como 5S, *kanban*, SMED, manutenção autónoma, células de produção e controlo de qualidade sobre o desempenho ambiental da empresa são amplamente demonstradas, sendo que os resultados mostram um efeito muito benéfico dessas práticas sobre o meio ambiente em termos de utilização eficiente dos recursos como água, energia e matérias-primas.

Por seu lado, Inman & Green (2018) investigam a complementaridade entre as práticas *Lean* e *Green* através da recolha e análise de dados de uma amostragem de 182 empresas norte americanas. Os resultados evidenciam que o uso simultâneo de práticas *Lean* e *Green* além de aumentar o desempenho operacional, melhora significativamente o desempenho ambiental das empresas em estudo.

Garza-Reyes et al. (2018) analisam o impacto de cinco ferramentas *Lean*, especificamente JIT, *jidoka*, *Kaizen*, TPM e VSM em quatro indicadores normalmente usados para medir o desempenho ambiental, tais como quantidade de material utilizado, energia consumida, *outputs* não relacionados com o produto (incluem resíduos sólidos, águas residuais, emissões atmosféricas, etc) e emissões de gases poluentes. Os resultados demonstram que o TPM e o JIT são as práticas *Lean* com maior influência no desempenho ambiental das organizações, já que sua implementação produziu efeitos positivos em todos os indicadores em análise. Por sua vez, a adoção de uma cultura *Kaizen* mostrou apenas um efeito positivo na quantidade de material utilizado e na emissão de gases poluentes. Por último, *jidoka* e VSM não evidenciam qualquer melhoria no desempenho ambiental através da sua implementação.

No mesmo ano, Leme et al. (2018) mostram a importância da implementação simultânea das práticas *Lean* e *Green* para a otimização do processo produtivo e redução de desperdícios através de um caso de estudo numa empresa brasileira. Assim, os autores propõem um modelo *Lean Green* baseado na aplicação do SMED e no cálculo da pegada de carbono para analisar a ecoeficiência de centros de maquinaria. Os resultados mostram que houve uma redução significativa nos tempos de *setup* e na pegada de carbono, contribuindo para melhoria da ecoeficiência. Quantitativamente, através da implementação do SMED conseguiu-se uma redução em mais de 70% nos tempos de *setup* e a pegada de carbono diminuiu cerca de 81%, sendo que ecoeficiência melhorou 3% após a aplicação dessa prática.

Dieste et al. (2019) apresentam uma matriz que liga algumas das principais práticas *Lean* a medidas ambientais específicas. Os resultados sugerem que o JIT e o TQM são as ferramentas mais utilizadas para avaliar relações com o desempenho ambiental. Além disso, argumentam que o VSM e o *Kaizen* são as práticas que têm maior influência nas medidas ambientais, nomeadamente nas emissões atmosféricas, consumo de energia, produção de resíduos sólidos, consumo de materiais, utilização de produtos químicos tóxicos/perigosos e poupança de dinheiro.

Por sua parte, S. Silva et al. (2020) estudaram a integração dos conceitos *Lean* e *Green* através de um caso de estudo desenvolvido numa empresa portuguesa. Para isso, foram implementadas quatro ferramentas, nomeadamente *Kaizen*, VSM, *jidoka* e TPM, sendo que a aplicação das ferramentas permitiu aumentar a eficiência do sistema produtivo, reduzindo em média 33% dos tempos de ciclo, 38% do consumo de energia e 66% da sucata, o que demonstra que as ferramentas *Lean* permitem que as organizações aumentem os seus lucros, contribuindo simultaneamente para uma melhor gestão ambiental.

Finalmente, com o propósito de estudar a relação entre *Lean*, *Green* e sustentabilidade, Teixeira et al. (2021) realizaram uma revisão sistemática da literatura, combinada com uma análise bibliométrica. Este estudo constatou que na maioria dos casos onde as práticas *Lean Green* foram implementadas verificou-se um impacto positivo principalmente nas dimensões económica e ambiental das empresas, evidenciando a capacidade da combinação das abordagens *Lean* e *Green* para melhorar os resultados de sustentabilidade.

Em alternativa, existem investigadores que afirmam que as práticas *Lean* e *Green* nem sempre são compatíveis e viáveis, existindo algumas áreas onde combiná-las pode ser particularmente difícil (Abualfaraa et al., 2020).

Por exemplo, Rothenberg et al. (2001) sugerem que a gestão *Lean* e a redução das emissões atmosféricas de compostos orgânicos voláteis estão associadas negativamente, sendo que apesar das práticas *Lean* contribuírem para uma utilização mais eficiente das tintas e solventes de limpeza, as alterações implementadas não são suficientes para cumprir os regulamentos ambientais.

Por seu lado Garza-Reyes (2015a) considera ainda que existem algumas áreas em que as práticas *Lean* e *Green* não podem ser combinadas, sendo que ainda existem algumas limitações quando se considera o *Lean Green* como uma abordagem integrada.

Já Ng et al. (2015) mencionam que a abordagem integrada de práticas *Lean* e *Green* envolve investimentos consideráveis e que não é viável em situações em que há limitações de recursos. Também Galeazzo et al. (2014) reconhecem que para obter resultados positivos com a implementação simultânea de ambas as práticas é geralmente necessário personalizar o perfil operacional das empresas e garantir o envolvimento dos fornecedores.

Por fim, Abualfaraa et al. (2020) afirma que o foco na produção em pequenos lotes para responder as exigências dos cliente aumenta o uso de transporte/embalagens o que implica um reabastecimento frequente, conduzindo a maiores emissões de gases poluentes e mais resíduos provenientes das embalagens.

Através da análise das publicações acima referidas pode afirmar-se que a maioria dos autores converge na ideia de compatibilidade entre os conceitos *Lean* e *Green*, principalmente na redução de desperdícios, que é um objetivo comum de ambas as abordagens. Ainda assim, apesar do número de publicações que defendem a existência de uma relação positiva entre as práticas *Lean* e *Green* ser maioritário, essa visão não é consensual e identificou-se a existência de *trade-offs* entre práticas *Lean* e a melhoria do desempenho ambiental, nomeadamente, entre produção em pequenos lotes e emissões de gases poluentes. Estas inconsistências encontradas na literatura sugerem que são necessárias mais pesquisas para analisar a ligação *Lean Green*, sendo pertinente a investigação nesta área.

3. DESENVOLVIMENTO DO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

A fim de investigar os níveis de impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental das organizações industriais portuguesas elaborou-se um questionário baseado na revisão da literatura que permitiu recolher dados para este estudo, tratando-se de um instrumento popular que possibilita a padronização e a comparação de dados de um grande número de inquiridos de forma fácil e económica (Saunders et al., 2019).

O questionário desenvolveu-se através do *software Google Forms*, que disponibiliza um link online de acesso ao mesmo que foi remetido a todos os convidados a colaborar nesta investigação.

Assim, o convite para participar foi enviado para as empresas portuguesas selecionadas via e-mail (anexo A) com uma carta de apresentação revelando a sua finalidade ou para profissionais do *LinkedIn* com conhecimento sobre as variáveis em estudo.

A seleção da amostra teve em consideração empresas de diferentes regiões do país e foi realizada a partir da base de dados do IPAC, considerando predominantemente empresas certificadas pela norma ISO 14001, que comprova o compromisso com a proteção ambiental.

3.1. Estrutura do questionário de pesquisa

O design do questionário afetará a taxa de resposta e a confiabilidade e validade dos dados recolhidos, sendo que este deve ser projetado de modo a facilitar a leitura das perguntas e o preenchimento das respostas, visando ser atraente para incentivar o inquirido a preenchê-lo e devolvê-lo (Saunders et al., 2019).

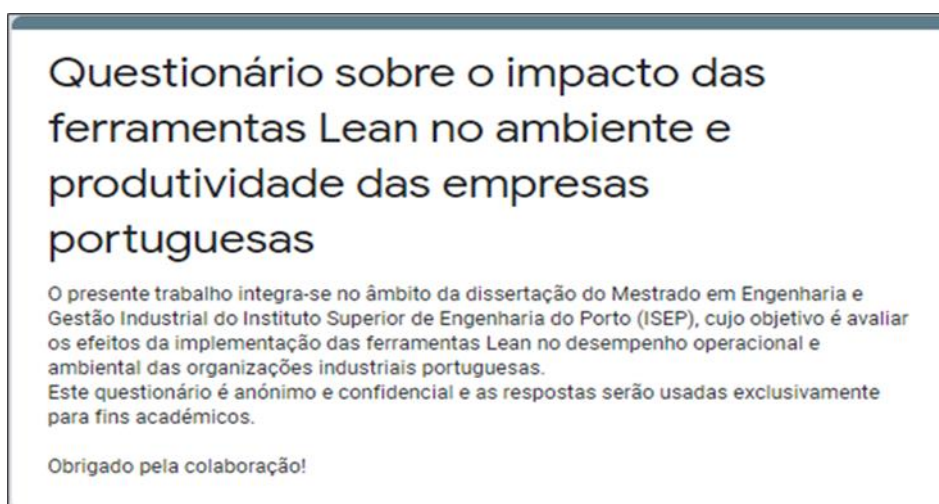
Um outro aspeto essencial é a natureza e a formulação clara das perguntas para melhorar a validade do questionário e garantir uma boa compreensão por parte dos inquiridos. Além disso, é importante assegurar a confidencialidade dos dados e o anonimato dos participantes, proporcionando-lhes uma sensação de relaxamento e confiança que se reflete numa redução do risco de viés (Saunders et al., 2019).

Em função das considerações acima referidas, elaborou-se um questionário anónimo constituído por 13 questões adequadas aos objetivos da pesquisa em questão, tendo-se optado por perguntas fechadas que oferecem ao inquirido uma lista de respostas, podendo escolher qualquer uma delas e perguntas mistas, que além da lista de opções apresentada permitem ao inquirido responder livremente num campo definido como “outra”.

As questões fechadas incluem a escala de *Likert* com 5 estágios, utilizada para recolher dados baseados em opiniões e percepções dos participantes, em que se pergunta ao inquirido com que intensidade concorda ou discorda de uma afirmação ou série de afirmações (Saunders et al., 2019) e que consiste em responder às perguntas com um valor entre 1 a 5, onde 1 significa discordo totalmente, 2 discordo, 3 nem concordo nem discordo, 4 de acordo, 5 totalmente de acordo, o que servirá de base para avaliar o impacto causado pela implementação das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental na indústria portuguesa.

No início do questionário apresenta-se o título, seguido de uma breve introdução, que inclui o contexto e o propósito da pesquisa para convencer o inquirido a colaborar e informações sobre as

condições de confidencialidade dos dados recolhidos, conforme demonstra a figura 6.



The image shows a screenshot of a questionnaire introduction page. The title is 'Questionário sobre o impacto das ferramentas Lean no ambiente e produtividade das empresas portuguesas'. Below the title, there is a paragraph explaining that the work is part of a Master's dissertation in Industrial Engineering and Management at the Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), with the objective of evaluating the effects of Lean tool implementation on operational and environmental performance of Portuguese organizations. It states that the questionnaire is anonymous and confidential, and responses will be used exclusively for academic purposes. At the bottom, it says 'Obrigado pela colaboração!'.

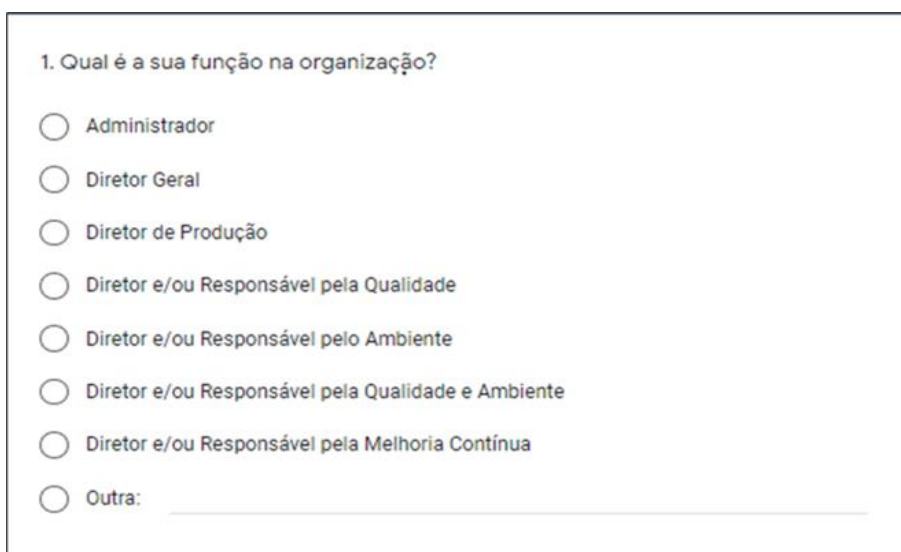
Figura 6 – Introdução ao questionário

Após esta introdução, o questionário encontra-se estruturado da seguinte forma:

- Secção I: Caracterização do inquirido;
- Secção II: Caracterização da organização;
- Secção III: Ferramentas *Lean*;
- Secção IV: Impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental.

3.1.1. Caracterização do inquirido

Esta seção foi dividida em três questões e é dedicada à caracterização do inquirido. A primeira pergunta refere-se ao cargo que o participante desempenha na organização (figura 7), a segunda está relacionada com os anos de serviço na atual função (figura 8) e a terceira incide nas habilitações literárias do participante (figura 9).



The image shows a screenshot of the first question of the questionnaire. The question is '1. Qual é a sua função na organização?'. Below the question, there are eight radio button options: 'Administrador', 'Diretor Geral', 'Diretor de Produção', 'Diretor e/ou Responsável pela Qualidade', 'Diretor e/ou Responsável pelo Ambiente', 'Diretor e/ou Responsável pela Qualidade e Ambiente', 'Diretor e/ou Responsável pela Melhoria Contínua', and 'Outra:'. The 'Outra:' option has a text input field next to it.

Figura 7 – Questão 1 da Secção “Caracterização do inquirido”

2. Há quanto tempo exerce essa função?

- ☐ até 1 ano
- ☐ mais de 1 ano até 3 anos
- ☐ mais de 3 anos até 5 anos
- ☐ mais 5 anos até 10 anos
- ☐ mais de 10 anos até 15 anos
- ☐ mais de 15 anos

Figura 8 – Questão 2 da Secção “Caracterização do inquirido”

3. Quais são as suas habilitações literárias?

- ☐ Sem escolaridade
- ☐ Ensino básico 1º ciclo (4º ano)
- ☐ Ensino básico 2º ciclo (6º ano)
- ☐ Ensino básico 3º ciclo (9º ano)
- ☐ Ensino secundário (12º ano)
- ☐ Curso técnico superior profissional
- ☐ Bacharelato
- ☐ Licenciatura
- ☐ Pós-Graduação
- ☐ Mestrado
- ☐ Doutoramento

Figura 9 – Questão 3 da Secção “Caracterização do inquirido”

3.1.2. Caracterização da organização

A secção seguinte visa identificar e caracterizar a empresa do participante, sendo constituída por três perguntas. A primeira questão solicita a localização geográfica da empresa segundo a divisão por NUTS II (figura 10), a segunda é relativa ao setor de atividade principal (figura 11) e a terceira foca o número de anos de atividade da organização (figura 12).

1. Localização geográfica da organização:

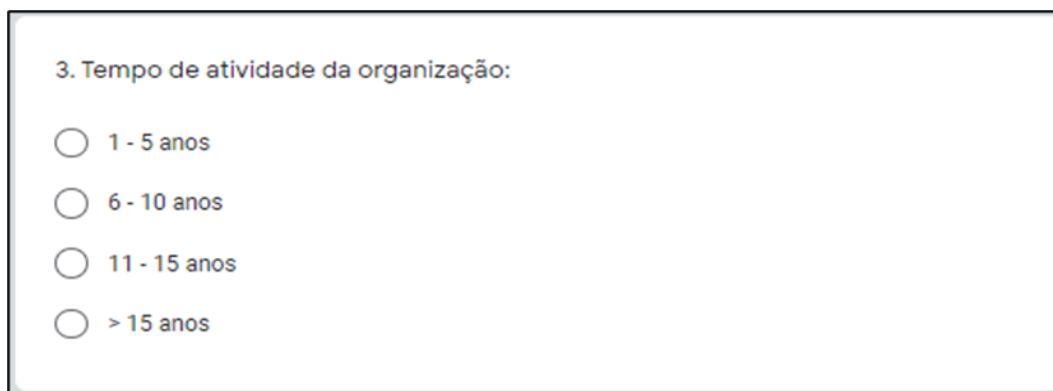
- ☐ Norte
- ☐ Centro
- ☐ Área Metropolitana de Lisboa
- ☐ Alentejo
- ☐ Algarve
- ☐ Região Autónoma dos Açores
- ☐ Região Autónoma da Madeira

Figura 10 – Questão 1 da Secção “Caracterização da organização”

2. Setor de atividade da organização:

- ☐ Indústria aeronáutica
- ☐ Indústria alimentar e de bebidas
- ☐ Indústria automóvel
- ☐ Indústria da cortiça
- ☐ Indústria da madeira e mobiliário
- ☐ Indústria de construção civil e obras públicas
- ☐ Indústria do calçado
- ☐ Indústria médica e farmacêutica
- ☐ Indústria metalomecânica
- ☐ Indústria metalúrgica
- ☐ Indústria química
- ☐ Indústria têxtil e do vestuário
- ☐ Outra: _____

Figura 11 – Questão 2 da Secção “Caracterização da organização”



3. Tempo de atividade da organização:

☐ 1 - 5 anos

☐ 6 - 10 anos

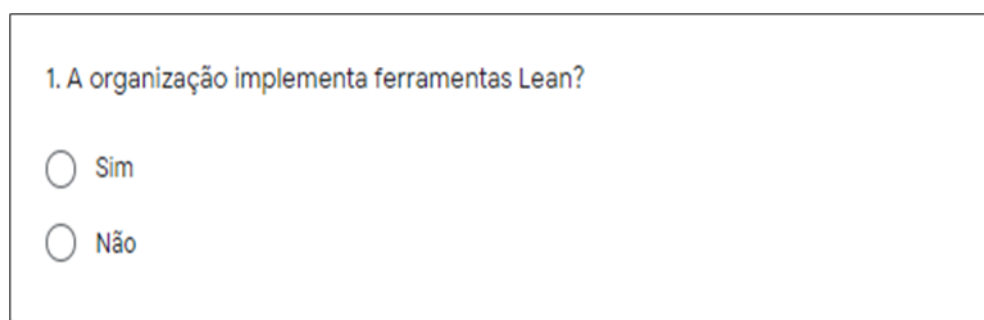
☐ 11 - 15 anos

☐ > 15 anos

Figura 12 – Questão 3 da Secção “Caracterização da organização”

3.1.3. Ferramentas *Lean*

Nesta secção, composta por quatro questões, pretende-se entender em que ponto se encontra a implementação de ferramentas *Lean* nas empresas. Inicialmente, o objetivo era saber se a organização utiliza ferramentas *Lean* no decorrer da sua atividade (figura 13).



1. A organização implementa ferramentas *Lean*?

☐ Sim

☐ Não

Figura 13 – Questão 1 da Secção “Ferramentas *Lean*”

A segunda questão está diretamente ligada à resposta da pergunta anterior, ou seja, na condição do participante responder afirmativamente solicita-se que enumere as ferramentas adotadas (figura 14). A questão seguinte visa determinar o tempo decorrido desde a implementação dessas práticas (figura 15) e por último, a questão quatro é dedicada a avaliar o impacto resultante da implementação das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações (figura 16), sendo que é pedido ao inquirido que classifique esse impacto baseado nas seguintes afirmações:

- Melhorou a produtividade;
- Reduziu o tempo do ciclo;
- Melhorou a satisfação do cliente;
- Reduziu os *stocks*;
- Reduziu os custos;
- Melhorou prazos de entrega;
- Melhorou a qualidade do produto;
- Melhorou a flexibilidade;

- Melhorou a eficiência dos recursos;
- Melhorou da imagem da organização;
- Melhorou a utilização da capacidade;
- Reduziu o número de produtos defeituosos.

1.1. Se respondeu "Sim", identifique qual (ais) :

- ☐ 5S's
- ☐ Andon
- ☐ Eventos Kaizen
- ☐ Gestão Visual
- ☐ Heijunka
- ☐ Hoshin Kanri
- ☐ Jidoka
- ☐ Kanban
- ☐ Mizusumashi
- ☐ Poka-Yoke
- ☐ SMED (Single Minute Exchange of Die)
- ☐ Standard Work
- ☐ TPM (Total Productive Maintenance)
- ☐ VSM (Value Stream Mapping)
- ☐ Outra: _____

Figura 14 – Questão 1.1 da Secção "Ferramentas Lean"

2. Há quanto tempo foram introduzidas as ferramentas Lean na organização?

- ☐ 1 - 5 anos
- ☐ 6 - 10 anos
- ☐ 11 - 15 anos
- ☐ > 15 anos

Figura 15 – Questão 2 da Secção "Ferramentas Lean"

3. Classifique o impacto produzido no desempenho operacional da sua organização resultante da aplicação das ferramentas Lean através de uma escala tipo Likert de 5 pontos, considerando 1 = discordo totalmente; 2 = discordo; 3 = nem concordo nem discordo; 4 = de acordo; 5 = totalmente de acordo :

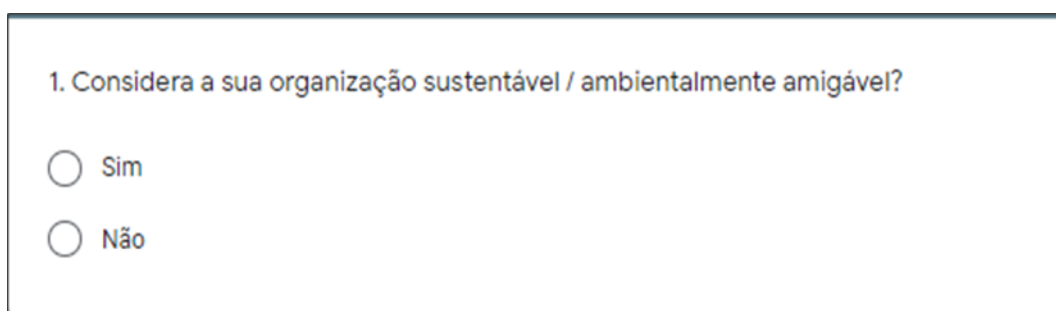
	1	2	3	4	5
Melhorou a produtividade	☐	☐	☐	☐	☐
Reduziu o tempo do ciclo	☐	☐	☐	☐	☐
Melhorou a satisfação do cliente	☐	☐	☐	☐	☐
Reduziu os stocks	☐	☐	☐	☐	☐
Reduziu os custos	☐	☐	☐	☐	☐
Melhorou prazos de entrega	☐	☐	☐	☐	☐
Melhorou qualidade do produto	☐	☐	☐	☐	☐
Melhorou a flexibilidade	☐	☐	☐	☐	☐
Melhorou a eficiência dos recursos	☐	☐	☐	☐	☐
Melhorou a imagem da organização	☐	☐	☐	☐	☐
Melhorou a utilização da capacidade	☐	☐	☐	☐	☐
Reduziu o número de produtos defeituosos	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 16 – Questão 3 da Secção "Ferramentas Lean"

3.1.4. Impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental

A secção atual foi dividida em três questões e aborda a questão ambiental na indústria, tendo como objetivo relacionar as ferramentas *Lean* com práticas ambientais. A primeira questão visa entender a opinião dos inquiridos sobre a postura das empresas em relação ao ambiente (figura 17), a segunda pretende conhecer o nível de conhecimento dos participantes relativamente ao *Lean Green* (figura 18) e a terceira destina-se a averiguar o impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental da organização (figura 19), e tal como na questão 3 da Secção “Ferramentas *Lean*” solicita-se que o participante atribua uma classificação face às afirmações apresentadas:

- Permitiu reduzir as emissões de gases;
- Permitiu reduzir a produção de resíduos sólidos;
- Permitiu reduzir a produção de resíduos de efluentes;
- Permitiu diminuir o consumo de materiais perigosos / nocivos / tóxicos;
- Permitiu diminuir a frequência de acidentes ambientais;
- Permitiu reduzir o consumo de materiais;
- Permitiu reduzir o consumo de energia;
- Permitiu reduzir o consumo de água;
- Permitiu reduzir a utilização de embalagens.

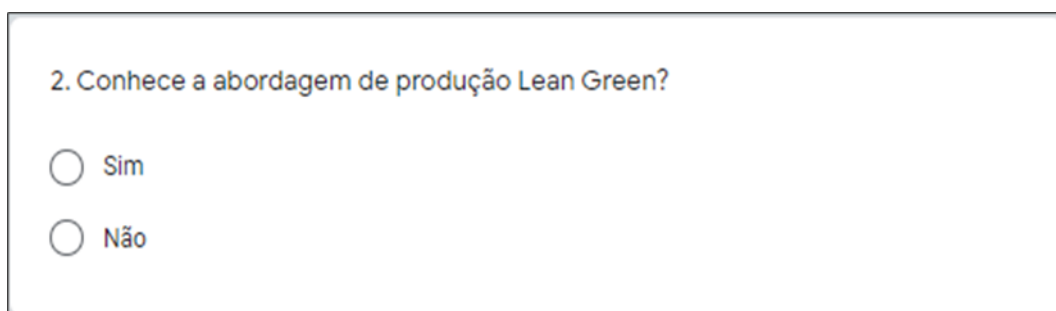


1. Considera a sua organização sustentável / ambientalmente amigável?

☐ Sim

☐ Não

Figura 17 – Questão 1 da Secção “Impacto das Ferramentas *Lean* no desempenho ambiental”



2. Conhece a abordagem de produção Lean Green?

☐ Sim

☐ Não

Figura 18 – Questão 2 da Secção “Impacto das Ferramentas *Lean* no desempenho ambiental”

3. Classifique o impacto produzido no desempenho ambiental da sua organização resultante da aplicação das ferramentas Lean através de uma escala tipo Likert de 5 pontos, considerando 1 = discordo totalmente; 2 = discordo; 3 = nem concordo nem discordo; 4 = de acordo; 5 = totalmente de acordo :

	1	2	3	4	5
Permitiu reduzir as emissões de gases	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu reduzir a produção de resíduos sólidos	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu reduzir a produção de resíduos de efluentes	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu diminuir o consumo de materiais perigosos / nocivos / tóxicos	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu diminuir a frequência de acidentes ambientais	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu reduzir o consumo de materiais	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu reduzir o consumo de energia	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu reduzir o consumo de água	☐	☐	☐	☐	☐
Permitiu reduzir a utilização de embalagens	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 19 – Questão 3 da Secção "Impacto das Ferramentas Lean no desempenho ambiental"

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O questionário ficou disponível on-line durante três meses, entre setembro e dezembro de 2020. Para a recolha dos dados, utilizou-se a plataforma *Google Forms*, sendo as respostas automaticamente guardadas num ficheiro Excel, para posterior análise.

Foram enviados 685 questionários, 171 dirigidos a empresas e 514 a contactos do *Linkedin*, tendo-se obtido uma amostra total de 109 colaboradores de empresas, o que corresponde a uma taxa de resposta de 15,9%.

Dos participantes, a maioria afirmou que as empresas tinham ferramentas *Lean* implementadas (n=72; 80,0%), conforme mostra a figura 20.

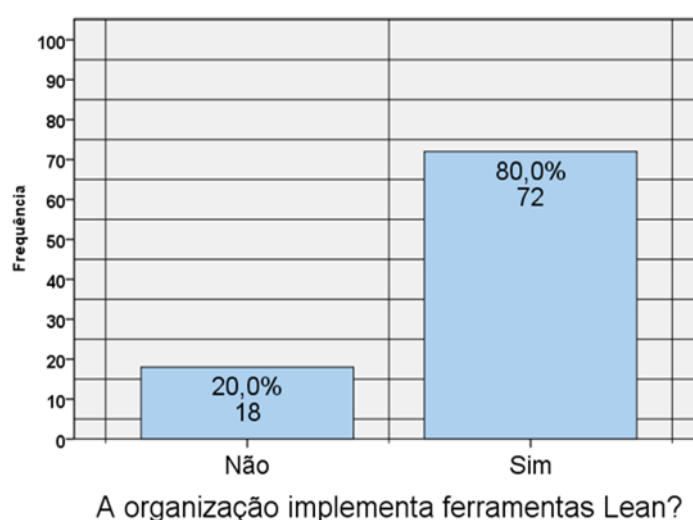


Figura 20 – Frequência dos participantes cujas organizações tinham ferramentas *Lean* implementadas

Tendo em consideração que este estudo tem como objetivo avaliar a perceção dos trabalhadores de empresas que têm implementadas ferramentas *Lean*, nomeadamente, a avaliação do impacto produzido no desempenho operacional e ambiental da organização resultante da aplicação das ferramentas *Lean*, o tratamento estatístico das respostas obtidas foi realizado apenas para participantes cujas organizações tinham ferramentas *Lean* implementadas (n=72).

Para a apresentação dos dados recorreu-se ao uso de tabelas e gráficos, com os dados estatísticos antecidos de análise. A análise dos dados foi realizada através de estatística descritiva e inferencial, utilizando-se o software *IBM SPSS Statistics* (versão 25), sendo que com os resultados foi possível ter uma visão geral do impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental das empresas portuguesas.

4.1. Estatística Descritiva

A estatística descritiva consiste num conjunto de ferramentas utilizadas para explicar e resumir os dados recolhidos numa determinada investigação, que são exibidos, em forma de números, tabelas e gráficos, descrevendo as respostas recebidas e apresentando informações sobre a tendência central e a dispersão dos dados (Morais, 2010; Holcomb & Cox, 2017). Para tal, foram utilizados diversos parâmetros para a distribuição das variáveis, nomeadamente a frequência, percentagem, média e desvio-padrão.

Nos subcapítulos seguintes, organizados seguindo a mesma ordem do capítulo anterior, aplica-se a estatística descritiva para apresentar e analisar os resultados do questionário.

4.1.1. Caracterização do inquirido

O questionário dirigiu-se a profissionais de empresas com conhecimento mais detalhado sobre o objeto de investigação, sendo que a escolha incidu em cargos de topo e responsáveis pelos departamentos de produção, qualidade, ambiente ou melhoria contínua, que reforça a veracidade das respostas. Dos inquiridos, o cargo mais representado foi o de diretor e/ou responsável pela melhoria contínua (40,3%), seguido pelo diretor e/ou responsável pela qualidade (18,1%) e pelo diretor e/ou responsável pela qualidade e ambiente (13,9%), sendo que as restantes funções exercidas pelos participantes encontram-se descritas na seguinte tabela:

Tabela 2 – Frequência da função atual dos inquiridos

	n	%
Qual é a sua função na organização?		
Diretor e/ou Responsável pela Melhoria Contínua	29	40,3
Diretor e/ou Responsável pela Qualidade	13	18,1
Diretor e/ou Responsável pela Qualidade e Ambiente	10	13,9
Outra	10	13,9
Diretor de Produção	8	11,1
Diretor e/ou Responsável pelo Ambiente	2	2,8
Total	72	100

Em relação aos anos de serviço na organização, cerca de 34,7% exercem as atuais funções há mais de 1 até 3 anos, 16,7% praticam a mesma função há mais de 5 até 10 anos e 15,3% estão no seu primeiro ano nesse cargo. A tabela 3 mostra a distribuição dos participantes de acordo com número de anos de serviço na função atual:

Tabela 3 – Frequência do tempo na função dos inquiridos

	n	%
Há quanto tempo exerce essa função?		
mais de 1 até 3 anos	25	34,7
mais de 5 até 10 anos	12	16,7
até 1 ano	11	15,3
mais de 3 até 5 anos	10	13,9
> 15 anos	8	11,1
mais de 10 até 15 anos	6	8,3
Total	72	100

No que diz respeito às habilitações literárias dos participantes, cerca de 72,2% possui formação superior, sendo 47,2% mestres e 25,0% licenciados, o que revela um nível elevado de escolarização da amostra em estudo, conforme é exibido na tabela 4.

Tabela 4 – Frequência da localização geográfica das organizações participantes

	n	%
Quais são as suas habilitações literárias?		
Mestrado	34	47,2
Licenciatura	18	25,0
Pós-Graduação	9	12,5
Ensino secundário (12º ano)	7	9,7
Bacharelato	2	2,8
Curso técnico superior profissional	2	2,8
Total	72	100

4.1.2. Caracterização da organização

Através da análise dos resultados da parte II do questionário e relativamente à localização geográfica das empresas, observa-se que a maioria dos inquiridos que participaram nesta investigação trabalham em organizações concentradas na região Norte (43,1%), Centro (34,7%) e na área metropolitana de Lisboa (19,4%), tal como é apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Frequência da localização geográfica das organizações participantes

	n	%
Localização geográfica da organização:		
Norte	31	43,1
Centro	25	34,7
Área Metropolitana de Lisboa	14	19,4
Alentejo	1	1,4
Algarve	1	1,4
Total	72	100

No que se refere ao ramo de atividade das empresas, o setor mais representado foi a indústria automóvel (31,9%), seguido por outras atividades (27,8%) e pela indústria metalomecânica (18,1%), sendo que os restantes setores de atividade identificados encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 – Frequência do setor de atividade das organizações participantes

	n	%
Setor de atividade da organização:		
Indústria automóvel	23	31,9
Outra	20	27,8
Indústria metalomecânica	13	18,1
Indústria alimentar e de bebidas	6	8,3
Indústria metalúrgica	4	5,6
Indústria médica e farmacêutica	3	4,2
Indústria química	2	2,8
missing	1	1,4
Total	72	100

No que concerne à longevidade das empresas que aderiram a este estudo, grande parte mantêm atividade há mais de 15 anos (69,4%), seguido por empresas na faixa de 1 a 5 anos (18,1%), conforme demonstra a tabela seguinte:

Tabela 7 – Frequência do tempo de atividade das organizações participantes

	n	%
Tempo de atividade da organização:		
> 15 anos	50	69,4
1 - 5 anos	13	18,1
11 - 15 anos	5	6,9
6 - 10 anos	4	5,6
Total	72	100

4.1.3. Ferramentas Lean

Quanto à utilização de ferramentas *Lean*, solicitou-se a identificação das ferramentas que as empresas implementam no seio da sua atividade, possibilitando ao inquirido escolher as opções aplicáveis. Através dos resultados obtidos (tabela 8), observa-se que a implementação da metodologia 5S é predominante, correspondendo a 90,3% das empresas participantes, seguindo-se a gestão visual (81,9%); Eventos *Kaizen*, *Kanban*, *Standard Work*, *VSM*, *SMED* e o *Poka-Yoke* revelam um grau significativo de implementação, superior a 50%; as ferramentas *Jidoka* e *Heijunka* apresentam um nível de implementação reduzido, sendo referidas por menos de 20% dos inquiridos.

Tabela 8 – Frequência das ferramentas Lean implementadas pelas organizações participantes

	Sim		Não	
	n	%	n	%
Ferramentas Lean Manufacturing				
Metodologia 5S	65	90,3	7	9,7
Gestão Visual	59	81,9	13	18,1
Eventos <i>Kaizen</i>	43	59,7	29	40,3
<i>Kanban</i>	43	59,7	29	40,3
<i>Standard Work</i>	42	58,3	30	41,7
<i>VSM (Value Stream Mapping)</i>	42	58,3	30	41,7
<i>SMED (Single Minute Exchange of Die)</i>	38	52,8	34	47,2
<i>Poka-Yoke</i>	37	51,4	35	48,6
<i>TPM (Total Productive Maintenance)</i>	29	40,3	43	59,7
<i>Mizusumashi</i>	21	29,2	51	70,8
<i>Andon</i>	18	25,0	54	75,0
<i>Hoshin Kanri</i>	18	25,0	54	75,0
<i>Jidoka</i>	14	19,4	58	80,6
<i>Heijunka</i>	11	15,3	61	84,7
Outra	7	9,7	65	90,3

Relativamente ao tempo de introdução das práticas *Lean* no decorrer da atividade das organizações participantes, a maioria (59,7%) afirma que iniciou a sua implementação entre 1 a 5 anos, seguindo por empresas na faixa de 6 a 10 anos (23,6%) conforme evidencia a figura 21.

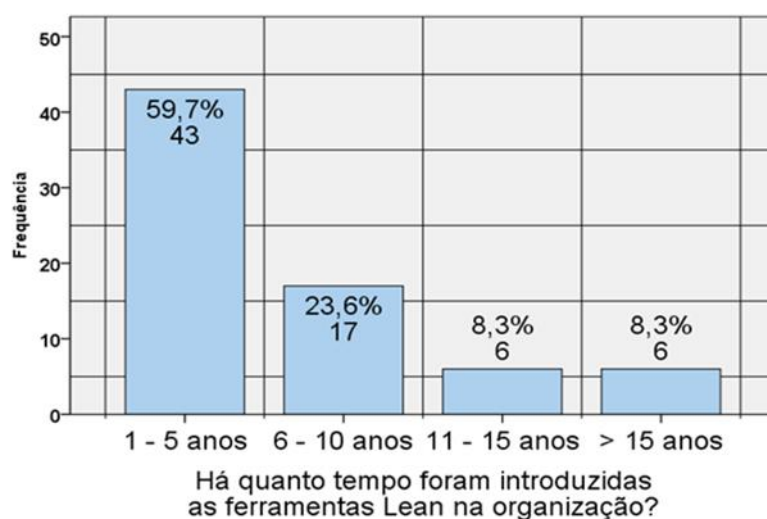


Figura 21 – Frequência do tempo de introdução das ferramentas Lean nas organizações participantes

No que se refere ao impacto da implementação das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das empresas, avaliou-se a percepção dos participantes face a um conjunto de potenciais benefícios identificados na literatura decorrentes da implementação dessas práticas através de uma escala ordinal numérica, tipo *Likert*, com 5 níveis de classificação.

Através da análise às frequências das respostas (tabela 9), verifica-se que todas as características relativas ao desempenho operacional apresentam um nível de concordância de aproximadamente 4 (concordo), sendo que o item com maior impacto foi “melhorou a produtividade” com um valor médio de 4,0 e o menos significativo foi “melhorou a qualidade do produto”, com um valor médio de 3,6. Perante os resultados obtidos, conclui-se que a generalidade dos participantes reconhece que a aplicação das ferramentas *Lean* têm um efeito positivo e significativo na performance operacional das empresas.

Tabela 9 – Frequência do impacto da aplicação das ferramentas Lean no desempenho operacional das organizações convidadas

	Média	Dp	Min	Máx	1	2	3	4	5
Melhorou a produtividade	4,0	0,9	1	5	1,4	4,2	15,3	51,4	27,8
Melhorou a eficiência dos recursos	3,9	0,8	2	5	—	4,2	23,6	47,2	25,0
Melhorou a utilização da capacidade	3,9	1,0	1	5	2,8	4,2	23,6	37,5	31,9
Reduziu o tempo do ciclo	3,9	0,9	1	5	2,8	1,4	26,4	43,1	26,4
Melhorou a imagem da organização	3,8	1,0	1	5	4,2	2,8	26,4	40,3	26,4
Reduziu os custos	3,8	1,0	1	5	1,4	8,3	25,0	38,9	26,4
Melhorou prazos de entrega	3,8	1,0	2	5	—	9,7	30,6	33,3	26,4
Melhorou a satisfação do cliente	3,7	0,9	2	5	—	6,9	33,3	38,9	20,8
Melhorou a flexibilidade	3,7	1,0	1	5	4,2	2,8	31,9	37,5	23,6
Reduziu o nº de produtos defeituosos	3,7	1,0	1	5	1,4	12,5	29,2	30,6	26,4
Reduziu os stocks	3,7	1,1	1	5	1,4	12,5	31,9	27,8	26,4
Melhorou qualidade do produto	3,6	1,0	1	5	1,4	9,7	36,1	33,3	19,4

(1=Discordo totalmente | 2=Discordo | 3=Nem concordo, Nem discordo | 4=Concordo | 5=Concordo totalmente)

4.1.4. Impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental

Quanto ao ambiente, os participantes foram inquiridos no sentido de perceber a sua perspetiva acerca da conduta ambiental das organizações que representam. A maioria dos inquiridos (80,6%) considera que trabalha em empresas que apresentam uma postura ambientalmente correta, conforme é visível na figura 22.

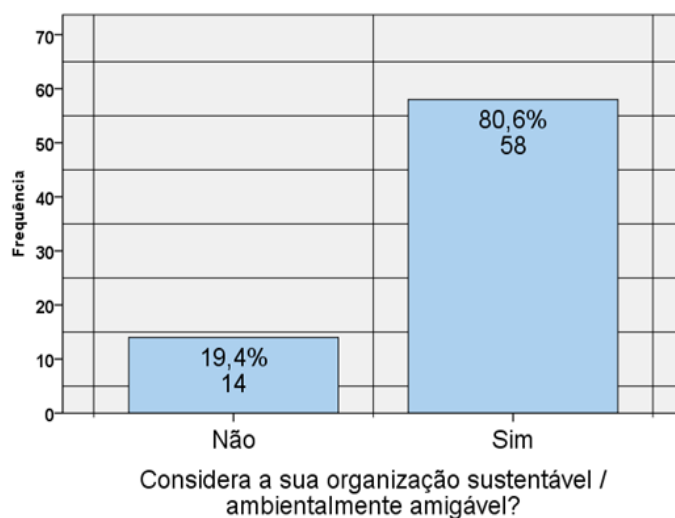


Figura 22 – Frequência da opinião dos participantes sobre a postura das organizações em relação ao ambiente

A próxima questão visava entender o grau de conhecimento dos participantes acerca da abordagem *Lean Green*. Dos inquiridos, 52,8% revelaram conhecimento suficiente sobre o *Lean Green*, ao contrário dos restantes 47,2% que demonstram falta de conhecimento (figura 23).

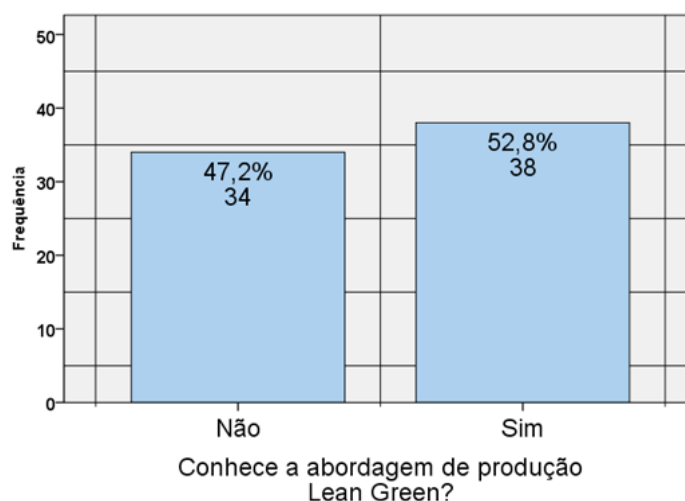


Figura 23 – Frequência do conhecimento dos participantes acerca do *Lean Green*

Por último, de modo a investigar os efeitos da implementação das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações, recorreu-se novamente à escala de *Likert* para determinar a concordância dos participantes sobre uma série de prováveis melhorias ambientais, encontradas na literatura, que podem ocorrer com a aplicação de práticas *Lean*.

O nível médio de concordância obtido face ao conjunto de afirmações é de aproximadamente 3 (nem concordo, nem discordo), o que revela que os participantes não apresentam conhecimento suficiente em relação a esta questão. Na tabela 10 observa-se que os benefícios ambientais mais significativos foram “permitiu reduzir o consumo de energia” e “permitiu reduzir o consumo de materiais” com um valor médio de 3,7, sendo a característica “permitiu reduzir as emissões de gases” a que gerou menor concordância entre os participantes, com um valor médio igual a 3,0.

Tabela 10 – Frequência do impacto da aplicação das ferramentas Lean no desempenho ambiental das organizações convidadas

	Média	Dp	Min	Máx	1	2	3	4	5
Permitiu reduzir o consumo de energia	3,7	1,0	1	5	2,78	4,2	38,9	30,6	23,6
Permitiu reduzir o consumo de materiais	3,7	0,9	1	5	2,78	4,2	33,3	43,1	16,7
Permitiu reduzir o consumo de água	3,5	1,0	1	5	2,78	9,7	41,7	29,2	16,7
Permitiu reduzir a prod. de resíduos sólidos	3,4	0,9	1	5	1,39	11,1	45,8	29,2	12,5
Permitiu reduzir a utilização de embalagens	3,4	0,9	1	5	2,78	8,3	52,8	20,8	15,3
Permitiu diminuir a freq. de acidentes ambientais	3,3	0,9	1	5	4,17	8,3	50,0	26,4	11,1
Permitiu diminuir o cons. de materiais perigosos	3,2	1,0	1	5	4,17	18,1	44,4	22,2	11,1
Permitiu reduzir a prod. de resíduos de efluentes	3,1	1,0	1	5	5,56	18,1	44,4	23,6	8,3
Permitiu reduzir as emissões de gases	3,0	0,9	1	5	6,94	16,7	52,8	19,4	4,2

(1=Discordo totalmente | 2=Discordo | 3=Nem concordo, Nem discordo | 4=Concordo | 5=Concordo totalmente)

Através dos resultados obtidos, afirma-se que não existe um posicionamento claro na perceção dos participantes em relação a todos os itens de desempenho ambiental. Ainda assim, pode-se afirmar que o consumo de energia e de materiais são positivamente influenciados pela implementação das ferramentas *Lean*.

4.2. Estatística inferencial

A estatística inferencial é um processo que possibilita tirar conclusões sobre uma população-alvo com base nos dados que descrevem a amostra e permite calcular a probabilidade de um resultado ter sido obtido por acaso em função do tamanho da amostra (Saunders et al., 2019).

Nesta seção os dados serão analisados através da aplicação de estatística inferencial, recorrendo novamente ao software *IBM SPSS Statistics*, que oferece ferramentas estatísticas de forma a resumir a relação ou diferença entre as variáveis de interesse, permitindo aprofundar o conhecimento sobre os dados obtidos.

Inicialmente, realizou-se o teste do alfa de *Cronbach* para avaliar a consistência e confiabilidade das questões consideradas relevantes para esta investigação, seguindo-se a aplicação de testes de hipóteses, nomeadamente o cálculo do coeficiente de correlação de *Spearman*, que é uma medida de associação capaz de quantificar a intensidade e a direção da associação entre duas variáveis (Marôco, 2014).

4.2.1. Análise de consistência interna

A consistência interna implica correlacionar entre si as respostas às perguntas do questionário e é geralmente calculada através do alfa de *Cronbach*. Esta estatística é utilizada para medir o grau de consistência interna entre os itens de uma escala, variando numericamente entre 0 e 1, sendo que valores superiores de 0,70 indicam uma consistência interna aceitável (Saunders et al., 2019).

De acordo com Leard Statistics (2015), o cálculo deste coeficiente é adequado em inquéritos com perguntas tipo *Likert* para avaliar se a escala é confiável. Nessa lógica, recorreu-se ao cálculo do alfa de *Cronbach* para os dois blocos de questões que se destinam a medir o impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental das organizações, sendo que os itens foram analisados em conjunto e de forma individual para perceber a contribuição de cada um no valor total de alfa.

Em relação à questão que avalia o impacto do ponto de vista operacional, as 12 afirmações combinadas revelaram um alfa de 0,945 (tabela 11). Do ponto de vista individual, verifica-se valores iguais ou superiores a 0,938, sendo que os itens contribuem de forma semelhante para o valor total de alfa e a omissão de qualquer um dos itens não faz variar significativamente esse valor, conforme mostra a tabela 12.

Tabela 11 – Valor do alfa de *Cronbach* para cada item (desempenho operacional)

	Alfa de <i>Cronbach</i> se o item for excluído
Melhorou a produtividade	0,940
Melhorou a eficiência dos recursos	0,940
Melhorou a utilização da capacidade	0,940
Reduziu o tempo do ciclo	0,940
Melhorou a imagem da organização	0,944
Reduziu os custos	0,940
Melhorou prazos de entrega	0,939
Melhorou a satisfação do cliente	0,940
Melhorou a flexibilidade	0,938
Reduziu o nº de produtos defeituosos	0,938
Reduziu os stocks	0,943
Melhorou qualidade do produto	0,940

Tabela 12 – Valor global do alfa de *Cronbach* (desempenho operacional)

Alfa de <i>Cronbach</i>	N de itens
0,945	12

Quanto à perspetiva ambiental, obteve-se um alfa de 0,920 (tabela 13) para o conjunto de 9 características avaliadas pelos participantes. Por item, observa-se valores iguais ou superiores 0,906, com um peso idêntico no valor global do alfa, sendo que exclusão de qualquer um dos itens não afeta significativamente tal valor, como é visível na tabela 14.

Tabela 13 – Valor global do alfa de Cronbach (desempenho ambiental)

Alfa de Cronbach	N de itens
0,920	9

Tabela 14 – Valor do alfa de Cronbach para cada item (desempenho ambiental)

	Alfa de Cronbach se o item for excluído
Permitiu reduzir o consumo de energia	0,911
Permitiu reduzir o consumo de materiais	0,918
Permitiu reduzir o consumo de água	0,906
Permitiu reduzir a prod. de resíduos sólidos	0,912
Permitiu reduzir a utilização de embalagens	0,911
Permitiu diminuir a freq. de acidentes ambientais	0,909
Permitiu diminuir o cons. de materiais perigosos	0,914
Permitiu reduzir a prod. de resíduos de efluentes	0,909
Permitiu reduzir as emissões de gases	0,912

Através da análise aos valores de alfa de *Cronbach* obtido para ambas as escalas, constatou-se que todos os itens apresentam *scores* superiores ao limite identificado na literatura (0,70) e contribuem de forma equivalente para as escalas, o que é um indicativo de elevado nível de consistência interna e assegura a fiabilidade do inquérito aplicado.

4.2.2. Testes de hipóteses

Nesta secção pretende-se avaliar o grau de associação entre variáveis através da realização de testes de hipóteses, sendo que selecionar um teste de hipóteses requer o cumprimento de alguns pré-requisitos. Nesse sentido, tendo em consideração o cumprimento dos critérios necessários para a realização de testes paramétricos, aplicou-se o teste da normalidade de *Kolmogorov Smirnov*, cuja hipótese nula é que os dados estão normalmente distribuídos. Como o resultado do *pvalue* foi inferior a 0,05 para as variáveis em estudo, rejeita-se a hipótese nula e assume-se que os dados da amostra não seguem uma distribuição normal, tendo sido por isso, efetuados testes não paramétricos.

Assim, para correlacionar as variáveis em estudo utilizou-se o coeficiente de correlação de *Spearman* (r) que é uma medida de associação não paramétrica entre duas variáveis ordinais podendo assumir qualquer valor entre +1 e -1 (tabela 15), sendo que um valor de +1 representa uma correlação positiva perfeita, o que significa que as duas variáveis estão fortemente relacionadas e que, à medida que os valores de uma variável aumentam, os valores da outra variável também aumentam. Em contraste, um valor de -1 representa uma correlação negativa perfeita, sugerindo uma forte associação entre as variáveis, isto é, enquanto os valores de uma variável aumentam, os da outra diminuem. Por fim, um valor de 0 significa que as variáveis são perfeitamente independentes (Saunders et al., 2019).

Tabela 15 – Interpretação dos valores do coeficiente de correlação de *Spearman* (adaptado de Saunders et al., 2019)

r (+ ou -)	Interpretação
0,00 - 0,19	Sem correlação
0,20 - 0,34	Correlação fraca
0,35 - 0,59	Correlação moderada
0,59 - 0,79	Correlação forte
0,80 – 1,00	Correlação muito forte

Posto isto, de forma a explorar as associações entre as variáveis principais deste estudo decidiu-se efetuar os seguintes testes de hipóteses:

- Habilitações literárias dos participantes *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações;
- Tempo de atividade das organizações *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações;
- Tempo de introdução das ferramentas *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações;
- Habilitações literárias dos participantes *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações;
- Tempo de atividade das organizações *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações;
- Tempo de introdução das ferramentas *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações.

Para tal, formularam-se as seguintes hipóteses de investigação, similares para todos os testes:

- Hipótese H_0 = As variáveis são independentes;
- Hipótese H_1 = As variáveis não são independentes, isto é, apresentam um grau de associação entre si.

De salientar, que o *SPSS* sinaliza as correlações significativas, assinalando um nível de significância de 0,05 com um asterisco (*) e um nível de significância de 0,01 com dois asteriscos (**). Uma correlação marcada com asterisco(s) indica que se rejeita H_0 ao nível de significância referido, revelando que a correlação em estudo é significativa, o que permite verificar mais rapidamente se existe associação.

Seguidamente, organizados em alíneas, apresenta-se os resultados obtidos para os seis pares de testes realizados, bem como a respetiva interpretação estatística.

a) Habilitações literárias dos participantes *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações

Este teste pretende avaliar a existência de correlação entre as habilitações literárias dos participantes e o grau de concordância com impactos resultantes da implementação de ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações.

O r calculado situa-se entre -0,054 e -0,184 (tabela 16). Esses valores encontram-se entre 0 e -0,19, o que significa que não existe relação entre as variáveis em estudo. Em relação à probabilidade associada encontraram-se em todos os casos um nível de significância superior a 0,05, pelo que não existem evidências que permitam rejeitar a hipótese nula.

Tabela 16 – Correlação entre as habilitações literárias dos participantes e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas Lean no desempenho operacional das organizações

	Habilitações literárias
Melhorou a produtividade	-0,114
Reduziu o tempo do ciclo	-0,138
Melhorou a satisfação do cliente	-0,089
Reduziu os stocks	-0,054
Reduziu os custos	-0,101
Melhorou prazos de entrega	-0,173
Melhorou qualidade do produto	-0,146
Melhorou a flexibilidade	-0,091
Melhorou a eficiência dos recursos	-0,014
Melhorou a imagem da organização	-0,184
Melhorou a utilização da capacidade	-0,048
Reduziu o número de produtos defeituosos	-0,075

Assim, conclui-se que a perceção dos inquiridos face aos impactos das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das empresas não é influenciada pelo seu nível de escolaridade.

b) Tempo de atividade das organizações *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações

Neste caso, pretende-se averiguar se existe associação entre o tempo de atividade da organização e o nível de concordância com impactos decorrentes da implementação de ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações.

A tabela 17 mostra os resultados de r , que se encontram entre -0,087 e 0,176. Esses valores estão compreendidos entre 0 e -0,19 e/ou 0 e 0,19, o que indica nenhum relacionamento entre as variáveis consideradas. No que se refere à probabilidade associada encontraram-se em todos os cenários um nível de significância superior a 0,05, pelo que não existem evidências que permitam rejeitar a hipótese nula.

*Tabela 17 – Correlação entre o tempo de atividade das organizações e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações*

	Tempo de atividade da organização
Melhorou a produtividade	-0,087
Reduziu o tempo do ciclo	-0,057
Melhorou a satisfação do cliente	0,006
Reduziu os stocks	-0,049
Reduziu os custos	-0,071
Melhorou prazos de entrega	0,003
Melhorou qualidade do produto	0,085
Melhorou a flexibilidade	0,068
Melhorou a eficiência dos recursos	0,014
Melhorou a imagem da organização	0,176
Melhorou a utilização da capacidade	0,157
Reduziu o número de produtos defeituosos	0,053

Perante os resultados, afirma-se que não existe relação significativa entre o tempo de atividade das organizações e o grau de concordância dos participantes face aos impactos das ferramentas *Lean* no desempenho operacional.

c) Tempo de introdução das ferramentas *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional das organizações

O presente teste procura analisar a relação entre o tempo de introdução das ferramentas e o grau de concordância com os impactos das ferramentas *Lean* no desempenho operacional.

Conforme é possível observar na tabela 18 existem correlações positivas estatisticamente significativas entre o tempo de introdução das ferramentas e os seguintes impactos operacionais:

- Melhorou a satisfação dos clientes ($r=,416^{**}$);
- Melhorou os prazos de entrega ($r=,244^{*}$);
- Melhorou a flexibilidade ($r=,244^{*}$).

Tabela 18 – Correlação entre o tempo de introdução das ferramentas e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas Lean no desempenho operacional das organizações

	Há quanto tempo foram introduzidas as ferramentas Lean na organização?
Melhorou a produtividade	0,220
Reduziu o tempo do ciclo	0,099
Melhorou a satisfação do cliente	,416^{**}
Reduziu os stocks	0,203
Reduziu os custos	0,21
Melhorou prazos de entrega	,244[*]
Melhorou qualidade do produto	0,187
Melhorou a flexibilidade	,244[*]
Melhorou a eficiência dos recursos	0,132
Melhorou a imagem da organização	0,078
Melhorou a utilização da capacidade	0,106
Reduziu o número de produtos defeituosos	0,131

**** A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).**

*** A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).**

A primeira correlação ($r=,416^{**}$) apresenta um nível de significância elevado (igual ou inferior a 0,01) e uma intensidade moderada, já que o valor obtido para r localiza-se entre 0,35 e 0,59. Em contraste, as restantes correlações apresentam um grau de significância mais reduzido (igual ou inferior a 0,05) e um $r=,244^{*}$ o que reflete uma intensidade fraca (0,20 – 0,34).

Apesar das diferenças entre os níveis de significâncias e a intensidade da correlação, existe evidência estatística suficiente para rejeitar a hipótese nula e afirmar que o tempo de introdução das ferramentas *Lean* está correlacionado positivamente com os impactos identificados. Mais concretamente, quanto mais longo for o tempo de implementação das ferramentas, melhores serão os resultados no desempenho operacional, nomeadamente na satisfação do cliente, nos prazos de entrega e na flexibilidade.

d) Habilitações literárias dos participantes *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações

Este teste foi aplicado para perceber se há relação entre as habilitações académicas dos inquiridos e o nível de concordância com os impactos das ferramentas *Lean* na performance das empresas, agora do ponto de vista ambiental.

Ao realizar o teste de correlação, constatou-se que não existe associação entre as variáveis em análise, já que o r obtido encontra-se entre -0,118 e 0,043 (tabela 19), estando compreendidos entre 0 e -0,19 e/ou 0 e 0,19, o que significa “sem correlação”. Quanto à probabilidade associada encontraram-se em todos os casos um nível de significância superior a 0,05, pelo que não existem evidências que permitam rejeitar a hipótese nula.

Tabela 19 – Correlação entre as habilitações literárias dos participantes e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas Lean no desempenho ambiental das organizações

	Habilitações literárias
Permitiu reduzir as emissões de gases	-0,109
Permitiu reduzir a prod. de resíduos sólidos	-0,118
Permitiu reduzir a prod. de resíduos de efluentes	-0,082
Permitiu diminuir o consumo de materiais perigosos	0,014
Permitiu diminuir a freq. de acidentes ambientais	-0,011
Permitiu reduzir o consumo de materiais	0,043
Permitiu reduzir o consumo de energia	-0,026
Permitiu reduzir o consumo de água	-0,064
Permitiu reduzir a utilização de embalagens	-0,089

Sendo assim, afirma-se a escolaridade dos inquiridos não depende do nível de concordância com os impactos das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações.

e) Tempo de atividade das organizações *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações

Neste teste averigua-se a existência de correlação entre o tempo de atividade das empresas e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações.

Os resultados demonstram a inexistência de coeficientes de correlação significativos, conforme mostra a tabela 20, variando entre -0,007 e -0,160, o que revela nenhuma intensidade nesta relação (-0,19 – 0). Em relação à probabilidade associada encontraram-se em todos os cenários um nível de

significância superior a 0,05, pelo que não existem evidências que permitam rejeitar a hipótese nula.

Tabela 20 – Correlação entre o tempo de atividade das organizações e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas Lean no desempenho ambiental das organizações

	Tempo de atividade da organização
Permitiu reduzir as emissões de gases	0,000
Permitiu reduzir a prod. de resíduos sólidos	-0,068
Permitiu reduzir a prod. de resíduos de efluentes	0,072
Permitiu diminuir o consumo de materiais perigosos	0,160
Permitiu diminuir a freq. de acidentes ambientais	0,096
Permitiu reduzir o consumo de materiais	-0,007
Permitiu reduzir o consumo de energia	-0,059
Permitiu reduzir o consumo de água	-0,048
Permitiu reduzir a utilização de embalagens	-0,081

Deste modo, constatou-se que não existe associação entre o tempo de atividade das organizações e o grau de concordância com os impactos das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações.

f) Tempo de introdução das ferramentas *versus* impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações

Por último, testou-se o relacionamento entre o tempo de introdução das ferramentas e o nível de concordância relativo aos impactos das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental das organizações.

Através da análise dos resultados (tabela 21), verifica-se a existência de correlações positivas estatisticamente significativas entre o tempo de introdução das ferramentas e os seguintes impactos ambientais:

- Permitiu reduzir a produção de resíduos sólidos ($r=,336^{**}$);
- Permitiu diminuir a frequência de acidentes ambientais ($r=,310^{**}$);
- Permitiu reduzir as emissões de gases ($r=,301^{*}$);
- Permitiu reduzir a produção de resíduos de efluentes ($r=,294^{*}$).
- Permitiu diminuir o consumo de materiais perigosos ($r=,291^{*}$).

Tabela 21 – Correlação entre o tempo de introdução das ferramentas e o grau de concordância com os impactos resultantes da implementação de ferramentas Lean no desempenho ambiental das organizações

	Há quanto tempo foram introduzidas as ferramentas Lean na organização?
Permitiu reduzir as emissões de gases	,301*
Permitiu reduzir a prod. de resíduos sólidos	,336**
Permitiu reduzir a prod. de resíduos de efluentes	,294*
Permitiu diminuir o consumo de materiais perigosos	,291*
Permitiu diminuir a freq. de acidentes ambientais	,310**
Permitiu reduzir o consumo de materiais	0,205
Permitiu reduzir o consumo de energia	0,192
Permitiu reduzir o consumo de água	0,103
Permitiu reduzir a utilização de embalagens	0,213

* A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

** A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Todas as correlações identificadas apresentam r entre 0,20 e 0,34, o que revela uma intensidade fraca. As diferenças que existem são ao nível da probabilidade associada, sendo que as duas correlações iniciais ($r=,336^{**}$ / $r=,310^{**}$) exibem um nível de significância elevado (igual ou inferior a 0,01) e as restantes ($r=,301^{*}$ / $r=,294^{*}$ / $r=,291^{*}$) um grau de significância menor (igual ou inferior a 0,05). Ainda assim, existe evidência estatística suficiente para rejeitar a hipótese nula e afirmar que o tempo de introdução das ferramentas *Lean* está correlacionado positivamente com os impactos nomeados. Mais concretamente, quanto mais longo for o tempo de implementação das ferramentas, melhor serão os níveis de desempenho ambiental, particularmente na gestão de resíduos sólidos e efluentes, na frequência de acidentes ambientais, no consumo de materiais perigosos e nas emissões de gases.

4.3. Discussão de resultados

O foco deste estudo foi investigar o nível de impacto das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental utilizando dados recolhidos de 72 organizações industriais portuguesas.

Para a recolha dos dados elaborou-se um questionário e foi utilizada uma escala de *Likert* com 5 estágios, variando entre “discordo totalmente” e “totalmente de acordo”, para medir o grau de concordância dos participantes em relação a um conjunto de afirmações.

Para avaliar a validade e confiabilidade das escalas de medição utilizadas neste estudo, realizou-se o teste do alfa de *Cronbach*, sendo que todos os valores obtidos estão dentro dos valores aceitáveis ($\geq 0,70$), o que sugere uma boa consistência interna.

Verificou-se que os 5S (90,3%) e a gestão visual (81,9%) são as ferramentas *Lean* mais usadas pelas empresas em estudo, o que pode ser justificado pelo facto de serem práticas que apresentam custos de implementação baixos, são fáceis de aplicar e não exigem formação personalizada dos colaboradores.

Do ponto de vista operacional, os valores médios das respostas baseadas nas percepções dos participantes concentram-se em torno dos 4 (“concordo”) para todos os benefícios trazidos pela implementação das ferramentas. Estes resultados vão ao encontro de diversas pesquisas que sugerem uma influência positiva das práticas *Lean* em termos operacionais (Khanchanapong et al., 2014; Negrão et al., 2017).

Quanto à perspectiva ambiental, não se verificou unanimidade nas médias das respostas. A maioria dos itens de desempenho ambiental apresentam um nível médio de concordância de aproximadamente 3 (“não concordo nem discordo”), o que reflete falta de conhecimento dos inquiridos face as afirmações. Ainda assim, existem impactos que se destacam com médias próximas de 4 (“concordo”), nomeadamente “permitiu reduzir o consumo de energia” e “permitiu reduzir o consumo de materiais”, que são positivamente afetados pela implementação de ferramentas *Lean* na população em estudo, corroborando estudos anteriores que evidenciaram relações positivas entre várias práticas *Lean* e os benefícios encontrados nesta investigação (Garza-Reyes et al., 2018; Dieste et al., 2019).

A análise de correlação de *Spearman* fornece evidências da existência de correlações positivas estatisticamente significativas entre o tempo de introdução das ferramentas e o grau de concordância com os impactos, tanto a nível operacional como ambiental. No que refere ao desempenho operacional, os resultados revelaram a importância do tempo de implementação das ferramentas na obtenção de níveis mais elevados de desempenho, nomeadamente na satisfação dos clientes ($r=,416^{**}$), nos prazos de entrega ($r=,244^{*}$) e na flexibilidade ($r=,244^{*}$). Este resultado é apoiado por pesquisas anteriores que encontraram o mesmo relacionamento (Wickramasinghe & Wickramasinghe, 2017; Sahoo & Yadav, 2018). Relativamente ao desempenho ambiental, verificou-se que as empresas com mais anos de implementação de ferramentas experimentam melhores resultados ambientais ao nível da produção de resíduos sólidos ($r=,336^{**}$), da frequência de acidentes ambientais ($r=,310^{**}$), das emissões de gases ($r=,301^{*}$), da produção de resíduos de efluentes ($r=,294^{*}$) e do consumo de materiais perigosos ($r=,291^{*}$), sendo que para este caso, não foram encontradas publicações na literatura que investigassem esta associação.

Testaram-se também possíveis associações entre outras variáveis, mas não tiveram impacto na percepção dos participantes, nomeadamente as habilitações literárias e o tempo de atividade das organizações. Em contraste com os resultados obtidos, Shah & Ward (2003) argumentam que a idade da empresas está negativamente associada ao desempenho operacional.

5. CONCLUSÃO

Nesta secção realiza-se uma síntese completa do trabalho realizado, que inclui a apresentação das principais contribuições. Além disso, serão abordadas algumas limitações da pesquisa e potenciais sugestões para investigações futuras.

5.1. Conclusões finais

O presente estudo iniciou-se com uma revisão sistemática da literatura sobre a integração *Lean Green* visando investigar a relação entre o *Lean Manufacturing* e o *Green Manufacturing* e perceber de que forma contribuem para o desempenho das empresas. Para tal, reuniu-se as principais contribuições existentes no *Lean Manufacturing*, com interesse particular na sua aplicação e articulação com aspetos ambientais.

Partindo daí, realizou-se um inquérito às organizações industriais portuguesas com o objetivo de entender o efeito das práticas *Lean* na sua performance sob as perspetivas operacional e ambiental, tendo-se obtido 109 questionários preenchidos, o que corresponde a uma taxa de resposta de 15,9 %.

Dos inquiridos, a maioria afirmou que as empresas apresentavam ferramentas *Lean* implementadas ($n=72;80,0\%$), sendo o tratamento estatístico realizado apenas para essas respostas.

Verificou-se que a metodologia 5S é a prática mais amplamente utilizada na indústria portuguesa com 90,3%, seguido pela gestão visual com 81,9%. Além disso, eventos *Kaizen*, *Kanban*, *Standard Work*, VSM, SMED e o *Poka-Yoke* apresentam um nível de implementação significativo, superior a 50%.

Os impactos das ferramentas *Lean* foram avaliados com base no grau de concordância dos participantes segundo uma escala de *Likert* de 5 estágios. Em relação ao desempenho operacional, os inquiridos demonstraram inclinação à concordância com uma média de aproximadamente 4 (“concordo”) para todos os benefícios trazidos pela implementação das ferramentas. Quanto ao desempenho ambiental, apesar da maioria dos itens apresentam um nível médio de concordância de aproximadamente 3 (“não concordo nem discordo”), existem impactos que revelam maior concordância dos participantes, nomeadamente “reduziu o consumo de energia” e “reduziu o consumo de materiais”, com um valor médio em torno de 4.

Realizaram-se também testes de hipóteses para identificar potenciais associações entre variáveis, sendo que os resultados deste estudo revelaram correlações positivas estatisticamente significativas entre o tempo de introdução das ferramentas *Lean* e os impactos nomeados. No desempenho operacional, nomeadamente na satisfação dos clientes ($r=,416^{**}$), nos prazos de entrega ($r=,244^{*}$) e na flexibilidade ($r=,244^{*}$); e no desempenho ambiental, nomeadamente, na produção de resíduos sólidos ($r=,336^{**}$), na frequência de acidentes ambientais ($r=,310^{**}$), nas emissões de gases ($r=,301^{*}$), na produção de resíduos de efluentes ($r=,294^{*}$) e no consumo de materiais perigosos ($r=,291^{*}$). Isto significa que essas variáveis tendem a aumentar juntas, isto é, quanto mais longo for o tempo de implementação das ferramentas, melhor serão os níveis de desempenho para dimensões acima identificadas. Mais concretamente, empresas mais

familiarizadas com a metodologia *Lean* e com práticas progressivamente aprimoradas tendem a obter melhores resultados do as que estão numa fase inicial.

Em suma, esta investigação aborda a relação entre ferramentas *Lean* e o desempenho operacional/ambiental. Os resultados mostram que a implementação de tais práticas pode melhorar simultaneamente o desempenho operacional e ambiental das organizações, sendo consistentes com outros estudos encontrados na literatura, corroborando a ideia de convergência entre as abordagens *Lean e Green*. A principal descoberta remete para as associações acima descritas, que fornecem evidências que vinculam o tempo de introdução das ferramentas *Lean* e os resultados operacionais/ambientais das empresas.

Por fim, este trabalho fornece *insights* interessantes sobre os efeitos das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental, contribuindo para encorajar as organizações portuguesas a implementá-las de forma a melhorar a sua competitividade.

5.2. Limitações e investigação futura

Esta dissertação apresenta certas limitações que fornecem caminhos para novas investigações. A primeira limitação deste estudo é a baixa taxa de resposta ao questionário (15,9%) combinada com um reduzido tamanho da amostra (72 respostas válidas), que fica aquém em comparação a outros estudos semelhantes. Em segundo lugar, é uma pesquisa limitada à indústria portuguesa, o que impede a generalização dos resultados, sendo que estes podem não ser diretamente aplicáveis considerando contextos diferentes.

Assim, no futuro, o tamanho da amostra deveria ser aumentado e o questionário expandido a outros países para obter resultados mais confiáveis e permitir a sua generalização. Além disso, deveriam ser introduzidas novas variáveis para avaliar potenciais associações, como por exemplo, a dimensão das empresas participantes, o que permitiria estudar a influência do número de colaboradores sobre os resultados de desempenho operacional e ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M. F., Alves, A. C., & Moreira, F. (2017). Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production. *Energy*, 137, 846–853. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.016>
- Abualfaraa, W., Salonitis, K., Al-Ashaab, A., & Ala'raj, M. (2020). Lean-green manufacturing practices and their link with sustainability: A critical review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su12030981>
- Azevedo, B. M. M. (2011). Modelo de implementação de sistema de produção Lean no INESC Porto. *Dissertação de Mestrado*, 81. https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57695/1/000145924.pdf%0Ahttp://digitool.fe.up.pt:1801/webclient/DeliveryManager?custom_att_2=simple_viewer&metadata_request=false&pid=234067
- Azevedo, S. G., Carvalho, H., & Cruz Machado, V. (2011). The influence of green practices on supply chain performance: A case study approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 850–871. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.017>
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), 5346–5366. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.903348>
- Belhadi, A., Touriki, F. E., & El Fezazi, S. (2018). Benefits of adopting lean production on green performance of SMEs: a case study. *Production Planning and Control*, 29(11), 873–894. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1490971>
- Bruntland, G. H. (1987). World commission on environment and development. *Our Common Future*, 17, 43–66.
- Chen, P. K., Fortuny-Santos, J., Lujan, I., & Ruiz-de-Arbulo-López, P. (2019). Sustainable manufacturing: Exploring antecedents and influence of Total Productive Maintenance and lean manufacturing. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(11), 1–16. <https://doi.org/10.1177/1687814019889736>
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Hurley, B., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Anosike, A., & Batista, L. (2019). Green and lean: a Gemba–Kaizen model for sustainability enhancement. *Production Planning and Control*, 30(5–6), 385–399. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501808>
- Chiarini, A. (2014). Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: An empirical observation from European motorcycle component manufacturers. *Journal of Cleaner Production*, 85, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.080>
- Collis, J., & Hussey, R. (2013). *Business research: A practical guide for undergraduate and postgraduate students*. Macmillan International Higher Education.
- Costa, E. S. M. da, Sousa, R. M., Bragança, S., & Alves, A. C. (2013). An industrial application of the SMED methodology and other lean production tools. *4th International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, 1(i), 1–8. <https://doi.org/10.13140/2.1.2099.5525>

- da Silva, F. J. G., & Gouveia, R. M. (2020). *Cleaner Production*. Springer.
- Deif, A. M. (2011). A system model for green manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 19(14), 1553–1559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.022>
- Denyer, D., & Tranfield, D. (2009). *Producing a systematic review*.
- Dieste, M., Panizzolo, R., Garza-Reyes, J. A., & Anosike, A. (2019). The relationship between lean and environmental performance: Practices and measures. *Journal of Cleaner Production*, 224, 120–131.
- Elkington, J. (1998). Triple bottom line.pdf. *Environmental Quality Management*, 8(1), 37–51. <https://doi.org/10.1002>
- EPA. (2011). Lean, energy & climate toolkit. *United States Environmental Protection Agency*, 50. <https://doi.org/EPA-100-K-07-003>
- Fercoq, A., Lamouri, S., & Carbone, V. (2016). Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. *Journal of Cleaner Production*, 137, 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.107>
- Galeazzo, A., Furlan, A., & Vinelli, A. (2014). Lean and green in action: Interdependencies and performance of pollution prevention projects. *Journal of Cleaner Production*, 85, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.015>
- Garetti, M., & Taisch, M. (2012). Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production Planning & Control*, 23(2–3), 83–104.
- Garza-Reyes, J. A. (2015a). Green lean and the need for Six Sigma. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(3), 226–248. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2014-0010>
- Garza-Reyes, J. A. (2015b). Lean and green-a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, 102, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.064>
- Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Chaikittisilp, S., & Tan, K. H. (2018). The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Economics*, 200(April), 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.030>
- Ghobadian, A., Talavera, I., Bhattacharya, A., Kumar, V., Garza-Reyes, J. A., & O'Regan, N. (2020). Examining legitimatisation of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability. *International Journal of Production Economics*, 219, 457–468. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.06.001>
- Henao, R., Sarache, W., & Gómez, I. (2019). Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 208, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.116>
- Hines, P., & Taylor, D. (2000). *Going lean*.
- Holcomb, Z. C., & Cox, K. S. (2017). *Interpreting basic statistics: A workbook based on excerpts from journal articles*. Routledge.

- Inman, R. A., & Green, K. W. (2018). Lean and green combine to impact environmental and operational performance. *International Journal of Production Research*, 56(14), 4802–4818. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1447705>
- Iranmanesh, M., Zailani, S., Hyun, S., & Ali, M. H. (2019). Impact of Lean Manufacturing Practices on Firms' Sustainable Performance: Lean Culture as a Moderator. *Sustainability*, 11, 1–20. <https://doi.org/10.3390/su11041112>
- Khanchanapong, T., Prajogo, D., Sohal, A. S., Cooper, B. K., Yeung, A. C. L., & Cheng, T. C. E. (2014). The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance. *International Journal of Production Economics*, 153, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.021>
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *MIT Sloan Management Review*, 30(1), 41.
- Leme, R. D., Nunes, A. O., Message Costa, L. B., & Silva, D. A. L. (2018). Creating value with less impact: Lean, green and eco-efficiency in a metalworking industry towards a cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 196, 517–534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.064>
- Liang, S. (2019). Development and Application of Green Manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 631(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/631/3/032010>
- Liker, J. K. (2004). *Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Lun, Y. H. V. (2011). Green management practices and firm performance: A case of container terminal operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 559–566. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2010.12.001>
- Marôco, J. (2014). *Análise estatística com o SPSS statistics*. ReportNumber.
- Mittal, V. K., Sindhwani, R., Kalsariya, V., Salroo, F., Sangwan, K. S., & Singh, P. L. (2017). Adoption of Integrated Lean-Green-Agile Strategies for Modern Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 61, 463–468. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.189>
- Mollenkopf, D., Stolze, H., Tate, W. L., & Ueltschy, M. (2010). Green, lean, and global supply chains. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(1–2), 14–41. <https://doi.org/10.1108/09600031011018028>
- Monden, Y. (2011). *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. Productivity Press.
- Morais, C. (2010). Descrição , análise e interpretação de informação quantitativa Escalas de medida , estatística descritiva e inferência estatística Índice. *Instituto Politécnico de Bragança*, 15, 31.
- Nations, U. (2019). *World population prospects 2019*.

- Negrão, L. L. L., Godinho Filho, M., & Marodin, G. (2017). Lean practices and their effect on performance: a literature review. *Production Planning and Control*, 28(1), 33–56. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1231853>
- Ng, R., Low, J. S. C., & Song, B. (2015). Integrating and implementing Lean and Green practices based on proposition of Carbon-Value Efficiency metric. *Journal of Cleaner Production*, 95, 242–255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.043>
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Pampanelli, A. B., Found, P., & Bernardes, A. M. (2014). A Lean & Green Model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*, 85, 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.014>
- Pereira, N. M., & Cruz, D. (2013). *Implementação de ferramentas Lean Manufacturing no processo de injeção de plásticos*. https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26677/1/Dissertacao_MIEGI_NunoCruz_2013.pdf
- Rose, A.M.N., Deros, B.Md., Rahman, M.N.Ab. & Nordin, N. (2011). Lean manufacturing best practices in SMEs. *International Conference on Industrial Engineering and Operation Management*, 1(1), 872–877.
- Roslin, E. N., & Shahadat, S. A. M. (2014). A Conceptual Model for Full-Blown Implementation of Lean Manufacturing System in Malaysian Automotive Industry. *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7-9. 2014*, 1309–1315. <http://iieom.org/ieom2014/pdfs/292.pdf>
- Rossi, M., Rossini, M., & Terzi, S. (2020). *Proceedings of the 6th European Lean Educator Conference: ELEC 2019*. Springer International Publishing. <https://books.google.pt/books?id=KIY9zQEACAAJ>
- Rothenberg, S., Pil, F. K., & Maxwell, J. (2001). Lean, green, and the quest for superior environmental performance. *Production and Operations Management*, 10(3), 228–243.
- Rusinko, C. (2007). Green manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(3), 445–454.
- Sahoo, S., & Yadav, S. (2018). Lean production practices and bundles: a comparative analysis. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9(3), 374–398. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-01-2017-0002>
- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students*. Pearson. <https://books.google.pt/books?id=LtiQvwEACAAJ>
- Savitz, A. W., & Weber, K. (2006). The Triple Bottom Line How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social, and Environmental Success— and How You Can Too. In *Trusteeship* (Vol. 16, Issue 5). <http://ezproxy.bethel.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ883591&site=ehost-live&scope=site%5Cnhttp://agb.org/trusteeship/2008/septemberoctober/bottom-line-bottom-line>

- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2), 129–149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Silva, S., Sá, J. C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., & Santos, G. (2020). Lean Green—The Importance of Integrating Environment into Lean Philosophy—A Case Study. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 122, 211–219. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41429-0_21
- Simboli, A., Taddeo, R., & Morgante, A. (2014). Value and Wastes in Manufacturing. An Overview and a New Perspective Based on Eco-Efficiency. *Administrative Sciences*, 4(3), 173–191. <https://doi.org/10.3390/admsci4030173>
- Statistics, L. (2015). Cronbach's alpha using SPSS Statistics. *Statistical Tutorials and Software Guides*.
- Teixeira, P., Sá, J. C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Santos, G., & Fontoura, P. (2021). Connecting lean and green with sustainability towards a conceptual model. *Journal of Cleaner Production*, 322(September), 129047. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129047>
- Ulutas, B. (2011). An application of SMED methodology. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 79(July 2011), 100–103.
- US EPA. (2007). The Lean and Environment Toolkit. *Prevention*, 96. <http://www.epa.gov/lean>
- Vaz, P. J. A. (2015). *A metodologia lean e o seu impacto na produção sustentável*.
- Wickramasinghe, G. L. D., & Wickramasinghe, V. (2017). Implementation of lean production practices and manufacturing performance: The role of lean duration. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(4), 531–550. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2016-0112>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Updated: James P. Womack, Daniel T. Jones. *Simon & Schuster*, May. <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). A Máquina Que Mudou o Mundo. In *World*. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(92\)90400-V](https://doi.org/10.1016/0024-6301(92)90400-V)
- Zameer, H., Wang, Y., & Yasmeen, H. (2020). Reinforcing green competitive advantage through green production, creativity and green brand image: Implications for cleaner production in China. *Journal of Cleaner Production*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119119>
- Zammori, F., Braglia, M., & Frosolini, M. (2011). Stochastic overall equipment effectiveness. *International Journal of Production Research*, 49(21), 6469–6490. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.519358>

ANEXO A

Corpo do e-mail:

A/C do(a) Responsável pela Produção/ Qualidade/ Ambiente/ Melhoria Contínua

Exmo(a) Senhor(a),

Venho por este meio solicitar a sua contribuição para um projeto de investigação inserido no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Este questionário tem como objetivo perceber os efeitos da aplicação das ferramentas *Lean* no desempenho operacional e ambiental das organizações industriais portuguesas, sendo que a sua participação é importante para o sucesso deste estudo.

O preenchimento do questionário é realizado através do seguinte endereço: <https://forms.gle/EBYW6epVWGkFV15t5> e toda a informação partilhada é anónima, confidencial e para uso estritamente académico.

Atentamente,

Bruno Azevedo

Aluno do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial