

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA - CCGT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - PPGEPS

MARCOS JOSÉ ALVES PINTO JUNIOR

**DESIGN FOR ENVIRONMENT E LEAN MANUFACTURING:
UMA RELAÇÃO PARA O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO**

SOROCABA
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA - CCGT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - PPGEPS

MARCOS JOSÉ ALVES PINTO JUNIOR

**DESIGN FOR ENVIRONMENT E LEAN MANUFACTURING:
UMA RELAÇÃO PARA O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Prof^a. Dra. Juliana Veiga Mendes

SOROCABA
2016

Pinto Junior, Marcos José Alves

Design for Environment e Lean Manufacturing: uma relação para o ciclo de desenvolvimento do produto / Marcos José Alves Pinto Junior. -- 2016. 175 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Juliana Veiga Mendes

Banca examinadora: Luis Antônio de Santa-Eulália, Kleber Francisco Esposto

Bibliografia

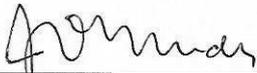
1. Design for Environment. 2. Lean Manufacturing. 3. Ciclo de desenvolvimento do produto. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

MARCOS JOSÉ ALVES PINTO JUNIOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão de Operações.

Sorocaba, 27 de junho de 2016.

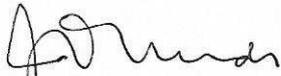
Orientador (a):



Prof. (a). Dr. (a). Juliana Veiga Mendes
UFSCar/DEP-So

Examinadores (as):

Certifico que a sessão de defesa foi realizada com a participação à distância do membro Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto (USP/EESC), Prof. Dr. Luis Antônio Santa-Eulália (Université de Sherbrooke) e, depois das arguições e deliberações realizadas, o participante à distância está de acordo com o conteúdo do parecer da comissão examinadora redigido no relatório de defesa de Dissertação de Marcos José Alves Pinto Junior.



Prof. (a). Dr. (a). Juliana Veiga Mendes
Presidente da Comissão Examinadora
UFSCar/DEP-So

DEDICATÓRIA

*A minha mãe Neiva por todo amor, lição de vida e ensinamento;
e minha noiva Gabriela por todo carinho, incentivo e motivação juntos.*

EPIGRAFE

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.*

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

A Deus, razão de minha existência e motivo dos momentos de alegria em minha vida.

A Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba, que me suportou como aluno com muito respeito e ética durante esta jornada de conhecimento. Em especial a Érica, que dedica muito do seu tempo aos alunos com informações e ações acadêmicas para formação dos alunos.

A minha orientadora professora Doutora Juliana Veiga Mendes, que muito ensinou e dedicou para a realização deste trabalho. Agradeço muito pelo carinho e compreensão em todos os momentos que propôs ajudar, sendo muitas vezes fora do horário de trabalho. Merece todo o reconhecimento.

Aos professores Doutores Luis Antônio de Santa-Eulália e Kleber Francisco Esposto, pelas contribuições, direcionamentos e confiança.

A minha mãe Neiva, pela alegria e amor durante toda minha jornada acadêmica e profissional. Por todas as barreiras e limitações já vencidas.

A minha noiva Gabriela, por todo incentivo, motivação e carinho. Por sempre me acompanhar em todos os momentos, buscando juntos nossos objetivos.

Aos meus amigos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSCar – Sorocaba, que fizeram parte de minha formação e contribuíram de alguma forma; aos amigos e alunos da ETEC Dr. Carolino da Motta e Silva, que muitos ajudaram e compreenderam a importância desta formação em minha vida.

A todos, que de forma direta e indireta fizeram parte de minha formação. Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

PINTO JUNIOR, M. J. A. Design for Environment e Lean Manufacturing: uma relação para o ciclo de desenvolvimento do produto. 2016. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2016.

Esta pesquisa é um estudo exploratório apresentando o Design for Environment - DfE como sendo uma das práticas de gestão ambiental em Ecologia Industrial no ciclo de desenvolvimento do produto. O DfE deve examinar todo o ciclo de vida de um produto, como seu desenvolvimento, fabricação, uso e disposição final propondo alterações no projeto, de forma a minimizar seu impacto ambiental. Esta técnica de projeto de produto possibilita atingir os objetivos usuais em sua concepção, como desempenho, confiabilidade e custo de manufatura. Estes em conjunto com os objetivos ambientais, por exemplo a redução em danos ambientais, redução do uso de recursos naturais, incremento da eficiência energética e reciclagem de materiais. Desta forma, há necessidade de substituição quase obrigatória para alguns tipos de produto. Todavia, a rápida substituição desses produtos, assim como o seu descarte pode gerar sérios problemas ambientais, pelo volume, pelos materiais em sua composição que demoram muito tempo para se decompor, tais como: o plástico, o vidro e o metal, mas, especialmente, por causa dos metais pesados que pode o compor, são altamente prejudiciais à saúde humana. Não sendo suficiente, ainda faltam locais apropriados para a disposição final de muitos produtos em desuso. O crescimento do contingente de consumidores que preferem comprar produtos e serviços que respeitem a natureza é um dos fatores que impulsiona o tratamento dos problemas ambientais, além da rápida popularização de produtos e obsolescência de alguns modelos. Os aspectos de redução de recursos naturais podem ser desenvolvidos em uma empresa que contemplem um ambiente de Lean Manufacturing que objetiva uma redução de desperdícios, buscando a melhoria da produtividade e da qualidade. Essa relação contribuir para o desenvolvimento sustentável sugerindo a existência de um ambiente propício para a realização de esforços voltados para a redução ou eliminação de desperdícios. Por meio de um estudo de caso foi possível evidenciar que práticas de DfE tem relação com algumas ferramentas de Lean, sendo parte de seu propósito. Também algumas ferramentas que a empresa utiliza exercem influência ambientais, podendo ser aplicadas na concepção do produto para minimização do impacto ambiental. Assim, este trabalho apresenta as práticas observadas por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática comparando com o caso estudado e as práticas de DfE que se relacionam com o Lean.

Palavras-chave: Design for Environment. Lean Manufacturing. Ciclo de desenvolvimento do produto.

ABSTRACT

PINTO JUNIOR, M. J. A. Design for Environment and Lean Manufacturing: a relationship to the product development cycle. 2016. 175 f. Dissertation (Master in Production Engineering) – Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2016.

This research is an exploratory study presenting the Design for Environment - DfE as one of the environmental management practices in Industrial Ecology in the product development cycle. The DfE should examine the entire life cycle of a product, such as its development, manufacture, use and disposal proposing changes to the project in order to minimize its environmental impact. This product design technique makes it possible to achieve the usual goals in their design, such as performance, reliability and cost of manufacturing. These together with environmental goals, for example to reduce environmental damage, reduced use of resources, increasing energy efficiency and material recycling. Thus, there is need for replacement almost obligatory for some product types. However, the rapid replacement of these products, as well as its disposal can create serious environmental problems, by volume, the material in its composition that take a long time to decompose, such as plastic, glass and metal, but especially because of the heavy metals that can compose, are highly damaging to human health. Not being enough, there are still suitable locations for disposal of many products into disuse. The growth of the contingent of consumers who prefer to buy goods and services that respect the nature is one of the factors that drives the treatment of environmental problems, in addition to the rapid popularization of products and obsolescence of some models. Aspects of reduction of natural resources can be developed into a company that include one Lean Manufacturing environment that aims at a reduction of waste, seeking to improve productivity and quality. This relationship contribute to sustainable development suggesting the existence of an enabling environment for the realization of efforts aimed at reducing or eliminating waste. Through a case study it became clear that DfE practices is related to some Lean tools, as part of its purpose. Also some tools that the company uses environmental exert influence, may be applied in product design to minimize the environmental impact. This work presents the practices observed by a Literature Review Systematic comparison with the case study and the DfE practices that relate to Lean.

Keywords: Design for Environment. Lean Manufacturing. Product development cycle.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Benefícios do DfE.....	24
FIGURA 2 – Esquema geral da dissertação	26
FIGURA 3 – Características do desenvolvimento de produto por processo tradicional	31
FIGURA 4 – Características do desenvolvimento de produto por considerações DfE	31
FIGURA 5 – Representação conceitual do bloqueio ambiental no ciclo de vida do produto.....	33
FIGURA 6 – Evolução temporal do campo de pesquisa sobre DfE base de dados WoS.....	38
FIGURA 7 – Evolução temporal do campo de pesquisa sobre DfE base de dados Scopus.....	39
FIGURA 8 – Framework holístico para design industrial focada em ferramentas de DfE	46
FIGURA 9 – Representação típica do ciclo de vida.....	47
FIGURA 10 – Estímulos e barreiras mais influentes e os dez princípios do DfE de maior sucesso.....	50
FIGURA 11 – Proposta de produção mais limpa com enfoque em ecodesign e logística reversa	53
FIGURA 12 – Framework conceitual relacionando DfE e Lean Manufacturing.....	70
FIGURA 13 – PCs móveis, tablets roteadores móveis e smartphones com conexão celular 2009-2018	72
FIGURA 14 – Etapas do procedimento metodológico utilizado.....	77
FIGURA 15 – Fases da análise de conteúdo	85
FIGURA 16 – Processo para categorização da análise de conteúdo	86
FIGURA 17 – Processo para desenvolvimento do caso visando os objetivos desta pesquisa	88
FIGURA 18 – O sistema Lean Manufacturing da Delta	91
FIGURA 19 – Modelo de implementação e construção do Sistema de Gestão Ambiental da Delta.....	95
FIGURA 20 – Mapeamento de relação do DfE com o Lean na Delta	107
FIGURA 21 – Práticas de DfE relacionadas com ferramentas Lean na Delta	108

FIGURA 22 – Contribuições de ferramentas Lean aplicadas na concepção do produto do produto na Delta.....	109
FIGURA 23 – Modelo para condução de RBS	138
FIGURA 24 – Modelo para condução de RBS	144
FIGURA 25 – Diagrama de Ishikawa para redução de energia elétrica da Delta	166
FIGURA 26 – Gráfico de Pareto para consumo de energia elétrica da Delta	167
FIGURA 27 – Indicadores mensais para verificação do consumo de água	169
FIGURA 28 – Diagrama de Ishikawa para redução do consumo de água da Delta.....	170
FIGURA 29 – Gráfico de Pareto para consumo de água da Delta	171
FIGURA 30 – Fluxo de contaminação da pasta de solda.....	175

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Periódicos dos trabalhos selecionados para RBS de Design for Environment	42
TABELA 2 – Síntese da análise da RBS para Design for Environment	59
TABELA 3 – Síntese da análise da RBS para Design for Environment quantitativa	60
TABELA 4 – Resultado detalhamento de buscas	142
TABELA 5 – Plano de redução de energia elétrica da Delta	168
TABELA 6 – Plano de redução do consumo de água da Delta	171
TABELA 7 – Nível de melhoria em aspectos para redução do consumo de água	172

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – DfX’s mais utilizados e seus objetivos	30
QUADRO 2 – Ferramentas DfE e suas definições mediante literatura.....	35
QUADRO 3 – Agrupamento das ferramentas DfE por forma de trabalho.....	37
QUADRO 4 – Resumo da RBS para Design for Environment	38
QUADRO 5 – Trabalhos selecionados para RBS base de dados WoS e Scopus.....	40
QUADRO 6 – Análise SWOT para implementação do DfE em indústrias na Malásia.....	52
QUADRO 7 – Práticas de Design for Environment na literatura pela RBS.....	61
QUADRO 8 – Resumo da RBS para Design for Environment	69
QUADRO 9 – Características e riscos de substâncias tóxicas de lixo eletrônico	74
QUADRO 10 – Métodos de pesquisa e suas definições.....	79
QUADRO 11 – Ferramentas Lean divididas em níveis de complexidade pela Delta	90
QUADRO 12 – Práticas de Design for Environment da Delta.....	97
QUADRO 13 – Relação de práticas de DfE da literatura e da Delta	99
QUADRO 14 – Práticas de DfE da Delta não citadas na literatura.....	100
QUADRO 15 – Práticas de DfE da literatura não observadas pela Delta	101
QUADRO 16 – Análise de conteúdo da pesquisa	111
QUADRO 17 – Referências primárias da RBS do Design for Environment	140
QUADRO 18 – Palavras-chave para RBS do Design for Environment.....	140
QUADRO 19 – Strings de busca utilizadas nas bases de dados para RBS Design for Environment	140
QUADRO 20 – Endereço eletrônico para bases de dados utilizadas RBS Design for Environment	142
QUADRO 21 – Referências primárias da RBS do Design for Environment e Lean Manufacturing.....	146
QUADRO 22 – Palavras-chave para RBS do Design for Environment e Lean Manufacturing	146
QUADRO 23 – Strings de busca utilizadas nas bases de dados para RBS Design for Environment e Lean Manufacturing.....	147
QUADRO 24 – Endereços eletrônico para bases de dados utilizadas RBS Design for Environment e Lean Manufacturing.....	148

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEA	American Eletronics Association
ASTRD	Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças
BFRs	Retardadores de Chama Bromados
BOM	Bill of Material
C2C	Cradle to Cradle
CEO	Chief Executive Officer
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CO2	Dióxido de Carbono
DfA	Design for Assembly
DfC	Design for Compliance
DfE	Design for Environment
DfM	Design for Manufacturability
DfO	Design for Orderability
DfR	Design for Reliability
DfS	Design for Serviceability
DfSL	Design for Safety and Liability Prevention
DfT	Design for Testability
DfX	Design for X
DJSI	Dow Jones Sustainability Indexes
EPA	Environmental Protection Agency

EPI	Equipamento de Proteção Individual
FIFO	First In First Out
GHG	Green House Gas
GPS	Global Positioning System
GREENESYS	Green Engineering Expert System
IMSS	International Manufacturing Strategy Survey
In	Índio
ISO	International Organization for Standardization
JIT	Just in Time
KW	Kilowatt
KWd	Kilowatt dia
LCA	Life Cycle Assessment
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NBR	Norma Brasileira
PBB	Bifenil Polibromado
PBDE	Éter Difenil Polibromado
PCBs	Bifenilos Policlorados
PDA	Personal Digital Assistant
PDCA	Plan, do, check, act
PM-LCA	Process Modelling and Life Cycle Assessment
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Cloreto de Polivinila
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals

REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
ROHS	Restriction of Hazardous Substances Directive
SAM	Sustainable Asset Management
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SMT	Surface Mount Technology
STP	Sistema Toyota de Produção
SVSM	Sustainable Value Stream Map
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TBBPA	Tetrabromobisfenol-A
TI	Tecnologia da Informação
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WoS	Web of Science

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Apresentação	19
1.2 Problema de pesquisa	21
1.3 Objetivos da pesquisa	23
1.4 Justificativa.....	23
1.5 Esquema geral da dissertação	26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1 Design for Environment	27
2.1.1 Resultados da RBS para Design for Environment.....	37
2.1.2 Análise dos resultados da RBS para Design for Environment.....	55
2.2 Lean Manufacturing	64
2.2.1 Resultados da RBS para Design for Environment e Lean Manufacturing.....	69
2.3 Indústria de eletrônicos.....	70
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	77
3.1 Método de investigação	78
3.1.1 Definição da unidade-caso e determinação do número de casos.....	80
3.1.2 Elaboração do protocolo	81
3.1.3 Coleta de dados.....	83
3.1.4 Avaliação e análise dos dados	83
3.1.5 Preparação do relatório	87
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	88
4.1 Apresentação da Delta	88
4.2 Lean Manufacturing na Delta	89
4.3 Design for Environment na Delta.....	92
4.4 Relação do Design for Environment com o Lean Manufacturing na Delta	103
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
5.1 Atendimento aos objetivos propostos.....	116
5.2 Limitações da pesquisa.....	117
5.3 Sugestões para pesquisas futuras	117

REFERÊNCIAS	119
APÊNDICE A	138
APÊNDICE B.....	144
APÊNDICE C	149
APÊNDICE D	152
APÊNDICE E.....	154
APÊNDICE F.....	158
APÊNDICE G	162
APÊNDICE H.....	164
APÊNDICE I.....	166

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo é composto por uma introdução a esta pesquisa, dividido por uma apresentação (1.1) dos temas a serem discutidos, o problema de pesquisa (1.2) que foi tratado neste trabalho, o objetivo da pesquisa (1.3), a justificativa (1.4) para a pesquisa e o esquema geral da dissertação (1.5) apresentado pela Figura 2.

1.1 Apresentação

A forma como uma empresa atua em relação aos problemas ambientais está fortemente vinculada ao seu desempenho financeiro e mercadológico. Nesta perspectiva, diversos pesquisadores têm mostrado que a reputação da empresa é um importante ativo intangível, o que faz dela uma vantagem competitiva importante (MILES; COVIN, 2000).

O crescimento do contingente de consumidores que preferem comprar produtos e serviços que respeitem a natureza é outro fator que impulsiona o tratamento estratégico dos problemas ambientais. Porém, a rápida popularização de produtos eletroeletrônicos e a rápida obsolescência de alguns modelos, criam a necessidade de substituição quase obrigatória para algumas profissões específicas e também para os aficionados em tecnologia. Todavia, a rápida substituição desses produtos, assim como o seu descarte pode gerar sérios problemas ambientais, pelo volume, pelos materiais em sua composição que demoram muito tempo para se decompor, tais como o plástico, o vidro e o metal, mas, especialmente, por causa dos metais pesados que pode o compor, são altamente prejudiciais à saúde humana. Não sendo suficiente, ainda faltam locais apropriados para a disposição final de muitos produtos em desuso (PALLONE, 2008).

A utilização de práticas ambientais pode contribuir para redução ou um destino correto para os resíduos gerados em todo o ciclo de vida de um produto. Andriankaja et al. (2015) afirma que essas práticas quando aplicadas no início do processo de concepção de forma sistemática a organização, são importantes para uma significativa redução de impactos ambientais. Uma prática pode ser o *Design for Environment – DfE*, pois concentra-se em aplicar conceitos de sustentabilidade ou conceitos ambientais em todo seu ciclo de desenvolvimento, desde a concepção até sua disposição e recuperação.

O DfE surgiu em 1992, exatamente em resposta às preocupações de algumas empresas

da indústria eletrônica em incorporar as questões ambientais em seus produtos, tendo à frente um grupo de trabalho formado pela *American Electronics Association – AEA* (FIKSEL, 2009). Também, seu conceito está proposto na ISO 14062 e se concentra em minimizar o impacto ambiental de um produto durante o seu ciclo de vida (HOUE; GRABOT, 2009).

Com problemas ambientais cada vez mais proeminentes, o DfE tem tornado uma medida importante para melhorar os produtos em respeito ao meio ambiente e resolver o problema da poluição na fabricação. Em seu processo, a aquisição de requisitos, incluindo ambiental, é o ponto de partida para satisfazer naturalmente seu propósito (ZHANG et al., 2011).

A eliminação de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos, produzindo apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida (OHNO, 1997) são alternativas que contribuem positivamente para a prática de DfE. Estas alternativas são normalmente utilizadas por uma empresa *Lean Manufacturing*, como uma abordagem que busca uma forma melhor de organizar e gerenciar os relacionamentos de uma empresa com seus clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção, segundo a qual é possível aumentar a produtividade utilizando-se cada vez mais menos recursos (WOMACK; JONES, 1998),

Entre as várias hipóteses do trabalho de Yang, Hong e Modi (2011), uma delas foi que o *Lean Manufacturing* melhora as práticas de gestão ambiental¹. Os autores afirmaram que o conhecimento utilizado para a redução de resíduos internos através de manufatura enxuta é útil na gestão de resíduos ambientais.

Sugere-se que a utilização do DfE em uma empresa que contempla os princípios do *Lean Manufacturing*, pode direcionar uma alternativa competitiva importante. O *Lean Manufacturing* visa à melhoria da qualidade e da produtividade enquanto o DfE inclui as preocupações ambientais desde a concepção do produto visando uma redução no seu impacto ambiental no ciclo de vida, seus respectivos processos de produção, distribuição e utilização, já que esses produtos são de breve vida útil.

Assim, a utilização de práticas ambientais integradas ao *Lean* pode significar uma alternativa à produção otimizando os setores produtivos das empresas que assumiriam uma nova postura de uma produção sem desperdícios, atuaria também nos problemas ambientais na fase de projeto, pois as dificuldades e os custos para fazer as modificações crescem à

¹ Práticas de gestão ambiental são programas de melhoria do desempenho ambiental de processos e produtos (MATOS; HALL, 2007; MIETTINEM; HAMALAINEN, 1997; MONTABON, SROUFE, NARASIMHAN, 2007; SROUFE, 2003).

medida que as etapas do processo de inovação se consolidam (FIKSEL, 2009). Otimização e prevenção fazem toda a diferença frente à necessidade da busca pela melhoria contínua das organizações.

Sob esta perspectiva, esta pesquisa visa relacionar como o DfE pode contribuir para o *Lean*, demonstrando através de um estudo de caso como essa sinergia contribui para o ciclo de desenvolvimento do produto, assim como pode beneficiar o meio ambiente reduzindo significativamente o impacto ambiental.

1.2 Problema de pesquisa

As empresas podem obter vantagem competitiva por meio de ações proativas com o DfE, como por exemplo, produtos projetados com consciência ambiental, menor consumo de energia, redução de custo no ciclo de vida, menor custo para cumprir legislações ambientais, pensamento inovador e melhor imagem social (HUANG, 1996).

Com uma Revisão Bibliográfica Sistemática – RBS do *Design for Environment* e a revisão da literatura sobre *Lean Manufacturing* foi possível encontrar duas lacunas. Para o DfE identificou-se a inexistência de um método ou metodologia padrão consolidada para aplicação da prática. Existem trabalhos com várias metodologias, porém todas diferentes e aplicadas em diferentes setores ou produtos. Com a RBS entre *Design for Environment* com o *Lean Manufacturing* não foi observado nenhum trabalho onde o foco do mesmo é entender a relação entre ambos. Ainda desta forma, para Baldwin et al. (2005) a indústria de transformação foi vista como a principal fonte de muitos problemas ambientais e sociais, mas ao mesmo tempo também a principal fonte de crescimento econômico. E para combater estes problemas propõe que o DfE pode ser uma ferramenta útil para melhoria ambiental.

Para Baumann, Boons e Bragd (2002) e Dangelico e Pontrandolfo (2010), o DfE integra aspectos ambientais em produtos para minimizar os riscos de emissões difundidas durante a produção, consumo e descarte nas fases do ciclo de vida dos produtos. Para esta pesquisa, *design* de produto verde é definido como uma abordagem proativa das empresas para a integração de *design* de produto e as considerações ambientais, sem comprometer a função e qualidade do produto, incluindo inovações para recuperar o valor do produto ao longo do seu ciclo de vida antes da eliminação (KHOR; UDIN, 2013).

Muitos pesquisadores têm desenvolvido ferramentas para integração dos aspectos ambientais no desenvolvimento do produto e do processo (ANDREWS et al., 2001), mas nos

estudos desta pesquisa não foi observado nenhum buscando a integração destes com uma empresa que contempla uma a filosofia *Lean Manufacturing*. Eles buscam integração com aspectos gerais da empresa, não com características específicas como o *Lean*. Para Ammenberg e Sundin (2005) e Sakundarini et al. (2015), embora haja uma grande quantidade de ferramentas de DfE desenvolvidas pela academia e indústria, poucos foram os avanços significativos das mesmas, ou seja, não houve melhoria significativa depois de sua criação.

A utilização de práticas de *Lean* pode contribuir para a perpetuação de um processo estável ou melhorado em termos de desperdícios. Como uma organização utiliza práticas de *Lean*, espera-se reduzir resíduos de suas atividades de produção por meio de práticas de gestão ambiental (WOMACK; JONES; ROOS, 1990). Práticas de produção *Lean* e de gestão ambiental são distintas e tem um impacto diferente sobre os resultados de desempenho do negócio (KLEINDORFER; SINGHAL; VAN WASSENHOVE, 2005), porém podem se complementar quando tratado da eliminação de desperdícios ou resíduos.

Assim, esta pesquisa é orientada pelo seguinte problema de pesquisa:

Como o *Design for Environment* e o *Lean Manufacturing* se relacionam no ciclo de desenvolvimento do produto para redução do impacto ambiental?

Aguado, Alvarez e Domingo (2013) concluem em seu trabalho que a melhor abordagem para a eficiência e sustentabilidade é a inovação e isso pode ser proporcionado por um sistema de produção *Lean*. Embora o *Lean Manufacturing* não seja muito explorado por praticantes ambientais, artigos têm se referido aos seus fundamentos, buscando seu relacionamento com a necessidade de envolvimento das pessoas, melhoria contínua e ferramentas de resolução de problemas para a área ambiental. Estes princípios foram usados em estudos que se aplicam práticas ambientais para mostrar que existe uma ligação entre as práticas *Lean* e práticas “verdes” (PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014).

Uma empresa de fabricação “verde”, objetiva minimizar danos ao meio ambiente, aplicando práticas ambientais. Estas práticas possuem dois objetivos gerais, sendo melhorar a produtividade na utilização dos recursos naturais, como energia e materiais; e a redução do impacto ambiental (MOREIRA; ALVES; SOUSA, 2010).

A sensibilização dos consumidores para as questões ambientais devem incentivar as empresas a concentrar-se na obtenção de rótulos ecológicos que indicam o impacto reduzido de um produto no meio ambiente (HOUE; GRABOT, 2009).

1.3 Objetivos da pesquisa

Design de produto verde envolve a integração de ambas as perspectivas ambientais e econômicas no desenvolvimento de produtos novos e funcionais. Outros termos que descrevem produtos que atendam às necessidades ambientais são *design* verde, *ecodesign*, produtos ambientalmente conscientes ou produtos sustentáveis (KHOR; UDIN, 2013).

O *Lean Manufacturing* é um modelo de negócio focado no cliente e possui uma coleção de métodos que incidem sobre a eliminação de desperdícios, atividades que não agregam valor ao entregar produtos com a qualidade, o tempo e o custo esperado (EPA, 2006).

O objetivo geral desta pesquisa consiste em identificar e analisar a relação do *Design for Environment* e do *Lean Manufacturing* no ciclo de desenvolvimento do produto. Assim, busca-se compreender a contribuição desta relação através dos seguintes objetivos específicos:

- Conhecer o cenário ou ambiente da empresa pesquisada;
- Reunir práticas fundamentais de DfE por meio da literatura existente;
- Reunir práticas de DfE utilizadas no caso pesquisado;
- Relacionar práticas de DfE da literatura com o *Lean*.

1.4 Justificativa

Design for Environment integra vários aspectos do meio ambiente, saúde e segurança para a fase de concepção do processo de produção, objetivando critérios simples no ciclo de desenvolvimento do produto (CALCOTT; WALLS, 2005; WALLS, 2003). A destruição do meio ambiente e o esgotamento dos recursos naturais tornaram-se cada vez mais graves problemas (CHIANG; ROY, 2012), sendo necessárias alternativas para sua minimização.

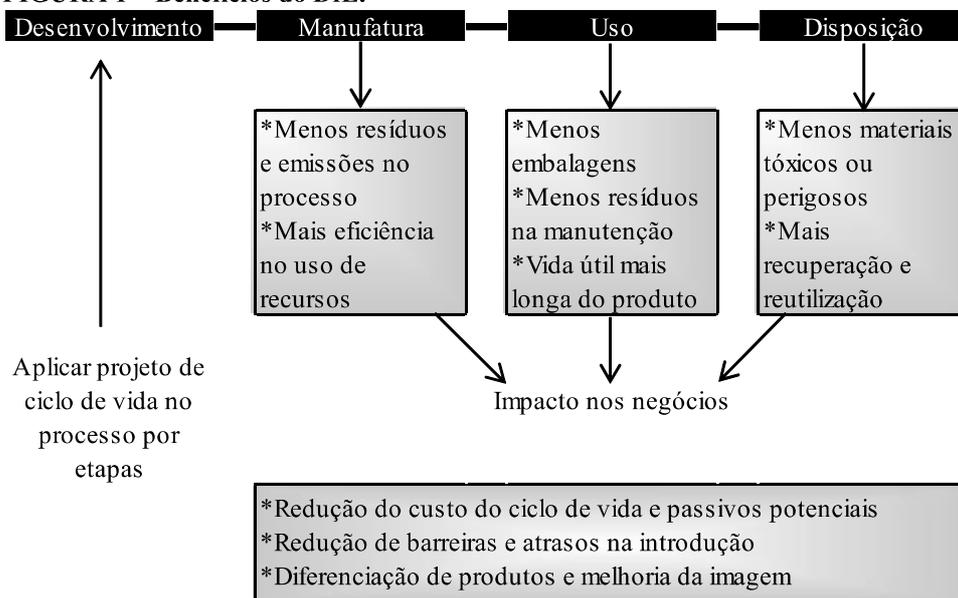
Sekutowski (1991) afirma que as decisões tomadas durante a fase de projeto tem um impacto profundo em todo o ciclo de vida do produto, desde a fabricação, distribuição, instalação, manutenção e disposição.

O diferencial ambiental vem sendo uma nova forma que as empresas estão adotando para a competitividade de seus produtos; a implantação do DfE no desenvolvimento de

produto envolve mudanças organizacionais e tecnológicas na empresa (BITENCOURT, 2001).

Muitos são os benefícios que o DfE proporciona em todas as etapas do ciclo de desenvolvimento do produto. Estes podem ser observados na Figura 1, apresentando os benefícios que o DfE pode trazer em todas as etapas do ciclo de desenvolvimento do produto, como manufatura, uso e disposição. As etapas absorvem benefícios com a aplicação do DfE na fase de concepção do produto e processo, sendo que seu conjunto de benefícios, conseqüentemente proporciona impactos positivos para o próprio negócio.

FIGURA 1 – Benefícios do DfE.



Fonte: Fiksel (2009, p.7).

O DfE permite que os engenheiros de desenvolvimento do produto respeitem os impactos ambientais de um produto durante o processo de *design*, como reduzir o uso de substâncias perigosas e diminuir os impactos ambientais.

A sobreposição de paradigmas *Lean* e técnicas de gestão ambiental são comuns no que diz respeito a técnicas de redução de resíduos e impacto ambiental (CHIANG; ROY, 2012). Segundo Shah e Ward (2003), a abordagem do *Lean* engloba ampla variedade de práticas gerenciais sobre o processo produtivo. Essas práticas devem trabalhar de maneira sinérgica para criar um sistema de alta qualidade que fabrica produtos no ritmo que o cliente deseja, sem desperdícios.

Assim, o DfE tem um propósito de execução a montante, preocupando com o produto em todos os estágios do ciclo de seu desenvolvimento buscando menor impacto ambiental; enquanto o *Lean Manufacturing* tem um propósito a jusante, buscando a melhoria contínua e

eliminação de desperdícios nos estágios do processo produtivo. Nesta perspectiva, o foco de cada um é observado em momentos diferentes no ciclo de vida do produto, sugerindo uma complementariedade entre o DfE e o *Lean*.

Buscando a realização de uma RBS de DfE e *Lean*, sendo impostas e declaradas algumas limitações para esta no Apêndice B, não foi observado nenhum trabalho específico ou com objetivo geral do relacionamento entre ambos, o DfE, como sendo uma técnica de gestão ambiental, com o *Lean*. Assim, esta pesquisa preenche esta lacuna proporcionando os resultados desta interação.

1.5 Esquema geral da dissertação

FIGURA 2 – Esquema geral da dissertação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor entender os conceitos desta pesquisa e suas especificidades, neste Capítulo é apresentada uma revisão da literatura dos constructos, sendo *Design for Environment* (2.1), os resultados da RBS para *Design for Environment* (2.1.1), análise dos resultados da RBS para *Design for Environment* (2.1.2), *Lean Manufacturing* (2.2), os resultados da RBS para *Design for Environment e Lean Manufacturing* (2.2.1). Também, uma sessão sobre indústria de eletrônicos (2.3) foi inserida, setor do caso pesquisado, onde houve necessidade de conhecer seu ambiente e as características dos seus resíduos que podem causar grande impacto ambiental.

2.1 Design for Environment

A Globalização e os intensos processos produtivos decorrentes da exploração desordenada do homem no meio ambiente acarretaram para o planeta danos quase irreversíveis.

O conhecimento de tecnologias amigáveis ao meio ambiente e de estratégias para prevenir e minimizar o dano ambiental causado pelos processos industriais tem ganhado considerável importância (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006). De acordo com o CNTL (2002) para que uma empresa se ajuste ao mercado, e permaneça nele, precisa ser Ecoeficiente, ou seja: economicamente rentável, ambientalmente compatível e socialmente justa.

Antes do conceito de Ecoeficiência tornar-se estratégia de competitividade para as empresas, essas se utilizavam de tecnologias ambientais que tratavam os resíduos apenas no final do processo de produção, o chamado *end of pipe*. Técnicas como a incineração de resíduos e o tratamento de poluentes atmosféricos ficaram caracterizadas apenas como despesas adicionais para as empresas. O *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* define Ecoeficiência como sendo alcançada através da entrega de bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida a preços competitivos, além de reduzir progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida para o nível de, pelo menos, em linha com a capacidade de carga estimada da Terra (RASHIDI; SAEN, 2015).

Assim, a Ecoeficiência está fortemente associada ao impacto dos negócios no

ambiente. O WBCSD ainda identifica sete aspectos centrais da Ecoeficiência (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006):

- Reduzir a quantidade de matéria em bens e serviços;
- Reduzir a quantidade de energia em bens e serviços;
- Reduzir a dispersão de material tóxico;
- Aumentar a reciclagem de material;
- Maximizar o uso de fontes renováveis;
- Aumentar a durabilidade dos produtos;
- Aumentar a quantidade de bens e serviços.

Um dos objetivos do desenvolvimento sustentável é conciliar crescimento econômico com preservação do meio ambiente, trazendo melhorias em condições sociais de comunidades (KAZAZIAN, 2005). O DfE busca romper com esses paradigmas, pois ele prepara a empresa para realizar inovações de modo sistemático, procurando sempre eliminar os problemas antes que eles surjam (FIKSEL, 1997).

A ideia do DfE surgiu em 1992, quando a indústria de eletrônicos dos Estados Unidos procurava minimizar o impacto no meio ambiente decorrente de sua atividade (FIKSEL, 2009). A *American Electronics Association* formou uma força-tarefa para desenvolver projetos com preocupação ambiental e providenciar uma base conceitual que beneficiasse primeiramente os membros da associação. A partir disso, o nível de interesse pelo assunto cresceu e apareceram outros termos como *Ecodesign*, mencionados em programas de gestão ambiental (BORCHARDT et al., 2012).

A proposta inicial foi dada pela *AT&T Bell Laboratories*, com a adição de um nível no topo da hierarquia de gestão dos resíduos da *Environmental Protection Agency - EPA* nos Estados Unidos, criando um quinto nível, abordando problemas ambientais na fase de concepção do produto, muito antes de qualquer resíduo ser gerado e a necessidade de uma fonte para redução torna-se aparente. Os quatro níveis hierárquicos, na ordem do primeiro ao quarto, para gestão de resíduos da EPA são: fontes de redução, reciclagem, tratamento de resíduos e disposição dos resíduos (SEKUTOWSKI, 1991). O primeiro e segundo nível estão focados na minimização de resíduos, enquanto o terceiro e quarto com preocupação no *end of pipe*.

O DfE descende da Ecologia Industrial, onde esta se torna no ano de 1991, novo campo de estudo considerada pela *National Academy of Science*. Pouco depois em 1994, foi publicado o primeiro livro sobre o tema “*The greening of industrial ecosystems*”, de Allembly

e Richards, que aponta as ferramentas da Ecologia Industrial, sendo o *Design for Environment*, a Avaliação do Ciclo de Vida e a Contabilidade Ambiental. Costa (2002) acrescenta a Prevenção da Poluição e a Produção Mais Limpa como técnicas de Ecologia Industrial.

O conceito de DfE pode ser melhor definido (KHOR; UDIN, 2013; CHARTER; TISCHNER, 2001), como envolvendo a integração de ambas as perspectivas ecológicas e econômicas no desenvolvimento de produtos novos e funcionais. Outros termos que descrevem produtos que satisfaçam o interesse do meio ambiente são *design verde* (US OTA 1992), *ecodesign* (BREZET; VAN HEMEL, 1997), produtos ambientalmente conscientes ou produtos sustentáveis (MCALOONE, 2000). Cada um pode ter sua ênfase particular mas compartilham objetivos similares (HUANG, 1996). São práticas destinadas para desenvolver produtos e processos, enquanto compatíveis com o ambiente, manutenção de produto, preço, desempenho e padrões de qualidade (GRAEDEL; ALLEMBY, 1995).

Um solução sustentável para produtos e serviços é baseada na minimização de consequências negativas no âmbito econômico, ambiental e social, em questões durante e além do ciclo de vida dos mesmos (CHARTER; TISCHNER, 2001). Os aspectos econômico, ambiental e social são considerados por Elkington (1998) e Elkington (2004) o *triple bottom line*. Estes aspectos devem manter um equilíbrio em seu desempenho, considerados pelos seus objetivos organizacionais.

A *Dow Jones Sustainability Indexes – DJSI* é um indicador global de performance financeira, gerido pelo *Sustainable Asset Management – SAM*. Consideram o *triple bottom line* critério de elegibilidade e classificação para as empresas obterem melhor gestão de carteiras de sustentabilidade (FIKSEL, 2009).

O estudo de Gimenez, Sierra e Rodon (2012) analisa o impacto de programas ambientais e sociais nas organizações nas dimensões do *triple bottom line*, com dados extraídos da quinta rodada do *International Manufacturing Strategy Survey – IMSS*. Este resulta que os programas ambientais internos têm um impacto positivo sobre os três componentes do *triple bottom line*, sendo que as iniciativas sociais internas têm um impacto positivo sobre apenas dois componentes: desempenho social e ambiental.

O DfE faz parte de uma série de ações voltadas para soluções que facilitem a montagem, desmontagem e reciclagem dos produtos, além das questões normalmente conhecidas nos projetos, como redução de custo, melhoria de eficiência manutenção facilitada, dentre outros. Estes são chamados de DfX, ou *Design for X*, sendo X uma

característica para ser maximizada. No Quadro 1 são apresentados os DfX mais utilizados com seu devido objetivo de atuação.

QUADRO 1 – DfX’s mais utilizados e seus objetivos.

DfX	Significado	Objetivo
DfA	Design for Assembly	Facilitar a montagem, evitar erros na montagem, projetar peças multifuncionais, etc.
DfC	Design for Compliance	Cumprir as normas necessárias para manufatura e uso como, por exemplo, quantidade de substâncias tóxicas ou com biodegradabilidade
DfE	Design for Environment	Diminuir as emissões e os resíduos do produto desde a fabricação até seu descarte
DfM	Design for Manufacturability	Integrar o design do produto com os processos de fabricação
DfO	Design for Orderability	Integrar o design no processo de manufatura e distribuição, de forma a satisfazer as expectativas do consumidor
DfR	Design for Reliability	Atender operações em condições de ambiente agressivo, como meios corrosivos ou de descarga eletrostática
DfSL	Design for Safety and Liability Prevention	Atender aos padrões de segurança, evitar uso equivocado, prevenção de falhas e de ações legais delas decorrentes
DfS	Design for Serviceability	Facilitar a instalação inicial, o reparo e a modificação em campo ou em uso
DfT	Design for Testability	Facilitar testes tanto no processo de fabricação como em campo

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Graedel e Allembly (1995).

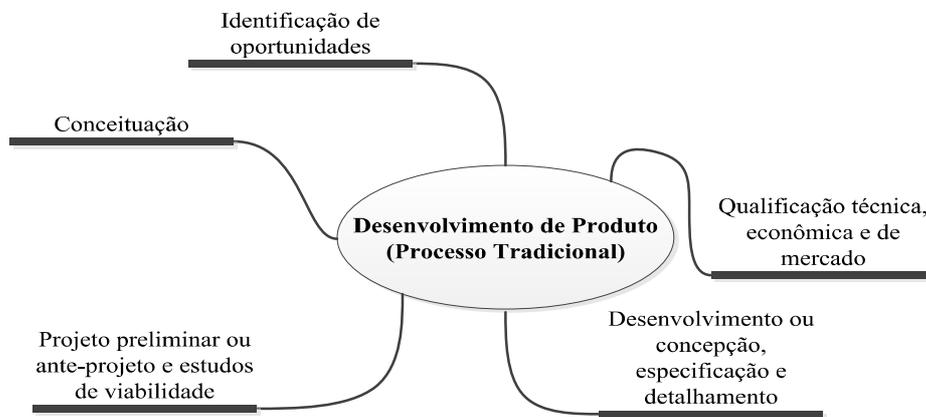
Aplicar uma determinada abordagem DfX, significa adaptar o processo de desenvolvimento do produto, a fim de melhorá-lo em uma certa concentração (HUANG, 1996). O princípio para o termo “*Design for*” foi provocado pela preocupação de *design* de produto sobre a fabricação, e depois estendido para preocupações com interface do produto e usuário (KEOLEIAN; MENEREY, 1994).

Bhamra (2004) e Charter (1997) tratam o DfE como opção estratégica para o desenvolvimento de novos produtos e melhoria de desempenho ambiental. Ocorre quando empresas incorporam explicitamente as questões ambientais na sua concepção em decisões para fabricação e do produto (FIKSEL, 1996). Práticas de DfE no processo de *design* de produto pode melhorar o desempenho ambiental, além de ser uma maneira importante para resolver problemas de poluição ambiental na área de manufatura. O DfE está sendo uma tendência de *design* de produto (ZHANG et al., 2011). Devido à destruição ecológica e

mudanças drásticas no clima, o DfE tornou-se uma das principais tendências em desenvolvimento de produtos nos últimos anos, este relatado por Chiang e Roy (2012) em seu trabalho.

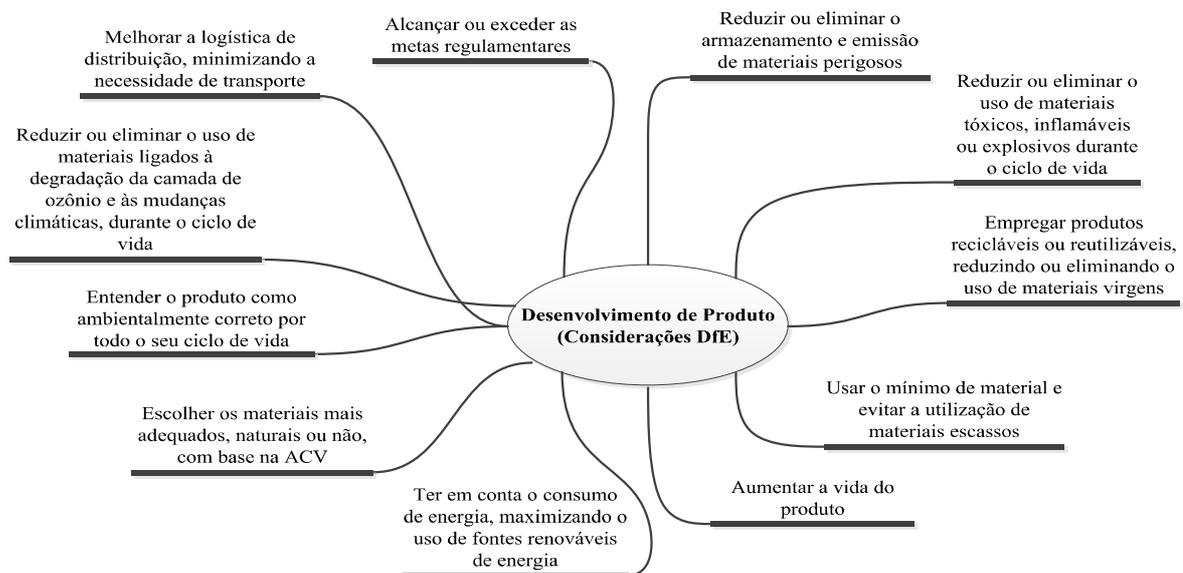
O projeto tradicional do desenvolvimento de um produto acaba sendo diferente do projeto do produto para o DfE. O projeto tradicional busca satisfazer as necessidades básicas do consumidor, não se levando em consideração seu impacto ambiental, ciclo de vida, disposição final, entre outros (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006). Assim, é apresentado na Figura 3 as etapas do desenvolvimento de um produto por um projeto tradicional e na Figura 4 as etapas do desenvolvimento de um produto sob considerações do DfE.

FIGURA 3 – Características do desenvolvimento de produto por processo tradicional.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Giannetti e Almeida (2006).

FIGURA 4 – Características do desenvolvimento de produto por considerações DfE.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Giannetti e Almeida (2006).

Observa-se a grande diferença nas abordagens entre os tipos de projetos. O projeto tradicional apresenta menos etapas, sendo um modelo muito simples para um mercado tão competitivo e dinâmico existente. O projeto com as considerações para o DfE apresenta muitos aspectos para um melhor desempenho ambiental, onde o consumidor também sofre os benefícios quanto a este desempenho (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Fiksel (2009) define que o DfE é a consideração sistemática do desempenho do projeto em relação ao meio ambiente, saúde, segurança, e objetivos de sustentabilidade sobre o ciclo de vida do produto e o processo. O autor define três objetivos para o DfE:

- Proteção ambiental - assegurar que o ar, água, solo, e sistemas ecológicos não sejam prejudicados devido à liberação de poluentes ou substâncias tóxicas;
- A saúde e segurança - garantir que as pessoas não sejam expostas a riscos de segurança ou agentes de doenças crônicas em seu ambiente de trabalho ou vida pessoal;
- Sustentabilidade dos recursos naturais - garantia de que o consumo humano ou utilização de recursos naturais não ameacem a disponibilidade desses recursos para as gerações futuras.

Kuo, Huang e Zhang (2001) relatam que as metas de *design* de produto verde ou DfE são minimizar o uso de recursos não-renováveis, a gestão eficaz dos recursos renováveis e reduzir o volume de emissões tóxicas. Estes também foram adaptados como medidas de *Ecodesign* por Zhu e Sarkis (2007) e Eltayeb, Zailani e Ramayah (2011), que reduz a complexidade do desenho, associados à recuperação de valor. Assim, as vantagens da utilização do DfE traçadas por Fiksel (1997) podem ser:

- Assegurar a desmontagem e a recuperação dos materiais e componentes com custo e esforços mínimos;
- Incorporar materiais recicláveis que geram o mínimo de resíduos;
- Facilitar o descarte dos componentes não recicláveis;
- Reutilizar os componentes que podem ser recuperados;
- Redução do consumo de energia em todas as etapas do processo de produção, distribuição, utilização, reciclagem e disposição final;
- Reduzir os riscos crônicos à saúde através de processos mais limpos.

Além disso, os resíduos não são a única preocupação ambiental no processamento de materiais. A eficiência energética e uso de recursos são outros fatores que merecem ser considerados (SEKUTOWSKI, 1991).

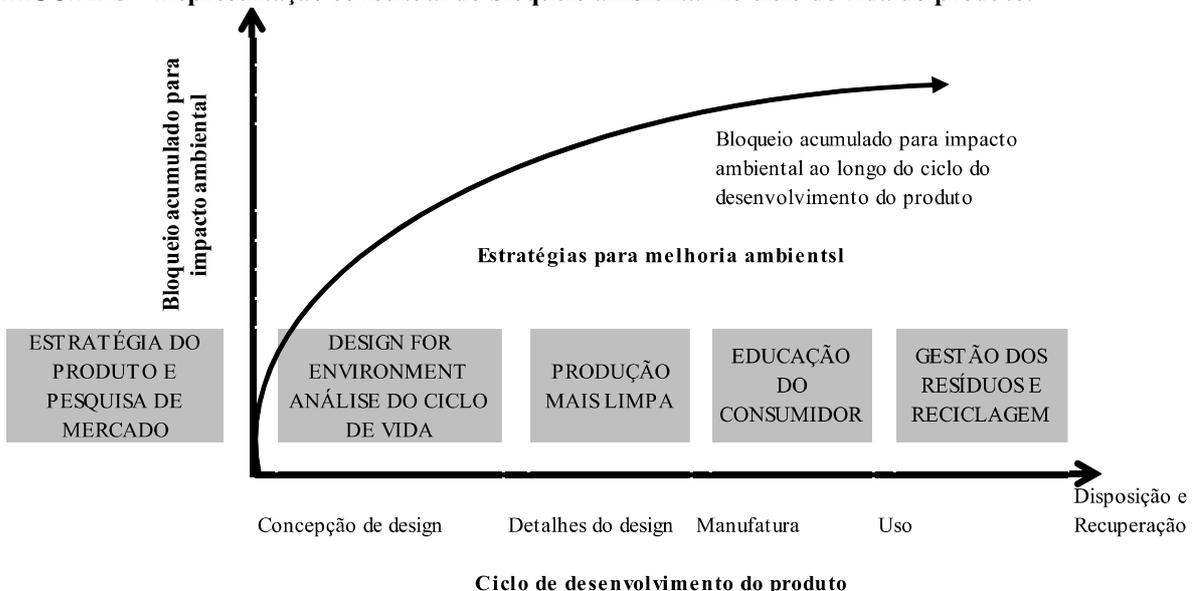
Analisando as considerações do desenvolvimento do produto para o DfE e seus

objetivos, é de grande importância a consideração da análise do ciclo de vida do produto. O arquiteto William McDonough e o químico Michael Braungart conceberam o conceito de *Cradle to Cradle – C2C* como substituição a ecoeficiência por ecoeficácia para alcançar o “estado de zero”: zero emissões de resíduos, zero uso de recursos e zero para toxicidade (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; MCDONOUGH; BRAUNGART, 2005). Ecoeficácia é a criação de soluções que maximizam o valor econômico sem efeitos ecológicos adversos (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

Llorach-Massana, Farreny e Oliver-Solà (2015) afirmam que o número de certificações ambientais privadas estão aumentando e que o C2C deve incluir estratégias como a desmaterialização e a minimização do consumo de energia para reduzir os impactos ambientais, considerando que qualquer atividade humana tem um impacto na natureza, incluindo as energias renováveis, e tendo em conta os limites planetários de crescimento.

Em todo o ciclo de vida do produto são necessárias alternativas para bloqueio de impactos ambientais. O DfE pode ser utilizado na concepção desse bloqueio. Na Figura 5 são apresentadas outras alternativas durante este ciclo para que o impacto ambiental não aumente, mediante a muitas variações que podem ocorrer. Estas alternativas, além do DfE, são a produção mais limpa, a educação do consumidor, a gestão dos resíduos e reciclagem.

FIGURA 5 – Representação conceitual do bloqueio ambiental no ciclo de vida do produto.



Fonte: Lewis et al. (2001).

Ferramentas eficazes que oferecem assistência e uma abordagem estruturada para um *designer*, na tentativa de reduzir estas questões no início do processo de *design*, apresentam benefícios claros que limitam os impactos acumulativos para o produto (BOOTHROYD,

1994). O uso de ferramentas DfE é frequentemente mencionada como uma parte essencial de sua abordagem (JOHANSSON, 2002; LINDAHL, 2005; TINGSTRÖM, 2007). No Quadro 2 são apresentados vinte e cinco ferramentas do DfE voltadas para a concepção e desenvolvimento do produto e processo. Algumas são padrões ou conceitos, porém, todas com o objetivo da obtenção de um produto ou processo ambientalmente melhor. Estas ferramentas podem ser agrupadas pela sua forma de apresentação, sendo em websites, softwares e artigos. Este agrupamento é apresentado no Quadro 3.

Estas ferramentas foram encontradas nas leituras dos artigos pesquisados nas bases de artigos *Science Direct* e *Capes*, pela busca de palavras como DfE, *design for environment* e *design for environment tools*.

No trabalho de Huang (1996, p. 85) em algumas empresas onde foi implementado o DfE foram encontrados obstáculos, sendo:

- Falta de visão: a gerência não tem consciência da influência das decisões realizadas no desenvolvimento de produto;
- Falta de motivação: a gerência e a área de pesquisa e desenvolvimento ou marketing não se mostram interessados pelo programa, uma vez que eles não veem os benefícios da consideração ambiental, embora estejam cientes do impacto ambiental;
- Insegurança: a gerência sente-se insegura em relação às iniciativas de regulamentação e aos efeitos comerciais da consideração da demanda ambiental no desenvolvimento de produto;
- Complexidade na implantação: a empresa não tem uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de produto, desta forma não sabe integrar o DfE de um modo estruturado; não existem recursos que auxiliem a empresa a fixar as fases para sua implantação (organização de pré-condições e organização de equipes multidisciplinares), o que pode originar uma carência de conhecimentos necessários; a empresa é desencorajada pelo custo de aquisição de informações necessárias para a implantação do DfE (consultoria de especialistas, manuais, base de dados, entre outras);
- Outras prioridades: a empresa prioriza investimentos em outras atividades, ou; a empresa prioriza a consideração ambiental em outras atividades;
- Falta de consciência ambiental: a empresa nunca pensou sobre sua influência na questão ambiental.

QUADRO 2 – Ferramentas DfE e suas definições mediante literatura.

Ferramenta DfE	Definição	Literatura
BDI Design for Manufacture and Assembly 09	Prática de concepção de produtos com mentalidade de fabricação que podem ser projetados em menos tempo com o mínimo custo de desenvolvimento.	Boothroyd Dewhurst Inc. Bayoumi, 2000 Edwards, 2002 Boothroyd, 1994 Fiksel, 2009
Design for Environment Method	Diretriz de priorização qualitativa para produto sustentável em seu ciclo de vida.	MacDonald e Short, 2007 Hernandez et al., 2012 Lindahl, 2006 Ernzer et al., 2003 Zhang et al., 2007
DFE (Design for Environment)	Análise de desmontagem de produtos e possíveis lucros efetuadas através da reciclagem de otimização.	Vezzoli e Manzini, 2008
Eco-design online Pilot	Software de concepção ecológica para design de produto sustentável.	Wimmer et al., 2008 Ecodesign.at/pilot/Wimmer e Züst, 2003
Eco-functional Matrix	Plataforma que estabelece uma comunicação para prioridades funcionais e impacto ambiental combinando os perfis funcionais e ambientais. Além disso, permite a visualização de correlações entre impactos ambientais e funcionalidade (benefícios ao cliente).	Lagerstedt, 2003 Jeswiet e Hauschild, 2005
Environmentally Responsible Product Assessment	Matriz 5x5 de avaliação do produto em seu ciclo de vida para responsabilidade ambiental.	Graedel, 1998 Graedel e Allenby, 1995 Hur et al., 2005 Lili, Shaojie e Ge, 2006
Envrizz	Metodologia para engenheiros de design com uma ferramenta de design conceptual útil para ajudar a superar as contradições entre a melhoria da funcionalidade do produto e reduzir o impacto ambiental.	Fitzgerald, Herrmann e Schmidt, 2006
EuP eco-profiler	Ferramenta de apoio à eco-Inovação para empresas do setor do produto consumidor de energia e permite identificar, quantificar e comunicar o perfil ambiental dos seus produtos que consomem energia.	LiMaS Eco-innovation
GaBi 4.2	Software para suporte na verificação do ciclo de vida de um produto, seja ele de qualquer complexidade.	PE International Rives et al., 2011 Iriarte, Rieradevall e Gabarrell, 2010
Granta Eco-Audit	Com dados ambientais, visa quantificar o impacto ecológico das fases de vida chave de um material, ajudando a identificar os custos ambientais mais significativos e, assim, chamar a atenção para as áreas que podem levar a maiores melhorias.	Ashby, 2009
IDC LCA Calculator	Software de análise de ciclo de vida, que ajuda os designers e engenheiros para entender, analisar e comparar os impactos ambientais de seus produtos para ajudar a tomar decisões "mais verde" do projeto.	Industrial Design Consultants Torrellas, Antón e Montero, 2013

IdeMAT	Software para a seleção de materiais de baixo impacto. Contém uma base de dados sobre as características físicas, mecânicas e ambientais de vários materiais. Dá a possibilidade de procura de materiais de acordo com as necessidades e características desejadas.	Faculty of Design, TU Delft Vogliänder, Van der lugt e Brezet, 2010 Brogaard et al., 2014 Vezzoli e Manzini, 2008
Information / Inspiration	Recurso ecodesign desenvolvido especificamente para apoiar designers que querem desenvolver produtos mais ambientalmente e socialmente responsáveis.	Lofthouse, 2006 Ecodesign.lboro.ac.uk Vallet et al., 2013 Bhamra e Lofthouse, 2007
LCA Light tool	Ferramenta para cálculos de impacto ambiental de forma rápidas e adequadas, a partir de materiais, energia e transportes.	ABB Corporate Research Whitehead et al., 2014
Lifecycle Design Strategy wheel	Diretriz estratégica buscando garantir que todos os níveis do ciclo de vida do produto tenham o menor impacto possível ao meio ambiente.	Brezet e van Hemel, 1997 Chou, 2014 Chulvi e Vidal, 2011
Material Energy Chemical Other	Matriz 4x4 para avaliação qualitativa do ciclo de vida do produto.	Wenzel, 1998 Hauschild, Wenzel e Alting, 1999
Material Energy Toxicity	É uma ferramenta de análise utilizada para avaliar vários impactos ambientais de um produto durante o seu ciclo de vida.	Brezet e van Hemel, 1997 van Berkel, Willems e Lafleur, 1997
Pre Eco-it	Software que descreve sumariamente o ciclo de vida do produto e calcula o impacto total.	Product Ecology Consultancy Vezzoli e Manzini, 2008
RECREATION	Banco de dados incluindo todas as informações necessárias para reciclagem e sobre fornecedores de materiais reciclados.	Vezzoli e Manzini, 2008 Gupta e Veerakamolmal, 1996
RONDA	Fornece informações sobre produtos de acordo com a sua capacidade de reciclagem e oferece uma base de dados especial para esta análise para os produtores.	Vezzoli e Manzini, 2008
SimaPro 7.1	Software para ciclo de vida do produto. Dispõe de padronização, flexibilidade, modelagem e análise parametrizada com resultados interativo.	Product Ecology Consultancy Kalakul et al., 2014 Hajjaji et al., 2013 Giudice, La Rosa e Risitano, 2006
SortED	Identifica rapidamente as implicações legais sobre o produto e explorar as opções disponíveis para eles. Criado para uso de designers, a ferramenta orienta a equipe de desenvolvimento através dos tipos de perguntas.	Lofthouse e Bhamra, 2005
Sustainability Design-Orienting toolkit	Ferramenta que orienta o projeto de produtos e serviços para uma solução sustentável. Prioridades foram definidas nos diversos critérios de sustentabilidade, fornecendo listas de verificação adequadas.	Vezzoli e Tishner, 2009 Vezzoli e Manzini, 2008
The Ten Golden Rules	Generalizado conjunto de diretrizes desenvolvidos para dar direção de design.	Luttrupp e Lagerstedt, 2006
Tool for Environmentally Sound Product Innovation	Ferramenta on-line de apoio design de produto ambientalmente consciente, tendo em conta o ciclo de vida do produto, as necessidades dos clientes e produtos concorrentes.	Misceo et al., 2004 Russo, Rizzi e Montelisciani, 2014

Fonte: Elaborado pelo autor.

QUADRO 3 – Agrupamento das ferramentas DfE por forma de trabalho.

Grupo	Ferramenta DfE
Websites	Eco-design online Pilot Envriz IDC LCA Calculator Information / Inspiration LCA Light tool Sustainability Design-Orienting toolkit Tool for Environmentally Sound Product Innovation
Artigos	Design for Environment Method Eco-functional Matrix Environmentally Responsible Product Assessment Lifecycle Design Strategy wheel Material Energy Chemical Other Material Energy Toxicity The Ten Golden Rules
Softwares	EuP eco-profiler GaBi 4.2 Granta Eco-Audit IdeMAT Pre Eco-it RECREATION RONDA (Recycling Orientated Database Analysis) SimaPro 7.1 SortED BDI Design for Manufacture and Assembly 09 DFE (Design for Environment)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que grande parte destes fatores estão ligados ao amadurecimento da alta administração ou gerência no sentido de entender o quão importante é o programa e transmitir para seus subordinados.

2.1.1 Resultados da RBS para Design for Environment

A seguir serão apresentados os resultados da RBS para o *Design for Environment*. No Quadro 4 é representado de forma resumida seus principais dados, onde no Apêndice A é detalhado todo o processo da RBS. O objetivo é verificar como está sendo tratado o assunto DfE nos trabalhos publicados de forma sistemática.

Esta RBS foi realizada nas dependências da Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*, no período de setembro a novembro de 2015, onde a Universidade possui assinatura para um grande acesso a artigos completos em bases de dados de pesquisa.

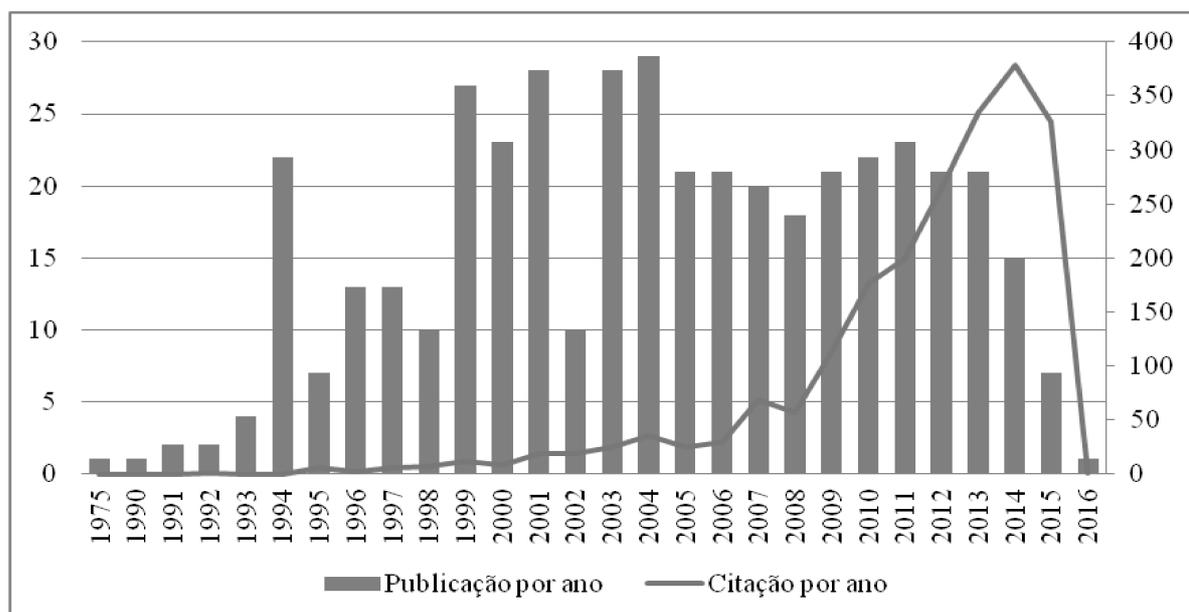
QUADRO 4 - Resumo da RBS para Design for Environment.

Base de dados	ISI Web of Knowledge; Scopus
Total bruto de artigos encontrados	899
Total dos artigos selecionados	41
Referências cruzadas	2 livros
Palavras-chave	Design for Environment; design for the environment; ecodesign; projeto para o meio ambiente

Fonte: Elaborado pelo autor.

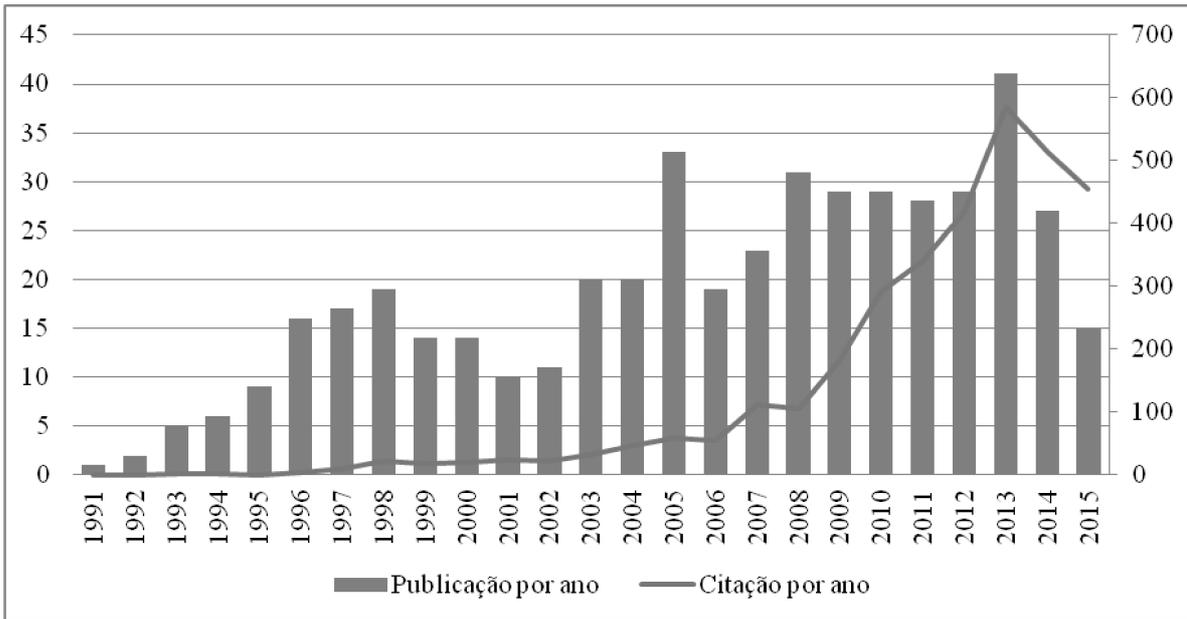
O total de 899 artigos encontrados são das duas bases de dados citadas. Estes foram submetidos aos critérios de inclusão e exclusão, além dos filtros propostos por Conforto, Amaral e Silva (2011), onde foram selecionados 41 trabalhos além de 2 livros (FIKSEL, 2009; GIANNETTI; ALMEIDA, 2006) entre referências cruzadas. Estes livros abordam amplamente o DfE, apresentando suas características, vantagens e aplicações.

Referente ao total bruto encontrado nas bases de dados foi elaborado um gráfico de evolução temporal do campo de pesquisa das bases separadamente, de forma a quantificar os trabalhos publicados e entender o interesse pelo assunto tratado nesta pesquisa. Estes são apresentados nas Figuras 6 e 7.

FIGURA 6 - Evolução temporal do campo de pesquisa sobre DfE base de dados WoS.

Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 7 - Evolução temporal do campo de pesquisa sobre DfE base de dados Scopus.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o total dos trabalhos encontrados sobre o assunto *Design for Environment* nas bases de dados são bem próximos. São 431 trabalhos encontrados na base *ISI Web of Knowledge* e 468 na base Scopus. É notável o aumento de interesse para o estudo durante os anos sobre o tema pesquisado, mas muito mais acentuado o aumento de citações ao longo do período. O aumento destes pode ser notado mais recentemente sobre os trabalhos.

Uma síntese dos trabalhos selecionados nas bases de dados é apresentada no Quadro 5, contendo o método de investigação utilizado no estudo, o tipo de abordagem, a especificação do produto ou setor onde realizado e como é apresentado sua contribuição.

Diante do exposto, todos estes trabalhos são de periódicos encontrados nas bases de dados já mencionadas. Na Tabela 1 é apresentada a porcentagem relativa das quantidades dos trabalhos encontrados por periódicos. Também é mencionado o Fator de Impacto de cada periódico mostrando a qualidade das informações pesquisadas para este trabalho.

QUADRO 5 - Trabalhos selecionados para RBS base de dados WoS e Scopus.

Autores	Método de Investigação	Abordagem	Sector /Produto	Contribuição
Alves et al. (2010)	Estudo de caso	Qualitativa	Automobilística	Prática aplicável
Andriankaja et al. (2015)	Estudo de caso	Qualitativa	Transportes	Framework teórico
Arana-Landin e Heras-Saizarbitoria (2011)	Estudo de caso	Qualitativa	Não especificado	Framework teórico
Ardente, Mathieux e Recchioni (2014)	Estudo de caso	Qualitativa	Eletrónicos	Narrativa conceitual
Birch, Hon e Short (2012)	Experimentação	Qualitativa	Não especificado	Framework teórico
Boks (2006)	Survey	Qualitativa	Não especificado	Framework teórico
Boks e Stevels (2007)	Estudo de caso	Qualitativa	Indústria de eletrónicos	Prática aplicável
Bonilla et al. (2010)	Estudo de caso	Qualitativa / Quantitativa	Bebidas	Ferramenta
Bonvoisin et al. (2014)	Estudo de caso	Qualitativa	Serviços	Framework teórico
Borchardt et al. (2008)	Estudo de caso	Qualitativa	Automobilística	Prática aplicável
Borchardt et al. (2010)	Estudo de caso	Qualitativa	Manufatura calçadista	Prática aplicável
Borchardt et al. (2012)	Estudo de caso / modelagem	Qualitativa / Quantitativa	Indústria química	Avaliação da presença do DfE
Bovea e Pérez-Belis (2012)	Teórico	Qualitativa	Publicações	Tabela conceitual
Brones e de Carvalho (2015)	Teórico	Qualitativa	Publicações	Framework teórico
Brones, de Carvalho e Zancul (2014)	Estudo de caso	Qualitativa	Fabricante bens de consumo	Framework teórico
Byggeth e Hochschorner (2006)	Teórico	Qualitativa	Não especificado	Aplicação de ferramentas
González-García et al. (2011)	Estudo de caso	Quantitativa	Móveis	Tabela conceitual
Gouda, Jonnalagedda, Saranga (2016)	Modelagem	Quantitativa	Automobilística	Modelo matemático
Hernandez et al. (2012)	Teórico	Qualitativa	Não especificado	Ferramenta
Jeswiet e Hauschild (2005)	Teórico	Qualitativa	Manufatura	Análise temporal
Kengpol e Boonkanit (2008)	Teórico	Qualitativa / Quantitativa	Não especificado	Framework teórico
Kurk e Eagan (2008)	Teórico	Qualitativa	Não especificado	Framework teórico

Lindahl (2006)	Estudo de caso	Qualitativa	Equipamentos industriais	Framework teórico
Lofthouse (2006)	Estudo de caso	Qualitativa	Eletrodoméstico	Framework teórico
Luttrupp e Lagerstedt (2006)	Teórico	Qualitativa	Publicações	Check list
Park e Tahara (2008)	Estudo de caso	Qualitativa / Quantitativa	Câmera digital	Prática aplicável
Passarini et al. (2010)	Experimentação	Quantitativa	Automobilística	Prática aplicável
Pigozzo et al. (2010)	Teórico	Qualitativa	Não especificado	Análise de casos
Pigozzo, Rozenfeld e McAloone (2013)	Hipotético-dedutivo	Qualitativa	Manufatura	Framework teórico
Platcheck et al. (2008a)	Estudo de caso	Qualitativa	Eletrônicos	Framework teórico
Platcheck et al. (2008b)	Estudo de caso	Qualitativa	Compressor de ar	Prática aplicável
Plouffe et al. (2011)	Survey	Quantitativa	Manufatureiro e serviços	Análise econômica
Pochat, Bertoluci e Froelich (2007)	Estudo de caso	Qualitativa	Manufatura	Framework teórico
Raz, Druehl e Blass (2013)	Modelagem	Quantitativa	Jornais	Modelo matemático
Roca et al. (2012)	Lógica fuzzy	Quantitativa	Garrafa	Prática aplicável
Sakundarini et al. (2015)	Estudo de caso	Qualitativa	Indústrias	Framework teórico
Short et al. (2012)	Estudo de caso	Qualitativa / Quantitativa	Manufatura	Análise de casos
Silva, Moraes e Machado (2015)	Estudo de caso	Qualitativa	Acessórios para motocicleta	Framework teórico
Tiruta-Barna et al. (2014)	Estudo de caso	Quantitativa	Estação de tratamento de água	Prática aplicável
van Hemel e Cramer (2002)	Estudo de caso	Qualitativa	PME's	Framework teórico
Zhang et al. (2011)	Estudo de caso	Qualitativa / Quantitativa	Fabricante leite soja	Framework teórico

Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 1 - Periódicos dos trabalhos selecionados para RBS de Design for Environment.

Periódicos	Quantidade	% Relativa Quantidade	Fator de Impacto
Journal of Cleaner Production	27	66%	3.844
European Journal of Operational Research	1	2%	2.358
Science of the Total Environment	1	2%	4.099
Expert Systems with Applications	2	5%	2.240
International Journal of Production Research	1	2%	1.477
Production and Operations Management	1	2%	1.439
Resources, Conservation and Recycling	2	5%	2.564
Engenharia Sanitária e Ambiental	1	2%	0.241
Produção	2	5%	0.230
Ambiente & Sociedade	1	2%	0.049
Materials & Design	1	2%	3.501
International Journal of Production Economics	1	2%	2.752
Total	41	100%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se como é grande a quantidade de trabalhos encontrados sobre o tema no *Journal of Cleaner Production*, representando 66% de todos os trabalhos selecionados. Também é claro pelo Fator de Impacto a relevância dos trabalhos.

Diante dos trabalhos selecionados, Bonilla et al. (2010) afirmam que a vida de um produto começa com os conceitos iniciais em sua concepção. Os custos e impactos potenciais de um produto são fortemente influenciados pelo *design* final, os processos de produção, os custos econômicos e ambientais de todas as matérias-primas. Assim, os autores propõem uma ferramenta para facilitar esta concepção no setor de bebidas.

Park e Tahara (2008) afirmam que é possível projetar um produto que respeite o meio ambiente, mantendo um elevado nível de qualidade e satisfação do consumidor. Isso foi possível observar através de produtores e consumidores ecoeficientes.

Para Plouffe et al. (2011) existem vantagens econômicas vinculadas a utilização do DfE. Entre essas citam também o potencial para a redução de custos e o aumento de receita. No estudo não é demonstrado quantitativamente o aumento da receita, mas apresenta o potencial de forma empírica, através de uma comparação de empresas da França e de Quebec. Os autores ainda complementam que essas vantagens são provenientes da concentração do aumento de funcionalidade do produto e busca da melhoria ambiental e econômico no maior número de etapas do ciclo de vida possível.

Zhang et al. (2011) afirmam que no processo de DfE a aquisição de requisitos incluindo os ambientais, é o ponto de partida de suas condições naturais obedecendo seus

objetivos. Assim, é necessário entender a necessidade do cliente através de seus requisitos específicos.

Andriankaja et al. (2015) propõem que para conseguir uma implementação bem sucedida de um método de concepção ecológica holística dentro do processo de desenvolvimento de produto, através de um estudo de caso foi projetado uma abordagem clara e fácil de seguir para qualquer *designer* de produtos com um nível mínimo de formação ambiental. Este foi possível com a utilização da plataforma SupLight, uma metodologia de concepção ecológica que combina várias ferramentas necessárias para alcançar uma abordagem inovadora para soluções pequenas em DfE. O diferencial deste é que existe uma combinação entre avaliação e aperfeiçoamento, onde segundo a literatura raramente as ferramentas de *design* fazem tal combinação.

Platcheck et al. (2008) afirmam que metodologias são fundamentais no processo de *design*, traçando diretrizes para o desenvolvimento de novos produtos. O DfE minimiza os impactos ambientais para redução dos custos de produção e permite às empresas um diferencial competitivo em um mercado que, a cada dia, dá mais ênfase ao desenvolvimento sustentável. Assim, assume papel fundamental no contexto mundial, porque a capacidade de extração de matérias-primas da natureza está se tornando exausto em um ritmo acelerado.

Hernandez et al. (2012) desenvolveram uma ferramenta específica de DfE chamada *GREENESYS – Green Engineering Expert System*, um sistema para a seleção de métodos e ferramentas DfE para uso específico. Este sistema busca uma eficiência e eficácia para o processo de desenvolvimento de produto.

Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013) apresentam um modelo de maturidade em DfE destinado a apoiar o processo de implementação do mesmo. O modelo propõe a melhor prática de concepção ecológica e projetos de melhoria a ser aplicada, através da adoção de uma abordagem de melhoria contínua para a melhoria de processos. Para aplicação deste modelo são apontados benefícios, como:

- O *benchmarking* de práticas de concepção ecológica com base no estado da arte;
- Diagnóstico do perfil de maturidade em DfE atual, ou seja, como está a situação atual para identificação de oportunidades de melhoria e desenvolvimento de um roteiro para alcançar uma situação desejada;
- Melhoria contínua no sentido de níveis de maturidade mais elevados sobre concepção ecológica baseado no quadro de gestão proposto;

- Estabelecimento de uma linguagem comum e uma visão partilhada em toda a organização para a implementação do DfE.

Raz, Druehl e Blass (2013) trazem modelos matemáticos para utilização do DfE em práticas de inovação envolvidos com a demanda do mercado. As empresas devem ser ativamente envolvidas em mudanças de *design* que afetam o impacto ambiental nos estágios de uso ou a melhorar sua eficiência energética impacto ambiental.

Luttropp e Lagerstedt (2006) apresentam em seu trabalho “As dez regras de ouro”, sendo uma ferramenta de *design* para motivar desenvolvimentos de produto de forma pessoal, mas com base genérica. Assim, com base na literatura propõem dez regras para desenvolvimento de produto, sendo:

- Regra 1: Não usar substâncias tóxicas e utilizar circuitos fechados para os tóxicos necessários;
- Regra 2: Minimizar o consumo de energia e recursos na fase de produção e de transporte através de uma melhor organização;
- Regra 3: Usar recursos estruturais e materiais de alta qualidade para minimizar o peso do produto, se tais escolhas não interferem com a necessária flexibilidade, resistência ao impacto ou outras prioridades funcionais;
- Regra 4: Minimizar o consumo de energia e recursos na fase de utilização, especialmente para produtos com os aspectos mais significativos na fase de utilização;
- Regra 5: Promover a reparação e modernização, especialmente para os produtos dependentes do sistema;
- Regra 6: Promover vida longa, especialmente para produtos com aspectos ambientais significativos fora da fase de utilização;
- Regra 7: Investir em melhores materiais, tratamentos de superfície ou arranjos estruturais para proteger os produtos de sujeira, corrosão e desgaste, garantindo assim a manutenção reduzida e maior vida útil do produto;
- Regra 8: Melhorar previamente, reparar e reciclar através da capacidade de acesso, rotulagem, módulos, quebrando pontos e manuais;
- Regra 9: Promover a melhoria, reparação e reciclagem usando poucos, reciclados, materiais simples, não misturados e sem fusão de metais;
- Regra 10: Usar o mínimo de elementos de união possível e utilize parafusos, adesivos, soldadura, encaixe ajustável, fecho geométrico, entre outro, de acordo com o cenário de ciclo de vida.

Os autores afirmam que estas regras podem ser como direcionadores para o DfE e contribuem como uma introdução rápida e fácil, auxiliam em treinamentos de pessoal que utiliza a prática e pode ser utilizado como um *check-list*, não sendo esquecido nenhum ponto importante.

Birch, Hon e Short (2012) identificam quatro mecanismos de saída demonstradas por vinte e duas ferramentas de DfE. Os resultados destes quatro mecanismos estão ligados ao desempenho das ferramentas que foram identificados e classificados como específicos para estratégia ou específico para o produto. Estes mecanismos são: a priorização da estratégia, direção específica da estratégia, estudo de caso específico e problema ou produto específico.

Gouda, Jonnalagedda e Saranga (2016) apresentam quantitativamente um modelo onde o desempenho econômico, social e ambiental são dependentes de regulamentações externas. Assim, este modelo ajudará os fabricantes de automóveis a decidirem os níveis de qualidade para uma certa regulamentação específica.

Short et al. (2012) fazem um comparativo de empresas de manufatura entre Reino Unido e Suécia para adoção de práticas de DfE e seus riscos. Definem que não há muita diferença entre os países quanto a adoção de práticas de DfE e um sério risco para implementação da prática é a não implementação formal. A organização deve implementar de forma clara e formal para que os processos de interajam e não deixe solto por tomadas de decisão adversas.

Pochat, Bertoluci e Froelich (2007) apontam o problema de integração do DfE na organização de uma empresa. Fazer ou estar disponível um manual de uma certa ferramenta não é oir uma integração duradoura na organização. Assim, este *gap* é respondido por duas partes sendo:

- Tornar possível o levantamento de barreiras para a prática de DfE. Estas barreiras estão conectadas com os conhecimentos necessários e existem tanto ao nível da avaliação ambiental do produto quanto no ponto de interpretação dos resultados da avaliação;
- Traz a coerência com a abordagem de concepção ecológica global, fazendo a ligação entre as várias ferramentas orientando a gestão da mudança de forma consistente com a estratégia geral do negócio.

Lofthouse (2006) através de um estudo de caso lança um *framework* para definição de requisitos para o DfE. Com a utilização do *software* da Web “*Information/Inspiration*” em uma empresa do setor de eletrodomésticos define requisitos apresentados na Figura 8.

FIGURA 8 - Framework holístico para design industrial focada em ferramentas de DfE.



Fonte: Traduzido de Lofthouse (2006).

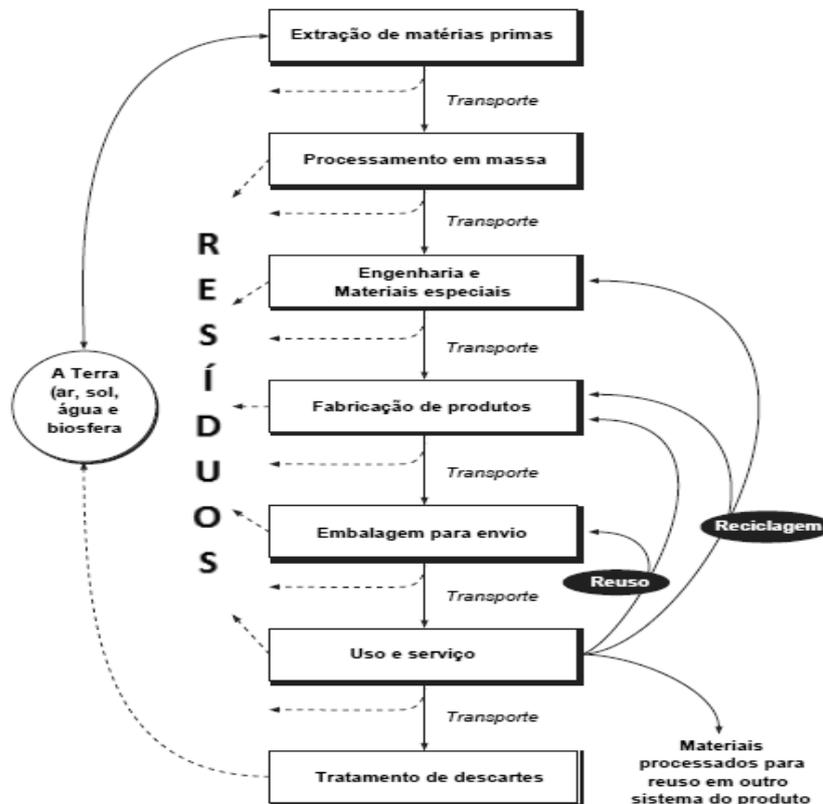
Este composto de requisitos contemplam uma visão holística para DfE contribuindo para os *designers* industriais (LOFTHOUSE, 2006).

Kurk e Eagan (2008) reconhecem que a fase de projeto de desenvolvimento de produtos é fundamental para determinar os custos e rentabilidade, além de uma oportunidade de defender o meio ambiente. Durante esta fase inicial os principais materiais, processos e decisões para fonte de energia determinar os impactos ambientais de um produto para todo o seu ciclo de vida. Na Figura 9 é apresentado o ciclo de vida de um produto e onde os vários estágios do ciclo de vida potencialmente afetam o meio ambiente.

O ideal seria todos os produtos serem fabricados, utilizados e transportados sem o uso ou geração de materiais tóxicos ou perigosos; uma fonte eficiente de energia, compostável, reutilizável, ou recicláveis no final de sua utilidade (KURK; EAGAN, 2008).

Platcheck et al. (2008b) demonstram a aplicação de técnicas de DfE para *re-design* de um compressor de ar de um tanque de peixes. Esta aplicação tem como objetivo a redução de componentes, a minimização de matérias-primas e para os processos de fabricação, o foco principal é a minimização do impacto ambiental no desenvolvimento de novos produtos. O resultado é a conciliação do desenvolvimento sustentável com os interesses econômicos envolvidos no desenvolvimento de um produto.

FIGURA 9 - Representação típica do ciclo de vida.



Fonte: Kurk e Eagan (2008).

Borchardt et al. (2008) trazem descrições de práticas ambientalmente corretas na indústria automotiva, e se finaliza com o processo de implantação, as diretrizes de projeto e uma avaliação preliminar dos resultados até agora alcançados. Os autores abordam também a visão holística da ecologia industrial que sustenta o DfE:

- Concepção de produtos comprometidos com a redução do impacto da extração da matéria-prima;
- Redução do consumo de energia e redução ou eliminação da geração de resíduos;
- Produtos com vida útil maior;
- Reparos de partes defeituosas;
- Descarte que possa reintroduzir as partes no ciclo industrial;
- Disposição final que possa ser reabsorvida pela natureza.

Bonvoisin et al. (2014) apresentam um quadro integrado para a avaliação dos impactos ambientais e para apoiar o projeto de otimização de serviços baseados em Tecnologia da Informação e Comunicação ecologicamente corretas. Este se baseia em um modelo ambiental

de informações e um método de concepção ecológica abrangente considerando três níveis de análise: equipamentos, infra-estrutura e de informação. O quadro é aplicado à concepção ecológica de um serviço de otimização para a recolha de resíduos urbanos com base em uma rede de sensores sem fio.

Brones, de Carvalho e Zancul (2014) afirmam que os conceitos e práticas de gestão de projetos aplicados ao contexto de considerar a sustentabilidade ambiental no desenvolvimento do produto (DfE) foram relatados somente incipientemente em artigos científicos, existindo uma lacuna de conhecimento entre ambos os temas. Os autores apresentam uma proposta de integração entre gerenciamento de projetos e questões ambientais, afirmando que este poderia aumentar a eficácia do DfE aplicado nas empresas.

Byggeth e Hochschorner (2006) analisam ferramentas de DfE no sentido de satisfazer possíveis *trade-offs*, como:

- Material e material: material trocado por outro, onde o *trade-off* pode ser entre pequenas quantidades de um material tóxico e mais em peso de um material menos tóxico;
- Material e energia: em transmissão de energia elétrica, a resistência no cabo faz com que as perdas que requerem a utilização de mais material nos cabos, a fim de economizar energia elétrica. Outro exemplo é o isolamento das casas, onde relativamente mais materiais de isolamento ajudam a economizar energia no inverno;
- Material e custo: um material pode ser trocado por outro num produto e o *trade-off* pode ser entre o menor desempenho de um material mais barato e maior desempenho de um material mais caro.

Os autores afirmam também que ferramentas de DfE devem ser simples e são úteis porque dão uma maneira sistemática para estruturar informações e gerar um resultado relativamente rápido. Nove de quinze ferramentas analisadas prestam apoio em situações de *trade-off*, mas o apoio não é suficiente. A sugestão é que uma ferramenta deve conter uma perspectiva de ciclo de vida e um *framework* para sustentabilidade.

Ardente, Mathieux e Recchioni (2014) promovem que o DfE pode identificar e melhorar o pré-processamento de resíduos na reciclagem de *displays* eletrônicos (tela de computador), com um foco particular sobre o tempo necessário para desmontar alguns componentes-chave. Algumas recomendações são elaboradas:

- Ser reciclados em instalações de tratamento dedicado, de modo a evitar a possível liberações de mercúrio, o que pode causar riscos para a saúde, poluem o ambiente e contaminam outros materiais recicláveis;

- Monitoramento contínuo dos processos de desmontagem em usinas de reciclagem, pois o estudo não obteve dados suficientes de produtos.

Borchardt et al. (2010) apresentam um estudo de caso de em contraforte injetado, produto do ramo calçadista, sendo foco a minimização do impacto ambiental e redução de custo do produto final. A introdução de novas tecnologias, com base no DfE, contribui para gerar vantagem competitiva, melhorar a imagem da empresa e o atendimento a requisitos legais. Por outro lado, convergindo também para o exposto na revisão conceitual, foram observadas dificuldades técnicas no que tange à identificação das melhores opções de materiais, não havendo uma base de dados coerente com a realidade local.

Pigozzo et al. (2010) revelam em seu trabalho que a consciência ambiental tem aumentado em todo o mundo e a inclusão do processo de remanufatura como uma alternativa de fim do ciclo de vida para produtos no Brasil e no mundo, pode se tornar cada vez mais importante da mesma forma que os métodos de concepção ecológica são disponibilizados para *designers*. Não deixa de afirmar que existem várias alternativas de fim do ciclo de vida e que muitas são feitas na fase de concepção, até mesmo porque há necessidade de entender os produtos remanufaturados. De todos os métodos de desmontagem apresentados, alguns são usados como uma estratégia econômica, enquanto outros simplesmente são considerados como um dos meios para melhorar a qualidade ambiental dos produtos.

Alves et al. (2010) apontam que a indústria de automóveis enfrenta um momento de crise. O uso de compósito de fibra natural, produzidos em países em desenvolvimento, têm apresentado várias vantagens sociais, ambientais e econômicas para projetar componentes automotivos "verdes". O autor apresenta uma análise *LCA – Life Cycle Assessment* para substituição de fibras de vidro por fibras de juta como reforço de materiais compósitos para produzir componentes estruturais automotivos

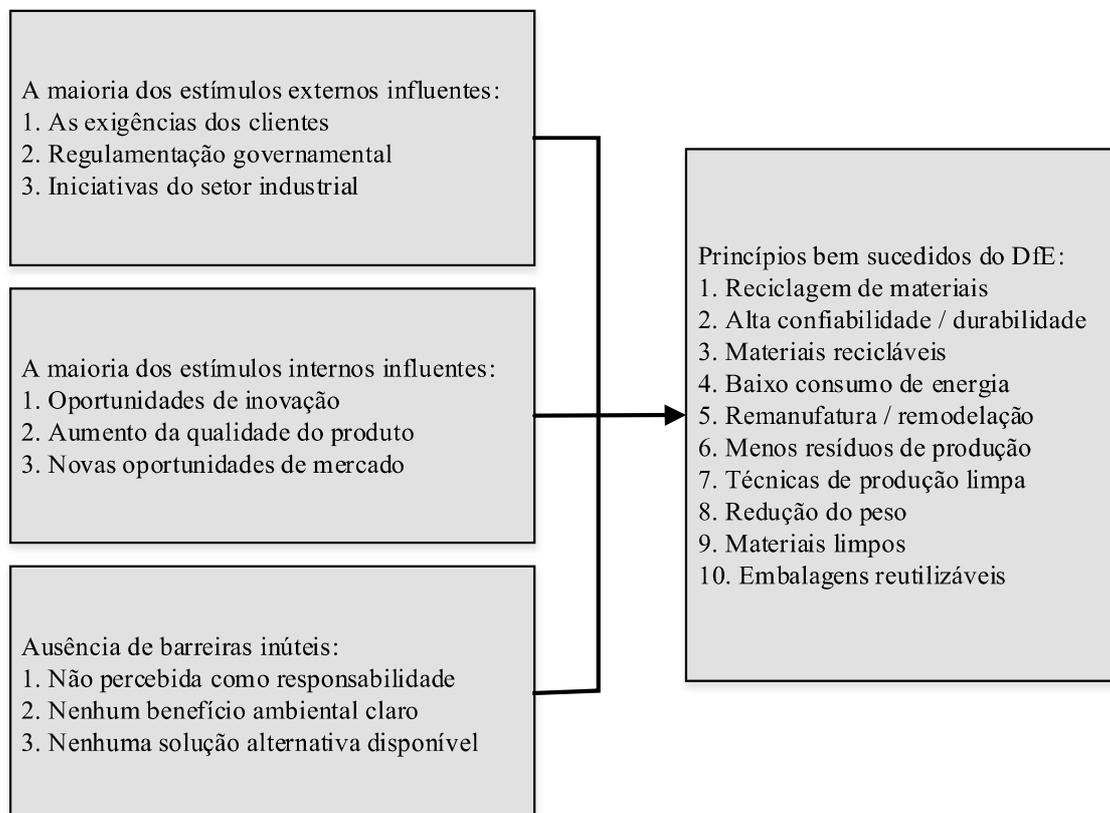
Todos os anos na Europa, veículos em final do ciclo de vida constituem cerca de 8-9 milhões de toneladas de resíduos, que devem ser devidamente geridos. Directiva 2000/53/EC fixa novos objetivos europeus para a recuperação do veículo, além de recuperação de energia em 85%, dos quais 80% reciclados ou reutilizados, até 2006, aumentando para 95% e 85%, respectivamente, em 2015 (PASSARINI et al., 2010). Frente a este cenário, Passarini et al. (2010) propuseram que a utilização do *software* ProdTect pode auxiliar no planejamento e visibilidade para reciclagem. Com esta aplicação, remoção de amortecedores, tanques de combustível, pneus e vidro poderia levar a 84,3% de reciclabilidade, se devidamente reciclado, e remoção do vidro aumenta o indicador. Estes materiais podem ser removidos

durante as atividades de pré-trituração. Além disso, a reciclagem dos bancos do carro resultaram uma parte importante para alcançar o objetivo de 85% de reciclagem total.

Para Park e Tahara (2008) é possível projetar um produto que respeite o meio ambiente, mantendo um elevado nível de qualidade e satisfação do consumidor. Isso foi possível observar através de produtores e consumidores ecoeficientes.

Van Hemel e Cramer (2002) apresentam dez princípios de sucesso para o DfE, apresentado na Figura 10, onde estas são decorrentes de estímulos internos e externo e barreiras do mesmo. As pequenas e médias empresas parecem ter percebido as opções de práticas de DfE que correspondem seus valores comerciais mais tradicionais no desenvolvimento de produtos. Os estímulos internos encontrados de forma mais influentes foram: oportunidades inovadoras, aumento da qualidade do produto e novas oportunidades de mercado. O estudo mostra que a qualidade ambiental é muitas vezes visto como um elemento de qualidade do produto. Também, os aspectos ambientais podem funcionar como um impulso para a inovação de produtos.

FIGURA 10 - Estímulos e barreiras mais influentes e os 10 princípios do DfE de maior sucesso.



Fonte: Van Hemel e Cramer (2002).

Lindahl (2006) conclui em seu trabalho que as práticas de DfE procuradas por *designers* nas ferramentas de DfE devem proporcionar resultados relevantes e confiáveis, além de proporcionar uma fácil adoção da ferramenta. Com base em entrevistas, a escolha da utilização de um método ou ferramenta por um *designer* depende de uma combinação das seguintes razões:

- O método ou ferramenta encontrado é benéfico para eles;
- O cliente requer a utilização do método ou ferramenta;
- O método ou ferramenta abrange questões relevantes que são manipulados em uma base diária;
- O método ou ferramenta não é complicado de usar;

Roca et al. (2012) afirmam que o DfE de um produto implica que diferentes problemas potenciais ambientais de natureza diversa deve ser considerado, além dos critérios de *design* geral, como técnico, funcional, ergonomia, estética ou econômica.

Arana-Landin e Heras-Saizarbitoria (2011) afirmam que empresas consideram essencial a relação entre a redução do impacto ambiental e custos. As empresas apontam que tenham obtido reduções de custo através de ações de DfE. No entanto, quando a redução do impacto ambiental implica um aumento no custo, em geral, clientes não estão dispostos a atender a essa. É por isso que em alguns casos, não é possível resolver certos casos de impacto ambiental, pois isso iria reduzir a competitividade.

Tiruta-Barna et al. (2014) formalizam um procedimento técnico para o processo de DfE dedicado às estações de tratamento de água potável. Este é feito sobre o uso de uma modelagem de processos totalmente integrados com a avaliação do ciclo de vida, denominando *Process Modelling and Life Cycle Assessment - PM-LCA*. Afirmam ainda que este método para ferramenta de DfE combinada com métodos de análise matemáticos apropriados, é uma abordagem audaciosa.

Jeswiet e Hauschild (2005) afirmam que alterações em sistemas produtivos estarão por vir devido a micro e nanotecnologia alterando os impactos ambientais. Estes podem ser esperados com a crescente complexidade dos produtos no setor de ferramentas e máquinas de automação para desenvolvimento de novas técnicas. Assim, a crescente taxa de produção pode alterar os impactos ambientais causados.

Borchardt et al. (2012) verificam a presença da prática do DfE em uma indústria química. Através da literatura foi desdobrado o DfE em itens de verificação. Este foi verificado acerca de 67% de presença com a elaboração do questionário e sua posterior

análise. Para a organização, os autores propõem que ajudará no processo decisório da organização em relação a gestão do projeto do produto, além da aplicação para outras organizações.

Sakundarini et al. (2015) fazem uma análise *SWOT* – *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats* para implementação do DfE em indústrias na Malásia apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 - Análise SWOT para implementação do DfE em indústrias na Malásia.

Forças	Forte consciência de preservação ambiental dentro das indústrias
	Algumas indústrias que aplicaram com sucesso o DfE podem incentivar outras indústrias
	Indústrias têm cumprido amplamente algumas normas ambientais
Fraquezas	Falta de apoio regulamentar
	Falta de infraestrutura e informações
	A maioria das abordagens DfE são tratadas no nível operacional, em vez do nível estratégico
	Ideia de definição que a realização de rendimentos do DfE incorrerá mais despesas, mas o retorno será lento
	Práticas de DfE incidem sobre o re-design ambiental de produtos, em vez de o desenvolvimento de novos conceitos de produtos
	Equívocos de DfE que precisam ser esclarecidos
Oportunidades	Redução de custos, geralmente através de redução de material
	Servindo um nicho de mercado
	Vendendo um serviço em vez de um produto
	Uma imagem de marca corporativa mais competitiva
	Abertura no mercado internacional, especialmente para os países que têm regulamentações ambientais rigorosas
Ameaças	Dinâmica da regra e regulação global
	Competição global

Fonte: Sakundarini et al. (2015)

Os autores (SAKUNDARINI, et al., 2015) também apontam algumas recomendações para melhorar a aplicação do DfE. O estudo foi realizado na Malásia:

- Sensibilização e educação por meio da capacitação do DfE entre as indústrias da Malásia e da construção de uma rede apertada entre as partes interessadas, isto é, entre governo, academia e indústria;
- Implementação do DfE através de um programa de orientação sobre seus métodos e ferramentas, proporcionando um grupo de trabalho regional sobre DfE, prestação

de serviços de informação, incluindo orientação sobre a legislação, recursos de financiamento, e diretrizes para métodos e ferramentas;

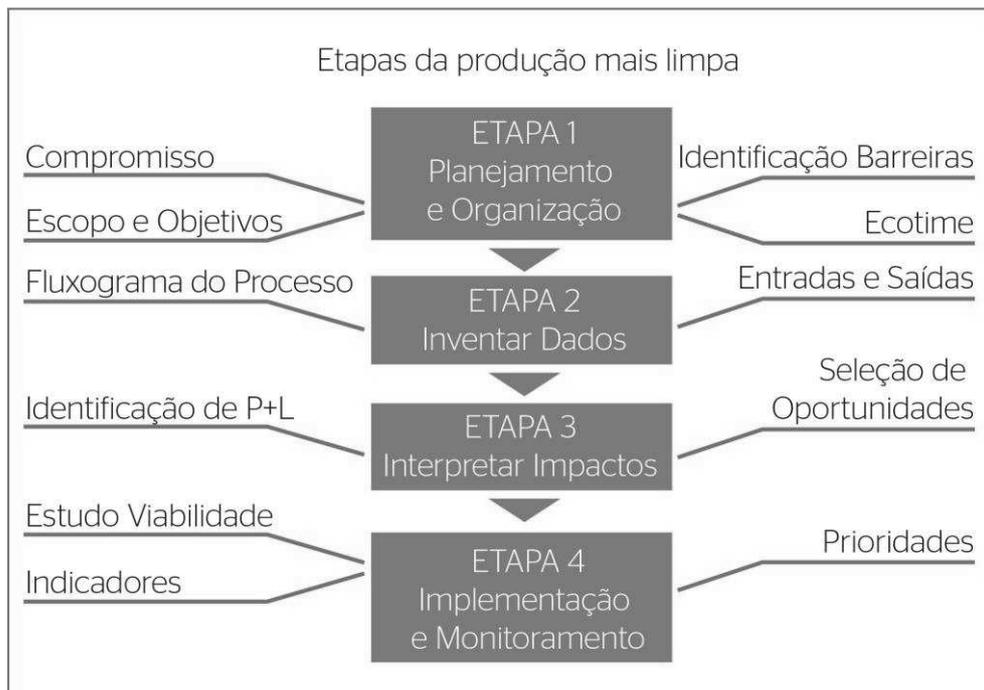
- Apoio do governo à extensa base de dados de informação ambiental que pode ser compartilhado entre as partes interessadas, que incluem melhores práticas, inventário de ciclo de vida, avaliação de impacto ambiental e outros dados ambientais pertinentes;
- As histórias de sucesso de implementação DfE devem ser divulgadas como a melhor prática para o novo adotante para permitir a partilha de informação e apoio.

Os autores também fazem uma análise *SWOT* – *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats* para implementação do DfE em indústrias na Malásia apresentados no Quadro 6.

Silva, Moraes e Machado (2015) fazem uma proposta de produção mais limpa com enfoque no DfE e logística reversa como apresentado na Figura 11. Entre os resultados destacam-se:

- Diminuição na geração de resíduos;
- Melhor reaproveitamento dos resíduos gerados;
- Otimização do uso da água e energia;
- Melhor ambiente de trabalho;
- Maiores e melhores condições de segurança e saúde dos funcionários;
- Disseminação de uma boa imagem da empresa perante a sociedade.

FIGURA 11 - Proposta de produção mais limpa com enfoque em ecodesign e logística reversa.



Fonte: Silva, Moraes e Machado (2015)

Brones e de Carvalho (2015) fazem um mapeamento do estado da arte em uma revisão completa para integração de *Ecodesign* das publicações internacionais. Os principais estudos na área foram classificados e codificados em termos do nível de análise, tipo de publicação, tipo de processo de desenvolvimento de produto, país de investigação, e a evolução temporal dos estudos. Foram estudados 52 modelos de integração identificadas e analisadas em profundidade, onde estes foram resultados apoiados de estudos de caso.

Bovea e Pérez-Belis (2012) fazem uma taxonomia de uma variedade de técnicas desenvolvidas para avaliar a exigência ambiental de produtos efetuando sua integração no processo de *design* de produto mais facilmente. Essas ferramentas variam muito em sua complexidade, a qualidade e o tempo necessário para aplicá-los, e nenhuma classificação clara foi elaborado para permitir que a técnica mais adequada para ser selecionado para cada aplicação. O trabalho dos autores, para tal classificação e comparação das ferramentas de integração, foram utilizados dois critérios, sendo a fase de processo de projeto (descrição da função, definição de requisitos, a geração de alternativas de *design*, *design* alternativo de comparação e seleção da melhor alternativa) e a dificuldade relativo ao tempo necessário (baixa, média e alta).

Kengpol e Boonkanit (2008) apresentam um quadro de apoio à decisão para o desenvolvimento do DfE na fase conceitual baseado na ISO/TR 14062:2002. São apresentados quatro grandes contribuições para utilização do quadro:

- Sua utilização pode gerar um custo mais baixo e impactar positivamente sobre o *design*;
- A equipe de *design* pode aplicar um método de tomada de decisão eficiente na orientação de investimento para um novo desenvolvimento do produto. Este método apresenta a comparação de opções de redesenho e a comparação entre o valor-alvo esperado de um dos interessados entre produtos competitivos e produtos existentes;
- Os *stakeholders* podem escolher uma opção de *redesign* adequado para um maior desenvolvimento do produto;
- Este conceito pode aplicar amplamente para várias indústrias na criação de eco-rotulagem tipo II (ISO 14021:1999), um rótulo para identificar a preferência ambiental global de um produto ou serviço dentro de uma categoria específica com base em considerações sobre o ciclo de vida.

González-García et al. (2011) determinam o potencial de aquecimento global de vários produtos de madeira como um critério ambiental para seu DfE. Duas metodologias foram

combinadas: a quantificação das emissões de gases para o efeito de estufa (CO2 equivalente) e a integração dos aspectos ambientais na concepção de produtos. A implementação de DfE no desenvolvimento dos produtos à base de madeira ajuda a desenvolver e introduzir alternativas no processo de produção, que permitam reduzir o impacto ambiental, bem como a identificação de alternativas de melhoria a serem implementadas em um curto período de tempo.

Os autores citam alternativas utilizadas focadas no uso de energias renováveis como as células fotovoltaicas, uso de fibras nacionais ou alterações nos materiais utilizados. Todas elas apresentaram um melhor perfil ambiental em comparação com o processo de produção corrente com melhorias de até 60%.

Boks e Stevels (2007) afirmam que a consolidação do conhecimento, informação e experiências na aplicação do DfE pode-se ocorrer erros devido o nível de maturidade da organização.

Boks (2006) observa que existem paradigmas importantes para o DfE, como a organização formal, desenvolvimento de ferramentas, personalização e compromisso formal de gestão. Assim, salienta que a aplicação do DfE possui um lado sensível, sendo obstáculos. Com base em sua pesquisa, três principais obstáculos na disseminação de informações do DfE são:

- Lacuna entre os defensores de DfE e aqueles que têm para executá-lo;
- Complexidades de organização, falta de infra-estruturas adequadas;
- Falta de cooperação entre os departamentos;
- Falta de compromisso e apoio da gestão;
- Ferramentas muito complexas disponíveis na empresa;
- Falta de contexto industrial em geral; nenhuma ligação entre a empresa e as

considerações ambientais.

2.1.2 Análise dos resultados da RBS para Design for Environment

Os resultados da RBS para *Design for Environment* apresentam algumas diversificações quanto aos trabalhos encontrados, sendo modo de execução, sua metodologia, a real necessidade de utilização e implementação.

Na leitura dos artigos, quando observados os objetivos de cada um, pôde-se extrair aspectos semelhantes que acabam aparecendo de forma comum. Estes foram identificados e transformados em palavras-chave, sendo qualidade, inovação, estratégia, melhoria ambiental, avaliação ambiental, ferramenta, integração, setor ou produto específico estudado. Estes são aspectos que são relacionados nos trabalhos ao DfE, mediante as limitações desta RBS apresentadas no Apêndice A.

Park e Tahara (2008) afirmam que a ecoeficiência proporcionada através do DfE pode trazer também um aumento da qualidade do produto e satisfação do cliente. Gouda, Jonnalagedda e Saranga (2016) também abordam o assunto qualidade, onde os resultados de seu trabalho mostram que em termos de regulamentação, embora os consumidores de mercados emergentes podem não valorizam a qualidade ambiental, as grandes economias de escala irão garantir qualidades tradicionais e ambientais mais elevados, bem como os lucros mais elevados para o fabricante de automóveis, produto do setor pesquisado.

São vários os trabalho que atrelam o DfE com inovação (ARDENTE; MATHIEUX; RECCHIONI, 2014; BORCHARDT et al., 2010; BRONES; DE CARVALHO, 2015; BRONES; DE CARVALHO; ZANCUL, 2014; KURK; EAGAN, 2008; PIGOSSO; ROZENFELD; MCALOONE, 2013; PLATCHECK et al., 2008a; PLOUFFE et al., 2011; RAZ; DRUEHL; BLASS, 2013; VAN HEMEL; CRAMER, 2002).

Outros autores apontam que o DfE pode ser utilizado como uma estratégia organizacional para redução dos impactos ambientais (ARDENTE; MATHIEUX; RECCHIONI, 2014; BIRCH; HON; SHORT, 2012; BOKS, 2006; BOKS; STEVELS, 2007; BORCHARDT et al., 2008; BORCHARDT et al., 2010; BRONES; DE CARVALHO; ZANCUL, 2014; BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2011; KENGPOL; BOONKANIT, 2008; LOFTHOUSE, 2006; PIGOSSO et al., 2010; PIGOSSO; ROZENFELD; MCALOONE, 2013; PLATCHECK et al., 2008a; PLATCHECK et al., 2008b; PLOUFFE et al., 2011; POCHAT; BERTOLUCI; FROELICH, 2007; SHORT et al., 2012; VAN HEMEL; CRAMER, 2002).

Trabalhos apresentam o DfE como sendo um propulsor da melhoria ambiental no ciclo de desenvolvimento do produto (ALVES et al., 2010; ANDRIANKAJA et al., 2015; BIRCH; HON; SHORT, 2012; BONILLA et al., 2010; BORCHARDT et al., 2008; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2011; PLATCHECK et al., 2008a; VAN HEMEL; CRAMER, 2002).

O DfE não somente é utilizado como uma prática de gestão ambiental como um avaliador do processo ambiental do processo e do produto (ANDRIANKAJA et al., 2015; ARANA-LANDIN; HERAS-SAZARBITORIA, 2011; BONILLA et al., 2010; BONVOISIN

et al., 2014; BORCHARDT et al., 2012; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2011; GOUDA; JONNALAGEDDA; SARANGA, 2016; KENGPOL; BOONKANIT, 2008; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006; PASSARINI et al., 2010).

DfE é tratado na aplicação de algumas de suas ferramentas e também na elaboração de outras específicas, apresentando novos métodos ou metodologias aplicáveis (ANDRIANKAJA et al., 2015; ARANA-LANDIN; HERAS-SAZARBITORIA, 2011; ARDENTE; MATHIEUX; RECCHIONI, 2014; BIRCH; HON; SHORT, 2012; BOKS, 2006; BOKS; STEVELS, 2007; BONILLA et al., 2010; BONVOISIN et al., 2014; BORCHARDT et al., 2008; BORCHARDT et al., 2010; BORCHARDT et al., 2012; BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012; BRONES; DE CARVALHO, 2015; BRONES; DE CARVALHO; ZANCUL, 2014; BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2011; GOUDA; JONNALAGEDDA; SARANGA, 2016; HERNANDEZ et al., 2012; JESWIET; HAUSCHILD, 2005; KENGPOL; BOONKANIT, 2008; KURK; EAGAN, 2008; LINDAHL, 2006; LOFTHOUSE, 2006; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006; PARK; TAHARA, 2008; PASSARINI et al., 2010; PIGOSSO et al., 2010; PIGOSSO; ROZENFELD; MCALOONE, 2013; PLATCHECK et al., 2008; PCHAT; BERTOLUCI; FROELICH, 2007; RAZ; DRUEHL; BLASS, 2013; ROCA et al., 2012; SAKUNDARINI et al., 2015; SHORT et al., 2012; SILVA; MORAES; MACHADO, 2015; TIRUTA-BARNA et al., 2014; ZHANG et al., 2011).

É proposto por vários autores a tentativa de integração de ferramentas do DfE com aspectos organizacionais, tanto por requisitos de clientes como processos existentes (ARANA-LANDIN; HERAS-SAZARBITORIA, 2011; BOKS, 2006; BOKS; STEVELS, 2007; BONILLA et al., 2010; BONVOISIN et al., 2014; BORCHARDT et al., 2010; BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012; BRONES; DE CARVALHO, 2015; BRONES; DE CARVALHO; ZANCUL, 2014; BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; JESWIET; HAUSCHILD, 2005; KENGPOL; BOONKANIT, 2008; KURK; EAGAN, 2008; LINDAHL, 2006; LOFTHOUSE, 2006; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006; PARK; TAHARA, 2008; PIGOSSO et al., 2010; PIGOSSO; ROZENFELD; MCALOONE, 2013; PLATCHECK et al., 2008b; PLOUFFE et al., 2011; PCHAT; BERTOLUCI; FROELICH, 2007; ROCA et al., 2012; SHORT et al., 2012; TIRUTA-BARNA et al., 2014; ZHANG et al., 2011).

São vários os trabalhos relacionados com DfE em setores ou produtos específicos (ALVES et al., 2010; ANDRIANKAJA et al., 2015; ARDENTE; MATHIEUX; RECCHIONI, 2014; BOKS; STEVELS, 2007; BONILLA et al., 2010; BONVOISIN et al., 2014; BORCHARDT et al., 2008; BORCHARDT et al., 2010; BORCHARDT et al., 2012;

BRONES; DE CARVALHO; ZANCUL, 2014; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2011; GOUDA; JONNALAGEDDA; SARANGA 2016; JESWIET; HAUSCHILD, 2005; LINDAHL, 2006; LOFTHOUSE, 2006; PARK; TAHARA, 2008; PASSARINI et al., 2010; PIGOSSO; ROZENFELD; MCALOONE, 2013; PLATCHECK et al., 2008a; PLATCHECK et al. 2008b; PLOUFFE et al., 2011; POCHAT; BERTOLUCI; FROELICH, 2007; RAZ; DRUEHL; BLASS, 2013; ROCA et al., 2012; SAKUNDARINI et al., 2015; SHORT et al., 2012; SILVA; MORAES; MACHADO, 2015; TIRUTA-BARNA et al., 2014; VAN HEMEL; CRAMER, 2002; ZHANG et al., 2011). Trinta trabalhos dos quarenta e um relacionados para a RBS fazem menção específica de produto ou setor como relacionado na Tabela 2. A maioria é relacionada em empresas manufatureiras de diferentes produtos, como eletrônicos, automóveis, etc.

Muitos trabalhos concentram-se em aplicações diferentes do DfE. Cada um trazendo resultados em um setor ou produto específico e de formas distintas. Também muitos ainda buscam nesta aplicação integrar suas práticas as rotinas organizacionais.

Para representação do exposto nesta análise da RBS para *Design for Environment*, é apresentada a Tabela 2 que evidencia todo o desdobramento dos trabalhos por grupos de estudo e suas características. Também, mediante esta análise foi elaborada a Tabela 3, onde foram contadas as palavras nos trabalhos, buscando justificar e reforçar as características encontradas. Não foi considerado na contagem onde apareciam em glossários, referências bibliográficas e quando apareciam em traduções para outra língua, onde neste caso aparecia de forma repetida.

Assim, pode-se dizer que as abordagens tratadas nos trabalhos de DfE são relativos a qualidade, inovação, estratégia, melhoria ambiental, avaliação ambiental, ferramentas e integração em um setor ou produto específico. Importante ressaltar que esta afirmação considera uma RBS, onde foram definidos critérios para seleção dos trabalhos que mais poderiam contribuir com os estudos desta pesquisa.

Para atender os objetivos desta RBS foi elaborado um mapeamento de várias práticas identificadas na literatura para o DfE. Estas são apresentadas no Quadro 7, onde as práticas foram divididas por ênfase no ciclo de desenvolvimento do produto. Aquelas que não tem uma ênfase própria para manufatura, uso ou disposição foram separadas para a etapa de desenvolvimento, onde é aplicada a prática efetivamente visando todas as etapas do ciclo.

TABELA 2 - Síntese da análise da RBS para Design for Environment.

Autores	Características dos trabalhos							
	Qualidade	Inovação	Estratégia	Melhoria ambiental	Avaliação ambiental	Ferramenta	Integração	Setor/Produto específico
Alves et al. (2010)				√				√
Andriankaja et al. (2015)				√	√	√		√
Arana-Landin e Heras-Saizarbitoria (2011)					√	√	√	
Ardente, Mathieux e Recchioni (2014)		√	√			√		√
Birch, Hon e Short (2012)			√	√		√		
Boks (2006)			√			√	√	
Boks e Stevels (2007)			√			√	√	√
Bonilla et al. (2010)				√	√	√	√	√
Bonvoisin et al. (2014)					√	√	√	√
Borchardt et al. (2008)			√	√		√		√
Borchardt et al. (2010)		√	√			√	√	√
Borchardt et al. (2012)					√	√		√
Bovea e Pérez-Belis (2012)						√	√	
Brones e de Carvalho (2015)		√				√	√	
Brones, de Carvalho e Zancul (2014)		√	√			√	√	√
Byggeth e Hochschorner (2006)			√			√	√	
González-García et al. (2011)			√	√	√	√		√
Gouda, Jonnalagedda, Saranga (2016)	√				√	√		√
Hernandez et al. (2012)						√		
Jeswiet e Hauschild (2005)						√	√	√
Kengpol e Boonkanit (2008)			√		√	√	√	
Kurk e Eagan (2008)		√				√	√	
Lindahl (2006)						√	√	√
Lofthouse (2006)			√			√	√	√
Luttrupp e Lagerstedt (2006)					√	√	√	
Park e Tahara (2008)	√					√	√	√
Passarini et al. (2010)					√	√		√
Pigosso et al. (2010)			√			√	√	
Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013)		√	√			√	√	√
Platcheck et al. (2008a)		√	√	√		√		√
Platcheck et al. (2008b)			√				√	√
Plouffe et al. (2011)		√	√				√	√
Pochat, Bertoluci e Froelich (2007)			√			√	√	√
Raz, Druehl e Blass (2013)		√				√		√
Roca et al. (2012)						√	√	√
Sakundarini et al. (2015)						√		√
Short et al. (2012)			√			√	√	√
Silva, Moraes e Machado (2015)						√		√
Tirutá-Barna et al. (2014)						√	√	√
van Hemel e Cramer (2002)		√	√	√				√
Zhang et al. (2011)						√	√	√

Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 3 - Síntese da análise da RBS para Design for Environment quantitativa.

Autores	Características dos trabalhos							
	Qualidade	Inovação	Estratégia	Melhoria ambiental	Avaliação ambiental	Ferramenta	Integração	Setor/Produto específico
Alves et al. (2010)				5				17
Andriankaja et al. (2015)				41	49	85		11
Arana-Landin e Heras-Saizarbitoria (2011)					4	8	10	
Ardente, Mathieux e Recchioni (2014)		5	5			7		69
Birch, Hon e Short (2012)			83	20		178		
Boks (2006)			10			32	17	
Boks e Stevels (2007)			25			11	10	15
Bonilla et al. (2010)				10	28	12	3	27
Bonvoisin et al. (2014)					24	2	4	115
Borchardt et al. (2008)			4	6		20		16
Borchardt et al. (2010)		6	5			52	4	5
Borchardt et al. (2012)					18	22		5
Bovea e Pérez-Belis (2012)						75	49	
Brones e de Carvalho (2015)		38				41	94	
Brones, de Carvalho e Zancul (2014)		13	13			22	38	3
Byggeth e Hochschorner (2006)			43			158	4	
González-García et al. (2011)			16	31		1		29
Gouda, Jonnalagedda, Saranga (2016)	160				6	3		7
Hernandez et al. (2012)						88		
Jeswiet e Hauschild (2005)						10	2	28
Kengpol e Boonkanit (2008)			6		11	12	13	
Kurk e Eagan (2008)		6				31	10	
Lindahl (2006)						231	12	2
Lofthouse (2006)			10			115	6	5
Luttropp e Lagerstedt (2006)					2	62	3	
Park e Tahara (2008)	46					9	7	22
Passarini et al. (2010)					5	5		8
Pigosso et al. (2010)			40			25	8	
Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013)		5	29			58	15	16
Platcheck et al. (2008a)		5	5	7		7		24
Platcheck et al. (2008b)			5				2	36
Plouffe et al. (2011)		7	11				6	15
Pochat, Bertoluci e Froelich (2007)			19			125	49	6
Raz, Druehl e Blass (2013)		153				4		18
Roca et al. (2012)						19	14	17
Sakundarini et al. (2015)						38		59
Short et al. (2012)			12			10	10	12
Silva, Moraes e Machado (2015)						16		1
Tiruta-Barna et al. (2014)						13	6	1
van Hemel e Cramer (2002)		24	23	49				54
Zhang et al. (2011)						4	4	14
Média	103	26	19	21	16	44	15	22

Fonte: Elaborado pelo autor.

QUADRO 7 – Práticas de Design for Environment na literatura pela RBS.

Fase	Práticas de Design for Environment	Literatura
Desenvolvimento/ Concepção	Reduzir ou eliminar o uso de materiais ligados à degradação da camada de ozônio e às mudanças climáticas, durante o ciclo de vida	Giannetti e Almeida (2006); González-García et al. (2011); Borhardt et al. (2008); Short et al. (2012)
	Entender o produto como ambientalmente correto por todo o seu ciclo de vida	Giannetti e Almeida (2006); Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); van Hemel e Cramer (2002)
	Escolher os materiais mais adequados, naturais ou não, com base na avaliação do ciclo de vida	Giannetti e Almeida (2006); González-García et al. (2011); Passarini et al. (2010)
	Ter em conta o menor consumo de energia, maximizando o uso de fontes renováveis de energia	Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Passarini et al. (2010); van Hemel e Cramer (2002); van Hemel e Cramer (2002)
	Usar o mínimo de material e evitar a utilização de materiais escassos	Giannetti e Almeida (2006)
	Reduzir ou eliminar o uso de materiais tóxicos, inflamáveis ou explosivos durante o ciclo de vida	Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Borhardt et al. (2008); Jeswiet e Hauschild (2005); Boks (2006); Park e Tahara (2008); Ardente, Mathieux e Recchioni (2014); Kurk e Eagan (2008)
	Alcançar ou exceder as metas regulamentares	Giannetti e Almeida (2006)
	Usar materiais de alta qualidade para minimizar o peso do produto, se tais escolhas não interferem com a necessária flexibilidade, resistência ao impacto ou outras prioridades funcionais	Luttrupp e Lagerstedt (2006); Fiksel (2009); van Hemel e Cramer (2002); Alves et al. (2010); Park e Tahara (2008)
	Investir em melhores materiais, tratamentos de superfície ou arranjos estruturais para proteger os produtos de sujeira, corrosão e desgaste, garantindo assim a manutenção reduzida e maior vida útil do produto	Luttrupp e Lagerstedt (2006)
	Usar o mínimo de elementos de união possível e utilize parafusos, adesivos, soldadura, encaixe ajustável, fecho geométrico, entre outro, de acordo com o cenário de ciclo de vida	Luttrupp e Lagerstedt (2006)
	Utilização de uma ferramenta disponível para o DfE como apoio, onde nela contemple várias práticas a serem utilizadas na concepção do produto e processo	Andriankaja et al. (2015); Passarini et al. (2010); Hernandez et al. (2012); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Lofthouse (2006); Lindahl (2006); Tiruta-Barna et al. (2014); Byggeth e Hochschorner (2006); Bireh, Hon e Short (2012); Kurk e Eagan (2008)
	Integrar o processo de DfE na cadeia de valor da empresa	Andriankaja et al. (2015); Bovea e Pérez-Bélis (2012); Brones e de Carvalho (2015); Pochat, Bertoluci e Froelich (2007); Boks (2006)
	Identificar prazos para a realização de práticas na fase de desenvolvimento do produto	Andriankaja et al. (2015)
Realização de uma análise de sensibilidade ou incerteza, buscando garantir um intervalo de confiança nos resultados do projeto	Andriankaja et al. (2015)	
Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança, econômicos, jurídicos e funcionais	Bovea e Pérez-Bélis (2012); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Brones, de Carvalho e Zancul (2014); Brones e de Carvalho (2015); Pochat, Bertoluci e Froelich (2007); Arana-Landin e Heras-Saizarbitoria (2011); Boks (2006)	
Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências de segurança	Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); Raz, Druehl e Blass (2013); Jeswiet e Hauschild (2005); Luttrupp e Lagerstedt (2006)	

Desenvolvimento/ Concepção	<p>Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências econômicas</p> <p>Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências funcionais</p> <p>Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências jurídicas/legais</p> <p>Utilizar de ferramentas DfE que são de fácil utilização</p> <p>Otimização dos custos e impactos ambientais visando a análise do ciclo de vida</p> <p>Definir critérios para definição das informações, a fim de coletar informações precisas não perdendo tempo com aquelas que não agregam valor na fase de desenvolvimento</p> <p>Empregar um modo de transporte com energia eficiente</p> <p>Identificar e aplicar os requisitos de clientes para o produto e processo</p> <p>Assegurar o compromisso, apoio e recursos para executar atividades relacionadas a concepção ecológica</p> <p>Incorporar tarefas de concepção ecológica para a rotina diária de empregados relevantes</p> <p>Definir critérios ambientais para definição dos equipamentos, como reduzindo o consumo de energia elétrica</p>	<p>Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); Raz, Druehl e Blass (2013); Jeswiet e Hauschild (2005); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Pigosso et al. (2010); Plouffe et al. (2011)</p> <p>Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); Passarini et al. (2010); Raz, Druehl e Blass (2013); Jeswiet e Hauschild (2005) Luttrupp e Lagerstedt (2006); Pigosso et al. (2010)</p> <p>Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); Passarini et al. (2010); Sakundarini et al. (2015); Gouda, Jonnalagedda, Saranga (2016); Jeswiet e Hauschild (2005); Luttrupp e Lagerstedt (2006) Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013); Pigosso et al. (2010) Ardenfe, Mathieux e Recchioni (2014)</p> <p>Bovea e Pérez-Bélis (2012); Hernandez et al. (2012); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Lofthouse (2006); Lindahl (2006); Byggeth e Hochschormer (2006); Birch, Hon e Short (2012); Kurk e Eagan (2008)</p> <p>Bonvoisin et al. (2014); González-García et al. (2011); Raz, Druehl e Blass (2013); Park e Tabara (2008); Kurk e Eagan (2008)</p> <p>Bonvoisin et al. (2014)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002)</p> <p>Zhang et al. (2011)</p> <p>Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013); Plouffe et al. (2011)</p> <p>Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013)</p> <p>Bonvoisin et al. (2014)</p>
Produção/ Manufatura	<p>Definir critérios ambientais para definição da infraestrutura, utilizando-se do mínimo de recursos possíveis no contexto organizacional</p> <p>Minimizar os resíduos gerados no processo produtivo</p> <p>Utilização de materiais com menor energia empregada em sua fabricação ou extração</p> <p>Utilização de menor volume de componentes no produto</p> <p>Projetar o processo de fabricação com técnicas de produção mais limpa</p> <p>Menor número possível de processos para a produção</p> <p>Buscar uma menor eliminação de resíduos na produção</p> <p>Menor utilização possível de materiais de consumo no processo de produção</p> <p>Utilizar materiais limpos para embalagens, de baixa energia empregada e ausência de produtos tóxicos em sua composição</p>	<p>Bonvoisin et al. (2014); Kurk e Eagan (2008)</p> <p>Luttrupp e Lagerstedt (2006); Fiksel (2009)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002); Platcheck et al. (2008b)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002); Silva, Moraes e Machado (2015)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002); Platcheck et al. (2008a)</p> <p>van Hemel e Cramer (2002)</p>
Uso/ Utilização	<p>Melhorar a logística de distribuição, minimizando a necessidade de transporte</p> <p>Aumentar a vida do produto</p>	<p>Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); González-García et al. (2011); van Hemel e Cramer (2002); Alves et al. (2010)</p> <p>Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006)</p>

	Reduzir ou eliminar o armazenamento e emissão de materiais perigosos	Giannetti e Almeida (2006)
	Buscar projetar o produto de forma multifuncional	Luttrupp e Lagerstedt (2006); Fiksel (2009)
	Buscar o reaproveitamento dos resíduos gerados do uso do produto	Luttrupp e Lagerstedt (2006); Fiksel (2009); Borchardt et al. (2008)
	Menor utilização de energia na utilização do produto	van Hemel e Cramer (2002)
	Fontes de energias limpas empregadas na utilização do produto	van Hemel e Cramer (2002)
	Utilização de poucos materiais de consumo na utilização do produto	van Hemel e Cramer (2002)
	Materiais de consumo para utilização do produto que são limpos	van Hemel e Cramer (2002)
	Obter um produto que não tenha desperdício de energia quanto sua utilização	van Hemel e Cramer (2002)
	Alta durabilidade e confiabilidade do produto no início de sua vida útil	van Hemel e Cramer (2002)
	Estrutura do produto de forma modular ou adaptável as necessidades dos clientes	van Hemel e Cramer (2002)
	Buscar uma forte relação do produto com seu consumidor ou usuário	van Hemel e Cramer (2002)
	Produto para uso de forma compartilhada	van Hemel e Cramer (2002)
	Otimização funcional e integração de funções para o produto	van Hemel e Cramer (2002)
	Empregar produtos recicláveis ou reutilizáveis, reduzindo o uso de materiais virgens. Emprego de uma logística reversa.	Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Passarini et al. (2010); van Hemel e Cramer (2002); Alves et al. (2010); Boks (2006); Short et al. (2012); Silva, Moraes e Machado (2015); Ardent, Mathieux e Recchioni (2014)
	Promover a reparação e modernização	Luttrupp e Lagerstedt (2006)
	Utilizar material retornável ou reutilizável para embalagem	Roca et al. (2012); Passarini et al. (2010); van Hemel e Cramer (2002)
	Utilização de materiais renováveis	van Hemel e Cramer (2002)
	Fácil manutenção e reparo do produto	van Hemel e Cramer (2002)
	Reuso do produto em seu fim de vida	van Hemel e Cramer (2002)
	Projetar um processo de remanufatura ou renovação para o produto	van Hemel e Cramer (2002); Sakundarini et al. (2015); Pigosso et al. (2010)
	Incineração segura para o fim de vida do produto (recuperação de energia)	van Hemel e Cramer (2002)
	Eliminação segura dos restos do produto para sua disposição	van Hemel e Cramer (2002); Borchardt et al. (2008)
	Desmaterialização como conceito de concepção do produto	van Hemel e Cramer (2002)

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 Lean Manufacturing

O conceito de *Lean Manufacturing* concentra-se em estratégias de operações, processos, tecnologia, qualidade, capacidade, arranjo físico, cadeias de suprimento, estoque e planejamento de recursos. Sistemas de produção enxuta agrupam tudo isso criando processos eficientes (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004). Pode ser definido como um conjunto de práticas com foco na redução de resíduos e atividades sem valor agregado a partir de operações de fabricação de uma empresa (WOMACK; JONES; ROOS, 1990; MCLACHLIN, 1997; SHAH; WARD, 2003; SHAH; WARD, 2007; LI et al., 2005; BROWNING; HEATH, 2009). Shingo (1996), Ohno (1997) e Womack e Jones (2004) complementam afirmando que a eliminação dos desperdícios na cadeia produtiva deve ser de forma sistemática e sustentável.

Ohno (1997) denominou essa forma de abordar a produção como Sistema Toyota de Produção (STP), estabelecendo como passo preliminar a identificação e eliminação dos desperdícios, ou seja, de todo o gasto ou despesa inútil que não gera valores. O conceito de desperdício proposto por Ohno (1997) e Shingo (1996) trata do entendimento das sete perdas: perdas por superprodução, perdas por transporte, perdas no processamento, produção de produtos defeituosos, perdas nos estoques, perdas no movimento e as perdas por espera.

Womack e Jones (1998) define que o pensamento enxuto é definido de acordo com cinco princípios chave:

- Valor específico: o valor é definido a partir da perspectiva do cliente final em cumprimento a um produto específico com recursos específicos oferecidos em um momento requerido;
- Identificar fluxos de valor: de cada produto (ou da família de produtos) o fluxo de valor inteiro é identificado, e os resíduos são eliminados em conformidade;
- Fazer o fluxo de valor: as etapas de criação de valor restantes são coordenadas a fluir;
- Deixe o valor de puxar ao cliente: a empresa projeta o que o cliente quer e deve fornecer somente quando o cliente solicitar;
- Perseguir a perfeição: a empresa se esforça para perfeição por continuamente eliminação de desperdícios quando são descobertos.

Segundo Rahani e Al-Ashraf (2012), o *Lean Manufacturing* é uma das principais iniciativas de fábricas da Ásia, principalmente na Malásia, a fim de se manterem competitivas em um mercado global. Womack, Jones e Roos (2004) pelo *Massachusetts Institute of*

Technology – MIT contemplam também que é o maior impulso em direção à ampliação dos mercados, na medida em que aumenta a eficiência do sistema produtivo reduzindo os custos. O *Lean Manufacturing* tornou-se a maneira mais viável de se organizar a produção para se conseguir, simultaneamente, altos níveis de produtividade, qualidade e complexidade dos produtos (KRAFCIK, 1988).

Shinohara (1988) afirma que o sistema *Lean* busca uma tecnologia de produção que utilize a menor quantidade de equipamentos e mão-de-obra para produzir bens sem defeitos no menor tempo possível, com o mínimo de unidades intermediárias, entendendo como desperdício todo e qualquer elemento que não contribua para o atendimento da qualidade, preço ou prazo requeridos pelo cliente. Elimina-se todo desperdício por meio de esforços concentrados da administração, pesquisa e desenvolvimento, produção, distribuição e todos os departamentos da empresa (SHINOHARA, 1988).

De acordo com os estudos de King e Lenox (2001) é proposto que o *Lean* seja complementar ao desempenho ambiental. Afirmam que sua adoção pode diminuir o custo marginal de poluição, devido uma prática de prevenção na fonte.

Partindo do pressuposto do *Lean* para a eliminação do desperdício, Hines e Taylor (2000) definem três diferentes tipos de atividades relacionadas ao desperdício quanto à sua organização: atividades que agregam valor; atividades desnecessárias que não agregam valor e atividades necessárias que não agregam valor. A primeira se refere a atividades que, do ponto de vista do cliente, agregam valor ao produto; a segunda descreve as atividades que não agregam valor ao produto e que são desnecessárias. Estas atividades se resumem em desperdícios e devem ser eliminadas a curto e médio prazo; e por fim a terceira que concorda que, por mais que tais atividades não agreguem valor ao produto, são necessárias, de acordo com o cliente. Este tipo de desperdício é difícil de ser eliminado em curto prazo, portanto, necessitam de um tratamento em longo prazo.

Assim, faz-se necessária uma estimativa de custo para cada atividade produtiva, para ter a certeza de que se está utilizando para cada processo as técnicas mais eficazes em matéria de custos; a análise de valor agregado, que confronta a diferença entre a linha dos custos totais de um processo e os custos daquilo que efetivamente agrega valor ao produto, o que a torna uma excelente ferramenta para identificar os custos dos vários tipos de desperdícios; assim como a determinação do tempo de ciclo, ou seja, o tempo necessário à conclusão de todo o processo (NAZARENO; RENTES; SILVA, 2001). Esta análise é normalmente executada através do acompanhamento do trabalho das atividades exigidas no processo de produção e da documentação da mesma, como apresentam Nazareno, Rentes e Silva (2001) em seu trabalho.

Vale ressaltar que na realização de um mapeamento, tanto o fluxo de processos quanto o de informações devem ter a mesma importância, pois o foco somente na produção, onde não é considerado o desperdício do fluxo de informações, pode aumentar ou reduzir o valor agregado, dependendo da sua estrutura.

Rother e Shook (1999) defendem que numa cadeia de produção, os processos individuais devem estar conectados aos seus clientes por meio de um fluxo contínuo, ou seja, aproximar cada processo de produzir apenas o que os clientes precisam e quando precisam. Além disso, há outro fluxo que diz para cada processo o que fabricar ou fazer em seguida, sendo o fluxo da informação. Este deve ter tanta importância quanto o fluxo de produção (ROTHER; SHOOK, 2003).

O fluxo contínuo é um dos maiores objetivos do *Lean*, devido ao fato de que cada vez mais empresas estão progredindo na criação de áreas de fluxo contínuo ao mesmo tempo em que mais gerentes conhecem o mapeamento do fluxo de valor e compreendem o poder das células em fluxo contínuo (HARRIS; HARRIS; WILSON, 2004).

Faulkner e Badurdeen (2014) associam o *Lean Manufacturing* e operação sustentável, sendo práticas de *Lean* usadas e avaliadas como um catalisador para desenvolver melhores estratégias para operações sustentáveis. Mas, fabricação sustentável envolve não apenas a realização de produtos mais sustentáveis, mas também utilizando processos mais sustentáveis para a produção desses produtos (PUSAVEC; KRAJNIK; KOPAC, 2010).

Bicheno (2000) cita algumas das principais ferramentas do *Lean*, sendo o Mapeamento do Fluxo de Valor – MFV, o 5S (cinco ésses), o *Kanban* e o *poka-yoke*.

O MFV compreende o fluxo de materiais e informações para transformar uma matéria-prima em um produto acabado, sendo muito utilizado em processos de fabricação (ROTHER; SHOOK, 2003). O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma das técnicas mais utilizadas em *Lean* de fabricação para identificar resíduos que são eliminadas através da melhoria contínua (FAULKNER; BADURDEEN, 2014). Revelam também resultados desta aplicação, onde são mapeados processos visualizando perdas de 35% de materiais perdido como sucata no processo.

Norton e Fearné (2009) trazem resultados da aplicação da ferramenta em um estudo de resíduos no fluxo de valor de tomates, verificou-se que quase todos os tomates desperdiçados surgiram de atividades de controle de qualidade e que os resíduos foram agravados pela necessidade de manter estoques reguladores. A adoção de *SVSM*, chamado pelos autores (NORTON; FEARNE, 2009) de *Sustainable Value Stream Map*, como ferramenta de

diagnóstico, pode fornecer os *insights* sobre a eficiência da produção e do desempenho ambiental que abre caminho para a produção mais sustentável.

O SVSM é um Mapeamento do Fluxo de Valor contemplando questões ambientais a serem analisadas ou visualizadas no processo organizacional. É um MFV adaptado para preocupações ambientais.

O 5S é um método de gerenciamento de espaço de trabalho que surgiu no Japão em consequência da aplicação da cultura *Kaizen* (melhoria contínua pessoal, familiar, social e profissional). O conceito original do 5S tem raízes sócio-históricas e filosóficas (KOBAYASHI, 2005).

Um dos aspectos que mais chamam a atenção de qualquer pessoa quando visita uma fábrica é seu estado de limpeza, organização, ordem e asseio. Estes, por si só, não garantem a qualidade e a produtividade, mas sua falta certamente garante a falta de qualidade e baixa produtividade (MARTINS; LAUGENI, 2006).

Segundo Martins e Laugeni (2006), os japoneses metodizaram a forma de se fazer sua organização pela utilização sistemática dos 5S, que são cinco palavras da língua japonesa que se iniciam por s:

- *Seiri* – liberação de áreas: separar os itens em necessários e desnecessários e livrar-se desses últimos;
- *Seiton* – organização: separar e acondicionar os materiais de forma organizada e adequada de modo a serem facilmente localizados, retirados e usados;
- *Seiso* – limpeza: manter os itens e o local de trabalho em que são armazenados e usados sempre limpos. Limpar é checar, verificar as máquinas e ferramentas de forma regular;
- *Seiketsu* – padronização, asseio e arrumação: a padronização aqui deve ser entendida como um “estado de espírito”. Os equipamentos e áreas de trabalho devem estar sempre limpos e asseados, de modo a garantir segurança no trabalho e itens quebrados supérfluos, usados e desnecessários devem ser removidos para do local de trabalho;
- *Shitsuke* – disciplina: significa manter, de forma disciplinada, tudo que leva à melhoria do local de trabalho, da qualidade e da segurança do colaborador. Isso pode ser atingido com treinamento persistente e atribuindo responsabilidades aos gerentes e supervisores quanto ao comportamento de seus colaboradores.

A palavra *Kanban* é de origem japonesa e significa cartão ou sinal, mas algumas vezes chamada de “correia invisível”, que controla a transferência de material de um estágio a outro

da operação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Davis, Aquilano e Chase (2001) citam que os trabalhadores fabricam os produtos apenas quando ocorrem necessidades nas operações à jusante, criando um sistema “puxado” em toda a fábrica. Martins e Laugeni (2006) confirmam essa afirmação, destacando o *Kanban* como um método de autorização da produção e movimentação do material no sistema *Just in time – JIT*.

Ritzman e Krajewski (2004) explicam toda a rotina do uso por *Kanbans* no controle do fluxo de produção em uma fábrica: “Um cartão é fixado em cada caixa de itens que foram produzidos. A caixa contém uma determinada porcentagem das necessidades diárias de um item. Quando o usuário das peças esvazia uma caixa, o cartão é removido dela e colocado em um painel. A caixa vazia é levada para a área de armazenagem. O cartão sinaliza a necessidade de produzir uma outra caixa da peça. Após a caixa ter sido reabastecida, o cartão é colocado nela, que então retorna para uma área de armazenagem. O ciclo inicia-se novamente quando o usuário das peças retira a caixa com o cartão anexado”.

Davis, Aquilano e Chase (2001) afirmam que toda a esta abordagem requer um sistema de controle que seja simples e auto-regulador, e proporcione boa visibilidade de administração. Todo o sistema depende de todos realizando exatamente o que é autorizado e seguindo expressamente os procedimentos. Na verdade, como exemplo, os japoneses não utilizam coordenadores de produção no chão-de-fábrica, confiando somente nos supervisores para garantir obediência. As atitudes cooperativas dos trabalhadores são essenciais para o sucesso desse sistema.

Poka-yoke significa à prova de erros. Um processo ou produto deve ser projetado de forma a eliminar qualquer possibilidade prevista de defeitos. Equipamentos automáticos de testes podem ser programados a interromper a produção sempre que ocorrer um defeito, evitando que a peça defeituosa prossiga para a operação seguinte. Com um sistema *poka-yoke*, pode-se conseguir zero defeitos na produção (MARTINS; LAUGENI, 2006).

Shingo (1988) define *poka-yoke* como um mecanismo para a detecção de erros e defeitos, que inspeciona 100% das peças, trabalhando de forma independente sobre a atenção do operador. Middleton (2001) afirma que o *poka-yoke* é como uma prática sistemática de erradicar erros, localizando sua causa-raiz.

EPA (2006) apresenta como ferramentas de *Lean Manufacturing* podem ser aplicadas para tratativa de resíduos ambientais. Estabelece diretrizes para o uso de ferramentas de produção enxuta para melhorar o fluxo de materiais nos principais fluxos que suportam o processo de produção e que por sua vez pode afetar o meio ambiente, como a energia, produtos químicos e outros tipos de resíduos.

Pesquisas são realizadas para abordagens integradas de um modelo de fabricação enxuto com práticas ambientais (ZWETSLOOT, 1995; ATKINSON, 1994; CAGNO; TRUCCO; TARDINI, 2005). Fiksel (2009) apresenta algumas caracterizações para esta abordagem integrada, sendo:

- Modificação de ferramentas tradicionais do *Lean*, como MFV, adicionando aspectos ambientais;
- Aplicação de ferramentas do *Lean* para processos de meio ambiente, saúde e segurança, como tratamento de águas residuais para aumentar a eficiência;
- Integração de técnicas tradicionais de prevenção da poluição com ferramentas de *Lean* para meio ambiente, fornecendo uma maneira sistemática para encontrar oportunidades.

O pensamento enxuto leva em direção a iniciativas de sustentabilidade. Assim, o pensamento enxuto aborda a sustentabilidade econômica, sustentabilidade ambiental, no conceito e na prática, considerando-o que foi expandido para atingir um objetivo muito mais amplo (PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014).

2.2.1 Resultados da RBS para Design for Environment e Lean Manufacturing

A seguir é apresentado o resultado da RBS para o *Design for Environment* relacionado com o *Lean Manufacturing*. O Quadro 8 é representado de forma resumida seus principais dados, onde no Apêndice B é detalhado todo o processo da RBS. O objetivo é verificar como está sendo tratado o assunto dos dois constructos de forma conjunta.

QUADRO 8 - Resumo da RBS para Design for Environment.

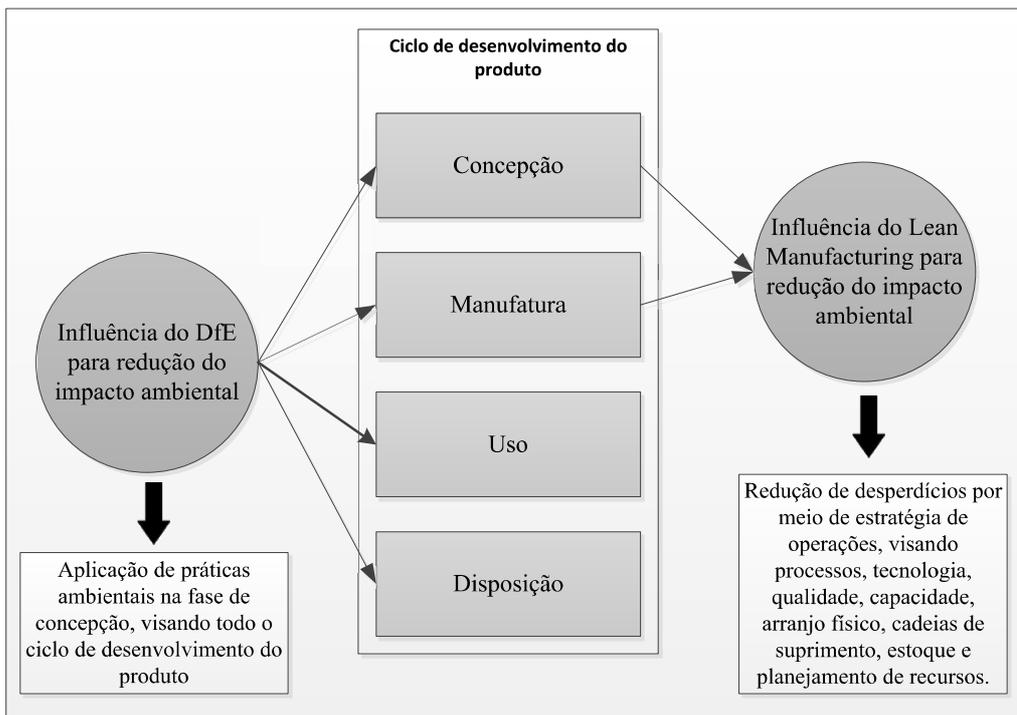
Base de dados	ISI Web of Knowledge; Scopus
Total bruto de artigos encontrados	0 (zero)
Palavras-chave (Design for Environment)	Design for Environment; design for the environment; ecodesign; projeto para o meio ambiente
Palavras-chave (Lean Manufacturing)	Lean Manufacturing; Lean System; Lean Thinking; Toyota Production System; Sistema Toyota de Produção; Manufatura Enxuta; Sistema Lean; Just in time; Lean Production.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta RBS apresentou a inexistência de trabalhos onde o *Design for Environment* e o *Lean Manufacturing* fossem o objetivo de pesquisa conjuntamente. Desta forma foram 0 (zero) trabalhos encontrados impossibilitando a sistematização desta revisão. Este resultado mostra uma abertura para o campo de pesquisa buscando entender uma interface entre os assuntos.

Pelo referencial teórico do *Lean Manufacturing*, pode haver sua influência nas fases de concepção e produção no ciclo de desenvolvimento do produto. Concepção, se a organização nesta fase buscar projetar um processo com a filosofia *Lean*. Produção é a fase de maior influência, onde existem várias ferramentas para redução de desperdícios, podendo incluir o ambiental. Relacionando os conceitos de DfE e *Lean*, uma redução do impacto ambiental pode ser resultante desta interação, ilustrado pela Figura 12.

FIGURA 12 – Framework conceitual relacionando DfE e Lean Manufacturing.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 Indústria de eletrônicos

Os produtos eletrônicos vêm assumindo grande importância na vida das pessoas. A utilização destes produtos foi, sem dúvida, uma das descobertas que promoveu o avanço tecnológico e facilitou a vida da população mundial.

Os produtos eletrônicos são utilizados para medir, controlar, comandar e regular diversas operações. Eles integram praticamente todos os sistemas do planeta. Não são representados apenas pelos computadores, também existem aparelhos eletrônicos que melhoram a audição e regulam os batimentos cardíacos, como o marca-passo; os radares e a comunicação via rádio, por exemplo, aumentaram a segurança dos transportes (BERTULANI, 2015).

A indústria eletrônica surgiu em 1922, logo após a invenção da válvula, em 1906, para suprir a demanda de equipamentos para as emissões e recepções radiofônicas, bem como pelas aplicações militares dos produtos eletrônicos na Guerra. Porém, a revolução eletrônica ocorreu em 1948, logo após a Segunda Guerra Mundial, quando cientistas da *Bell Telephone Laboratories* anunciaram ao mundo a invenção do transistor, um dispositivo eletrônico que controla e amplifica sinais elétricos, considerado por alguns cientistas como o mais importante invento do século XX, servindo como base para a revolução da informática mais tarde (MARCOLIN, 2008).

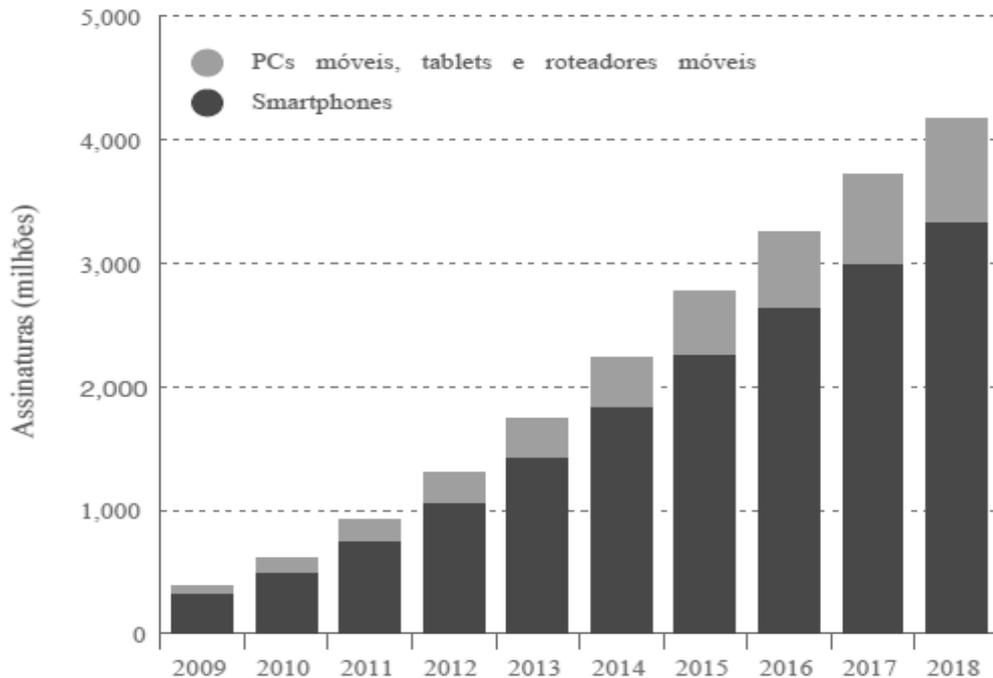
A partir deste contexto, os circuitos eletrônicos tornaram-se menores e, no início dos anos 60, reduziram-se ainda mais as dimensões (MARCOLIN, 2008). Com isso, os computadores evoluíram de gigantes que pesavam toneladas para leves e eficientes máquinas que podemos carregar no bolso, e porque não dizer que se tornaram mais populares que os próprios automóveis.

Atualmente, é notável a alta utilização de dispositivos móveis durante o dia a dia. Esses são facilmente notados sendo, *Laptop, Tablet PC, Personal Digital Assistant – PDA e Smartphone* (ERICSSON, 2012).

Impactos causados por essas tecnologias, como tráfegos em redes móveis, continuam crescendo a um ritmo impressionante em todo o mundo. A penetração móvel global chegou a 91% no terceiro quartil de 2012 e assinaturas móveis já somam cerca de 6,4 bilhões. O número de pessoas que utilizam dispositivos móveis vão ultrapassar 4 bilhões em 2018, conforme Figura 13 (ERICSSON, 2012).

O grande problema que as indústrias de eletrônicos enfrentam é o seu lixo, devido seu descarte e seu curto ciclo de vida de uma obsolescência programada. Lixo eletrônico tem sido um problema cada vez mais grave na última década, e é o fluxo de resíduos de mais rápido crescimento no mundo (ORLINS; GUAN, 2015).

FIGURA 13 – PCs móveis, tablets, roteadores móveis e smartphones com conexão celular 2009-2018.



Fonte: Ericsson (2012).

Segundo Chan e Wong (2013) o lixo eletrônico foi aumentando rapidamente em todo o mundo e estima-se que 20 a 50 milhões de toneladas destes foram produzidas anualmente em todo o mundo, onde 70% entra na China devido baixo custo de reciclagem.

A NBR 9896:1993 define lixo ou resíduo como material ou resto de material cujo proprietário ou produtor não mais considera com valor suficiente para conservação (ABNT, 1993). Assim, o lixo eletrônico ou também chamado e-Lixo ou também Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos - REEE é o termo usado para descrever aparelhos descartados usando eletricidade em fim de vida. Incluem computadores, eletrônicos de consumo, geladeiras etc., que foram eliminados por seus usuários originais (E-WASTE..., 2015).

Com a crescente demanda e seu curto ciclo de vida útil versus a preocupação ambiental compartilhada em todas as partes do planeta, os aparelhos eletrônicos passaram a ser reutilizados e seus componentes, reciclados (ABDI, 2012). Os computadores, por exemplo, têm 94% dos seus componentes recicláveis, segundo alguns pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ (PALLONE, 2008). A autora ainda afirma que, reutilizar recursos não renováveis e que têm um custo muito alto como ouro, prata, cobre, ferro, alumínio, é também a forma de fechar o ciclo da indústria de eletrônicos.

Estimar a geração de lixo eletrônico per capita é muito difícil e vários métodos têm sido propostos. Estimativas de mercado apontam que o lixo eletrônico do Brasil tem excedido 1 milhão toneladas por ano e espera-se ultrapassar a 1,25 milhão de toneladas em 2016 (SDP / MDIC-ABDI, 2012).

Greenpeace (2012) justifica o aumento do lixo eletrônico, enquanto as indústrias no mundo visam o aumento da produtividade, problemas cruciais e crescentes permanecem: mais pessoas ao redor do mundo estão ganhando o acesso a dispositivos eletrônicos, e enquanto os programas adequados de retoma eletrônicos proliferam, a velocidade da coleção é não manter o ritmo com a taxa de consumo, criando cada vez maiores quantidades de lixo eletrônico tóxico. Além disso, a maioria das empresas deveriam se preocupar com suas ações de impactos ambientais, buscando um processo mais limpo e evitando os impactos mais devastadores das mudanças climáticas.

A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE não fornece estimativas para o Brasil, porém, menciona que o país segue a tendência mundial, bastante próximo dos países desenvolvidos, com o tempo médio de substituição de telefones celulares e computadores, que é de três anos para aparelhos celulares e três a cinco anos para computadores (PALLONE, 2008).

Mas, a classificação do lixo eletrônico vai além de apenas plástico, vidro e metal, materiais estes que dificilmente se decompõem na natureza. Faz parte desse grupo todo material gerado a partir de aparelhos eletrônicos e seus componentes, inclusive pilhas, baterias e produtos magnéticos. Por exemplo, o mercúrio parte da composição do visor do celular e o cádmio que são os mais tóxicos (abolidos no Brasil, mas que ainda são possíveis de se encontrar em produtos clandestinos), o chumbo utilizado na soldagem dos computadores, o manganês que constituem as pilhas, assim como o índio – In e o níquel são alguns dos metais pesados presentes nesses aparelhos (PALLONE, 2008).

Equipamentos e eletrônicos contêm materiais perigosos diferentes que são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente se não forem descartadas com cuidado. Enquanto algumas substâncias que ocorrem naturalmente são inofensivas na natureza, a sua utilização na fabricação de equipamentos eletrônicos muitas vezes resulta em compostos que são perigosos (HAZARDOUS..., 2015). No Quadro 9 estão algumas substâncias tóxicas com suas características e riscos encontrados nos lixos eletrônicos segundo a Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças – ASTRD².

² Agência Federal de Saúde Pública do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, com sede em Atlanta, Geórgia.

QUADRO 9 – Características e riscos de substâncias tóxicas de lixo eletrônico.

Substância tóxica	Característica e riscos
Arsênico	Elemento metálico venenoso que está presente na poeira e substâncias solúveis. Sua exposição crônica pode conduzir a várias doenças da pele e diminuir a velocidade de condução do nervo e também pode causar câncer de pulmão.
Bário	Elemento metálico que é usado em velas de ignição, lâmpadas fluorescentes e getters em tubos de vácuo. Sendo altamente instável na sua forma pura, ele forma óxido de venenosos quando em contato com o ar. A exposição em curto prazo pode levar ao inchaço cerebral, fraqueza muscular, danos no coração, fígado e baço.
Berílio	Recentemente classificado como um cancerígeno humano, porque a exposição a ele pode causar câncer de pulmão. A principal preocupação de saúde é a inalação do seu pó, fumaça ou névoa.
Retardadores de chama bromados (BFRs)	Os três principais tipos de BFRs utilizados em aparelhos eletrônicos são Bifenil Polibromados (PBB), Éter Difenil Polibromados (PBDE) e Tetrabromobisfenol-A (TBBPA). Retardadores de chama são utilizados em plásticos e têxteis, mais resistente à chama. Eles têm sido encontrados em pó no interior e ar através da migração e evaporação a partir de plásticos.
Cádmio	Componentes de cádmio pode ter graves impactos sobre os rins. O cádmio é absorvido através da respiração, mas também é tomado com a comida. Apresenta um risco de efeitos cumulativos no ambiente devido à sua toxicidade aguda e crônica. A exposição aguda a fumos de cádmio causa sintomas semelhantes aos da gripe de fraqueza, febre, dor de cabeça, calafrios, sudorese e dor muscular.
Cloro fluorcarbonetos (CFCs)	São compostos de carbono, flúor, cloro, e por vezes hidrogênio. Usado principalmente em unidades e espuma de isolamento de arrefecimento, eles foram eliminados porque quando liberado na atmosfera, eles se acumulam na estratosfera com um efeito deletério sobre a camada de ozônio. Isto resulta num aumento da incidência de cancro da pele em seres humanos e em alterações genéticas em diversos organismos.
Crômio	Seus óxidos são amplamente utilizados devido à sua elevada condutividade e propriedades anticorrosivas. Embora algumas formas de Crômio não sejam tóxicas, o Crômio VI é facilmente absorvido no corpo humano e pode produzir vários efeitos tóxicos no interior das células, são irritantes para os olhos, pele e membranas mucosas.
Dioxinas e Furanos	São uma família de produtos químicos que compreendem 75 tipos diferentes de compostos de Dioxinas e 135 compostos relacionados conhecidos como Furanos. Dioxinas nunca foram intencionalmente fabricadas, mas formam como subprodutos indesejados na fabricação de substâncias como alguns pesticidas, bem como durante a combustão.
Chumbo	É o quinto metal mais amplamente utilizado depois de Ferro, Alumínio, Cobre e Zinco. É comumente utilizada na indústria eletrônica em solda, baterias, componentes eletrônicos, revestimento de cabos de chumbo-ácido, etc. Exposição a curto prazo a níveis elevados de chumbo pode causar vômitos, diarreia, convulsões, coma ou até mesmo a morte.
Mercurio	Um dos metais mais tóxicos ainda amplamente utilizados na produção de aplicações eletrônicas. É um metal pesado tóxico que causa danos no cérebro e fígado se ingerido ou inalado. Está altamente concentrado em algumas baterias, interruptores, termostatos, e lâmpadas fluorescentes.
Bifenilos Policlorados (PCBs)	São uma classe de compostos orgânicos em utilizar uma variedade de aplicações, incluindo fluidos dielétricos para capacitores e transformadores, fluidos de transferência de calor e, como aditivos em adesivos e plásticos. São contaminantes persistentes no ambiente devido à elevada solubilidade lipídica e a taxa de metabolismo lento destes produtos químicos.
Cloreto de Polivinila (PVC)	Plástico mais utilizado, usado em equipamentos e aparelhos eletrônicos, utensílios domésticos, tubos, etc. É perigoso porque contém até 56% de cloro que quando queimado produz grandes quantidades de gás de cloro de hidrogênio, que se combina com água para formar o ácido clorídrico. Este perigoso porque quando inalado, conduz a problemas respiratórios.
Selênio	A exposição a elevadas concentrações de compostos de Selênio causa selenose. Os principais sinais de selenose são perda de cabelo, unha fragilizada, e alterações neurológicas.

Fonte: Disponível em: < <http://ewasteguide.info/node/219>>. Acesso em: 6 fev. 2015.

A disposição final inadequada dos aparelhos eletrônicos junto ao lixo comum, que segue para aterros sanitários, libera essas substâncias tóxicas que penetram no solo, contaminando os lençóis freáticos e, aos poucos, animais e seres humanos. A inalação ou o simples contato com estes elementos químicos pode causar doenças como: câncer, distúrbios renais, estomacais, neurológicos, alterações genéticas e de metabolismo, entre muitas outras (PALLONE, 2008).

A autora ainda afirma que este é um problema difícil de resolver, uma vez que a tecnologia está se intensificando, todos os aparelhos eletrônicos obrigatoriamente têm em sua constituição algum metal pesado, usado para conduzir a corrente elétrica, para que possa funcionar, e mesmo em pequenas quantidades, os metais pesados são capazes de contaminar extensas áreas.

Mesmo tendo evoluído tão significativamente, a tecnologia ainda não conseguiu o suficiente para tornar os aparelhos eletrônicos independentes dessas substâncias. E segundo Pallone (2008), reduzir, reciclar, reutilizar e recuperar energia ainda é a melhor alternativa quando o assunto é lixo eletrônico.

No Brasil, em 2010 foi criada a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, contendo instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Relaciona a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. A PNRS trata obrigatório a Logística Reversa de alguns objetos, como pilhas e baterias, pneus, lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

Os cuidados para os resíduos gerados pela indústria de eletrônicos é assunto importante e desafiador. Muitas organizações projetam um portfólio de produtos e seus processos para redução do impacto ambiental. Alguns requisitos ambientais para produtos e processos são priorizados, como a escolha de matérias-primas “verde”, redução de energia, processo produtivo otimizado, eliminação de substâncias químicas não seguras ao meio ambiente, embalagens compactas ou retornáveis, logística reversa e reciclagem (DESENVOLVIMENTO..., 2015).

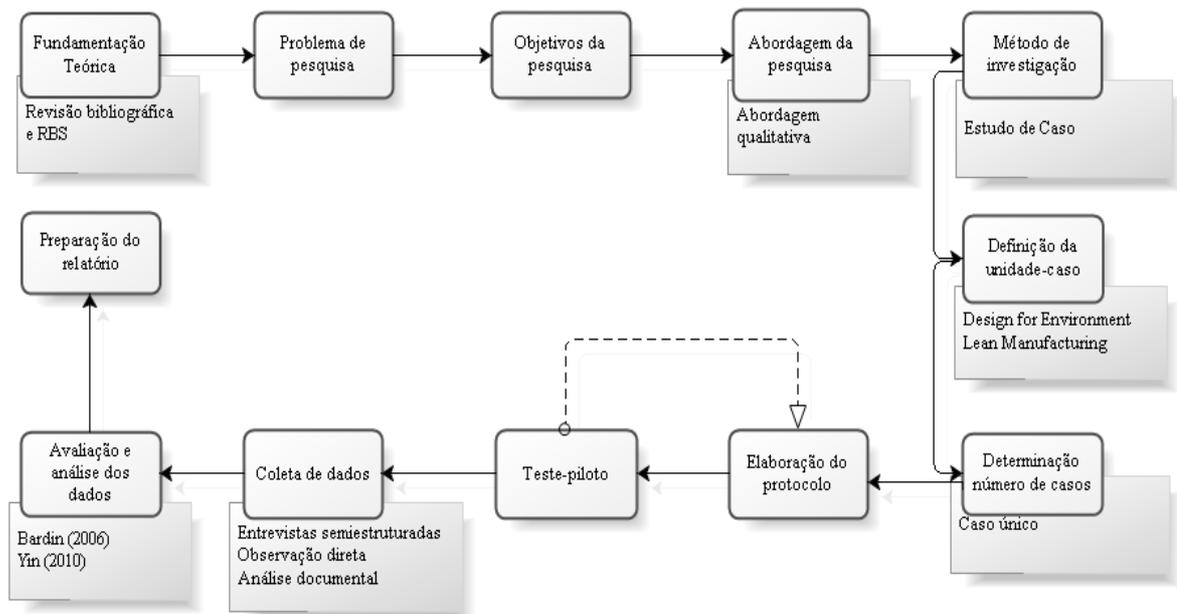
Para regulamentar o problema do lixo eletrônico no estado de São Paulo, foi criada a Lei nº 13.576 de julho de 2009, que institui procedimentos e normas para sua reciclagem, gerenciamento e destinação final.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, para delinear o objeto de pesquisa, faz-se necessário entender a razão para o contexto. Para Gil (2002), pesquisa é o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. Andrade (2003) define de uma forma mais detalhada e metodológica, sendo um conjunto de procedimentos sistemáticos, baseado no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para problemas propostos mediante a utilização de métodos científicos.

Para esta pesquisa foram utilizados os processos representados na Figura 14 como procedimentos metodológicos, e são caracterizados no decorrer deste capítulo.

FIGURA 14 – Etapas do procedimento metodológico utilizado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o desenvolvimento de uma boa pesquisa é necessário definir seu objetivo. Mediante aos objetivos de pesquisa diante da literatura (DANE, 1990; CAMPOMAR, 1991; MARSHALL; ROSSMAN, 1995), existem quatro tipos de pesquisa, sendo: exploratória, descritiva, explanatória e preditiva.

Para esta pesquisa optou-se pela pesquisa exploratória, a fim de proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (GIL, 2002).

Existem duas abordagens mais utilizadas para condução da pesquisa em Gestão de Operações, sendo qualitativa e quantitativa. Godoy (1995a) destaca que a abordagem qualitativa tem como ponto de partida questões ou interesses amplos e não definidos, tomando forma na medida em que o trabalho evolui. Os dados obtidos são descritivos e pouco estruturados. O mesmo autor para abordagem quantitativa relata que o pesquisador despende grande preocupação com a medição objetiva, assim como a obtenção de resultados passíveis de quantificação, além de buscar a precisão e a garantia de uma margem de segurança em relação às inferências estatísticas obtidas. Desta forma, a abordagem escolhida para esta pesquisa é a qualitativa.

Algumas questões importantes para a abordagem qualitativa segundo Bryman (1989) são apontadas, sendo:

- Os fatos são observados pelo pesquisador sob o ponto de vista interno ao objeto de estudo;
- Possui a finalidade de compreender o contexto da situação estudada;
- Busca a sequência dos fatos no tempo, ou seja, enfatiza os acontecimentos;
- A pesquisa é conduzida de forma mais desestruturada, não existem hipóteses fortes no decorrer do trabalho;
- Usa-se normalmente mais de uma fonte de dados.

Van Maanem (1979) afirma que a abordagem qualitativa tem como foco os processos do objeto de estudo, e o entendimento deste processo pode resultar em um “mapa” que é produto da reflexão do pesquisador sobre o “território” investigado.

Assim, o próximo passo é a escolha do método de investigação a ser seguido, mediante suas ideias de modelo, sinopse e plano.

3.1 Método de investigação

Os métodos de investigação devem ser definidos como uma estrutura e orientação para a condução de uma pesquisa científica (BRYMAN, 1989). Também, são condutas que orientam o processo de investigação, são formas ou maneiras de aproximação e focalização do problema ou fenômeno que se pretende estudar, prestando-se à identificação dos métodos e tipos de pesquisa adequados às soluções desejadas (LAKATOS; MARCONI, 1991; CERVO; BERVIAN, 1996).

Vários são os métodos de investigação para a Gestão de Operações destacados por Berto e Nakano (2000). Estes são apresentados no Quadro 10 mediante suas definições.

QUADRO 10 – Métodos de pesquisa e suas definições.

Tipo	Definição
Levantamento tipo <i>Survey</i>	Uso de instrumento de coleta de dados único (em geral um questionário), aplicado a amostras de grande tamanho, com o uso de técnicas de amostragem e análise e inferência estatística
Estudo de Caso	Análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), com o uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e presença da interação entre pesquisador e objeto de pesquisa
Modelagem	Uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou de parte de um sistema produtivo
Simulação	Uso de técnicas computacionais para simular o funcionamento de sistemas produtivos a partir de modelos matemáticos
Estudo de Campo	Outros métodos de pesquisa (principalmente de abordagem qualitativa) ou presença de dados de campo, sem estruturação formal do método de pesquisa
Experimento	Estudo da relação causal entre duas variáveis de um sistema sob condições controladas pelo pesquisador
Teórico / conceitual	Discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Berto e Nakano (2000).

O método de investigação utilizado nesta pesquisa é o Estudo de Caso, sendo um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos (GIL, 2002). Eisenhardt (1989), ainda afirma que o Estudo de Caso é uma estratégia de pesquisa que se concentra na compreensão das dinâmicas presentes dentro de configurações individuais.

O Estudo de Caso é um estudo de caráter empírico que investiga um fenômeno atual no contexto da vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre fenômenos e o contexto onde se insere não são claramente definidas (YIN, 2001). É sustentado por um referencial teórico, que orienta as questões e proposições do estudo, reunindo informações obtidas por meio de diversas técnicas de levantamento de dados e evidências (MARTINS, 2008). Estas proposições são:

- O *Design for Environment* e o *Lean Manufacturing* podem se relacionar no ciclo de desenvolvimento do produto;

- Essa relação pode resultar na redução do impacto ambiental.

O estudo de caso nesta pesquisa pode trazer as evidências necessárias para verificação destas proposições, descrevendo como essa relação é estabelecida em uma organização com todas as variáveis do seu processo de desenvolvimento do produto e processo produtivo.

São vários os benefícios trazidos por este tipo de pesquisa, podendo ser destacado a possibilidade do desenvolvimento de novas teorias e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos (SOUZA, 2005).

3.1.1 Definição da unidade-caso e determinação do número de casos

Em sua acepção clássica, a unidade-caso refere-se a um indivíduo num contexto definido (GIL, 2002). A unidade-caso a ser compreendida é o DfE e o *Lean Manufacturing*, procurando entender a relação entre ambos. Esta relação é pesquisada como sendo a contribuição do DfE para com o *Lean Manufacturing* em uma empresa.

Este é um Estudo de Caso único, onde busca-se um melhor aprofundamento da unidade-caso pesquisada. Assim, Miguel et al. (2012) e Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) afirmam que esta maneira de estudo possui maior riqueza na coleta de dados para o método desta pesquisa. Além disso, essa escolha de coleta de dados de forma qualitativa como procedimento, já definido anteriormente, reflete no pesquisador não ter controle dos eventos abordados.

Para a escolha da empresa foram definidos alguns critérios, onde estes devem se identificar com a pesquisa e com uma flexibilidade geográfica para o pesquisador, sendo:

1. Iniciativas de DfE pela empresa;
2. Ser uma empresa que possua uma filosofia *Lean Manufacturing*, neste caso autodeclarada, pois caso contrário o pesquisador deveria ir até suas instalações para esta verificação, inviabilizando a pesquisa mediante tempo;
3. Estar localizada no estado de São Paulo, facilitando as rotinas de pesquisa ao pesquisador por morar no mesmo estado;
4. Ser considerada uma empresa de grande porte, mediante quantidade de funcionários, existência de filiais no Brasil e no mundo, possuir variedade de produtos;
5. Ser uma empresa de referência em aplicações de DfE e *Lean Manufacturing*;
6. Não haver nenhum tipo de contato anterior do pesquisador com a empresa, buscando a eliminação de um viés para a pesquisa;

7. E também, disponibilizar acesso dentro da empresa e abertura de informações para esta pesquisa. Este é muito importante neste contexto, pois se os outros tópicos forem atendidos menos este, a pesquisa não seria possível.

Os seis primeiros critérios mencionados acima puderam ser realizados mediante pesquisas na *internet*, onde muitas empresas fazem divulgações da forma como atuam ou resultados através de relatórios técnicos e indicadores.

Depois que uma empresa foi escolhida atendendo a estes critérios, para o último critério foi identificado o número de contato da mesma para uma primeira tentativa de apresentação da pesquisa. Com o interesse da empresa o pesquisador foi até suas dependências para apresentação da pesquisa e liberação formal para acesso do pesquisador.

3.1.2 Elaboração do protocolo e teste-piloto

O protocolo de pesquisa é uma maneira importante de aumentar a confiabilidade da pesquisa de Estudo de Caso e se destina a orientar o investigador na realização da coleta de dados (YIN, 2010). Miguel et al. (2012) complementam afirmando também que aumenta a validade na condução do Estudo de Caso, como sendo um conjunto de questões a serem utilizadas.

Um protocolo é desejável sob todas as circunstâncias, mas é essencial para Estudo de Caso (YIN, 2010), vindo de encontro com esta pesquisa. O protocolo deve incluir as seguintes preocupações ou seções (YIN, 2001, p.89):

- Visão global do projeto: para informar acerca dos propósitos e cenários em que será desenvolvido o estudo de caso;
- Procedimentos de campo: envolvem acesso às organizações ou informantes, material e informações gerais sobre procedimentos a serem desenvolvidos;
- Determinação das questões: estas questões não são propriamente as que deverão ser formuladas aos informantes, mas constituem essencialmente lembranças acerca das informações que devem ser coletadas e devem estar acompanhadas das prováveis fontes de informação;
- Guia para elaboração do relatório: item importante, pois, com frequência, o relatório é elaborado paralelamente à coleta de dados.

O protocolo desta pesquisa contém as preocupações acima citadas e está disponível no Apêndice C.

Com o protocolo de pesquisa é possível fazer um teste-piloto, objetivando testar os procedimentos de aplicação, verificar a qualidade dos dados obtidos e fazer ajustes se necessário (MIGUEL et al., 2012).

O teste-piloto foi aplicado na própria empresa do caso estudado, sendo possível os ajustes necessários no protocolo de pesquisa. Após o contato inicial com a empresa do caso pesquisado e elaboração do protocolo da pesquisa o teste-piloto tem o objetivo da verificação da conformidade e confiabilidade das definições descritas no protocolo. Desta forma, foi verificado todas as definições do protocolo para sua efetividade. O teste-piloto foi realizado em uma visita inicial com um coordenador de *Lean* da empresa. Esta visita inicial também contribuiu para entendimento do organograma da empresa, pois cada empresa tem suas características. Assim, as adequações do protocolo de pesquisa que foram feitas a partir do teste-piloto foram:

- Definição das pessoas a serem entrevistadas ou abordadas para esta pesquisa, sendo coordenadores de *Lean* e de meio ambiente. Os coordenadores de *Lean* estão suportados pela engenharia industrial, tendo grande apoio por eles e muita autonomia para execução dos seus trabalhos. O meio ambiente faz a gestão também de saúde e segurança da empresa;
- O tempo para visitas na empresa, pois foi sugerido inicialmente um tempo maior do que depois do teste-piloto. Este tempo ideal foi definido depois de identificado as pessoas a participarem desta pesquisa e sua respectiva disponibilidade;
- A frequência das visitas, pois alguns participantes da empresa possuíam restrições quanto a quantidade de dias da semana para receber o pesquisador devido a trabalhos externos que faz a empresa;
- A coleta de dados, onde além da observação direta e entrevistas semiestruturadas foi incluído a análise documental, devido a empresa obter muitos registros de trabalhos realizados e procedimentos que interagem com esta pesquisa;
- Necessidade de agendamento prévio para as visitas, devido algumas serem no processo produtivo e o uso de Equipamento de Proteção Individual – EPI para acesso nessas dependências.

Assim, validado o protocolo de pesquisa foi possível coletar os dados com maior confiabilidade e segurança, buscando os objetivos desta pesquisa.

3.1.3 Coleta de dados

Após o teste-piloto, são definidos os instrumentos e métodos para coleta de dados. Os instrumentos para a coleta de dados serão por meio de entrevistas semiestruturadas, observação direta e análise documental.

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas com os responsáveis pela organização para o setor de melhoria contínua ou *Lean* e Meio Ambiente, sendo fontes de evidência principal. Também participantes do processo de produção ou participantes do processo de melhoria foram entrevistados. Essas entrevistas aconteceram de modo formal e informal, pois estando no processo surgem aspectos relevantes, ainda não levantados, a serem explorados. Assim, para as entrevistas formais, foi elaborado um roteiro, conforme Apêndice D, com perguntas abertas, a fim de entender a relevância de aspectos iniciais do estudo. O roteiro foi elaborado com base na revisão da literatura, visando o entendimento de como a empresa age em relação aos projetos de DfE e sua interação com o *Lean Manufacturing*.

A coleta de dados por meio de observação direta pelo pesquisador é importante sendo uma forma útil para proporcionar informação adicional sobre o tópico estudado. Para isso, é necessário ir *in loco* para observação da posição da gestão da empresa em relação aos aspectos estudados, principalmente sua abordagem de utilização das práticas de DfE em um ambiente *Lean*. A observação direta do pesquisador pode ser desenvolvida como parte do protocolo do Estudo de Caso, onde alguns comportamentos relevantes ou condições ambientais estarão disponíveis para observação (YIN, 2010).

Outro fator para coleta é a análise documental, onde foram identificados e analisados documentos da organização, sendo eles projetos dos produtos dos clientes, método e relatório de projetos de *Lean*, laudos de impacto ambiental, procedimentos e outros documentos que foram aparecendo durante as observações diretas ou entrevistas agendadas na organização como sendo relevantes.

3.1.4 Avaliação e análise dos dados

Os resultados obtidos neste Estudo de Caso devem ser provenientes da convergência ou da divergência das observações obtidas de diferentes procedimentos. Assim, se torna possível conferir a validade do estudo, evitando que fique subordinado à subjetividade do

pesquisador (GIL, 2002). Para análise dos dados desta pesquisa foi utilizada a técnica de análise de conteúdo como de maior abrangência.

A análise de conteúdo pode ser definida como um conjunto de instrumentos metodológicos, em constante aperfeiçoamento, que se presta a analisar diferentes fontes de conteúdo, verbais ou não verbais (FREITAS; CUNHA JÚNIOR; MOSCAROLA, 1997). Silva e Fossá (2013) ainda consideram que na análise do material, busca classificá-los em temas ou categorias que auxiliam na compreensão do que está por trás dos discursos. Para Bardin (2011), o termo análise de conteúdo designa um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando a obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores, quantitativos ou não, que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção ou recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

A análise de conteúdo alcançou popularidade a partir de Bardin (1977), que ressalta a importância do rigor na utilização da análise de conteúdo, a necessidade de ultrapassar as incertezas, e descobrir o que é questionado.

A condução da análise dos dados abrange várias etapas, a fim de que se possa conferir a significação aos dados coletados (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1998; CRESWELL, 2007; FLICK, 2009; MINAYO, 2001).

Este tipo de análise de dados vem de encontro com o proposto pela pesquisa, onde os dados qualitativos são: descrições detalhadas de fenômenos, comportamentos; citações diretas de pessoas sobre suas experiências; trechos de documentos, registros, correspondências; gravações ou transcrições de entrevistas e discursos; dados com maior riqueza de detalhes e profundidade e interações entre indivíduos, grupos e organizações (PATTON, 1980; GLAZIER; POWELL, 2011).

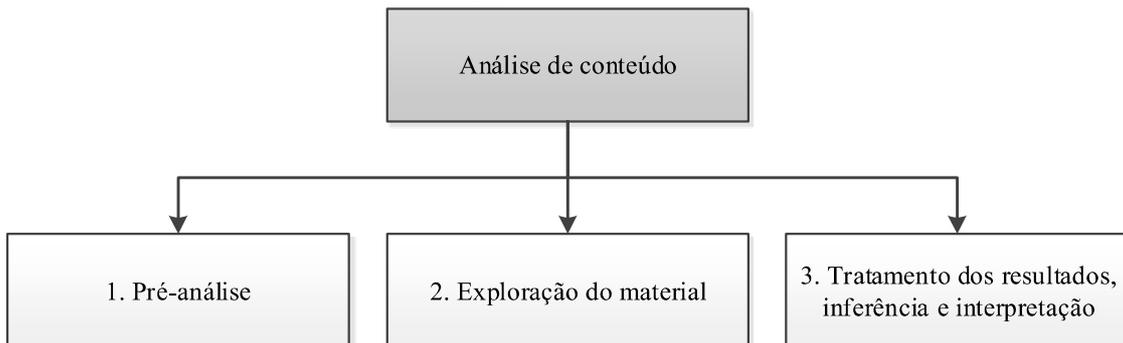
De acordo com Godoy (1995b), a análise de conteúdo sofreu influências da busca da cientificidade e da objetividade recorrendo, inicialmente, a um enfoque quantitativo que lhe atribuía um alcance meramente descritivo. A análise das mensagens neste intuito se fazia pelo cálculo de frequências. Essa deficiência cedeu lugar à análise qualitativa dentro dessa técnica, possibilitando a interpretação dos dados, pela qual o pesquisador passou a compreender características, estruturas e/ou modelos que estão por trás das mensagens levadas em consideração.

Glazier e Powell (2011) mostram que a melhor maneira de entender o que significa pesquisa qualitativa é definir o que ela não é, ou seja, ela não é um conjunto de procedimentos

que depende fortemente de análise estatística para suas inferências ou de métodos quantitativos para a coleta de dados.

Para esta pesquisa, o norteador das etapas de análise do conteúdo serão as técnicas propostas por Bardin (2006). Essas são organizadas em três fases sendo organizadas respectivamente a pré-análise; a exploração do material; e o tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Estas são apresentadas na Figura 15 para representação das fases.

FIGURA 15 – Fases da análise de conteúdo.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Bardin (2006).

A pré-análise é desenvolvida para sistematizar as ideias iniciais colocadas pelo quadro referencial teórico e estabelecer indicadores para a interpretação das informações coletadas. A fase compreende a leitura geral do material eleito para a análise, no caso de análise de entrevistas, estas já deverão estar transcritas. Retomam-se as hipóteses e os objetivos iniciais da pesquisa, reformulando-os frente ao material coletado, e na elaboração de indicadores que orientem a interpretação final (MINAYO, 2007). De forma geral, efetua-se a organização do material a ser investigado; tal sistematização serve para que o analista possa conduzir as operações sucessivas de análise. Sendo que esta fase compreende:

- Leitura flutuante: é o primeiro contato com os documentos da coleta de dados, momento em que se começa a conhecer os textos, entrevistas e demais fontes a serem analisadas;
- Escolha dos documentos: consiste na definição do *corpus* de análise;
- Formulação das hipóteses e objetivos: a partir da leitura inicial dos dados;
- Elaboração de indicadores: a fim de interpretar o material coletado.

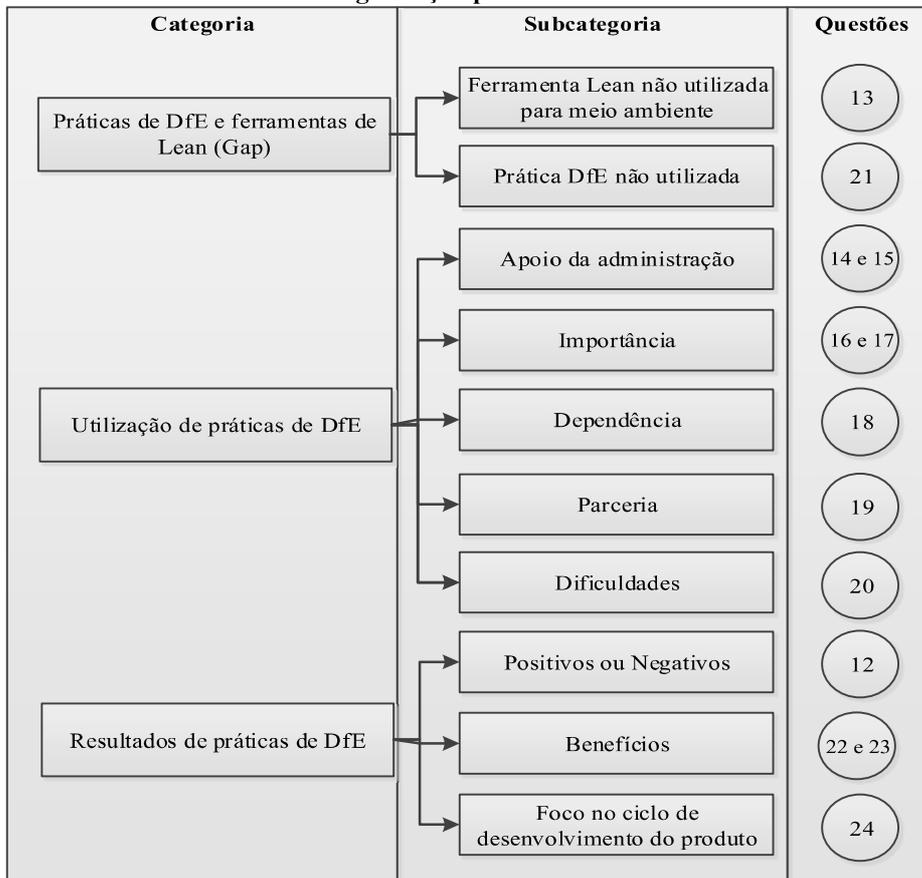
Na segunda fase, a exploração do material consiste na construção das operações de codificação, considerando-se os recortes dos textos em unidades de registros, a definição de regras de contagem e a classificação e agregação das informações em categorias simbólicas

ou temáticas. Bardin (1977) define codificação como a transformação, por meio de recorte, agregação e enumeração, com base em regras precisas sobre as informações textuais, representativas das características do conteúdo.

A terceira fase compreende o tratamento dos resultados, inferência e interpretação, consiste em captar os conteúdos manifestos e latentes contidos em todo o material coletado (entrevistas, documentos e observação). Os resultados brutos, ou seja, as categorias que serão utilizadas como unidades de análise são submetidas a operações estatísticas simples ou complexas dependendo do caso, de maneira que permitam ressaltar as informações obtidas. Após isto são feitas inferências e as interpretações previstas no quadro teórico e/ou sugerindo outras possibilidades teóricas (BARDIN, 2006; MINAYO, 2007).

No roteiro semiestruturado contêm questões para serem observadas no ambiente da empresa além de questões com finalidade da elaboração da análise de conteúdo. Estas questões são de número 12 a 24. Algumas destas questões são específicas para serem respondidas pelo setor de *Lean* como outras pelo setor de meio ambiente. O processo de análise de conteúdo é representado na Figura 16.

FIGURA 16 – Processo de categorização para análise de conteúdo.



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Bardin (2006).

Essa diferenciação nas questões é descrita na frente de cada questão no roteiro semiestruturado. Foram feitas quatro entrevistas para análise de conteúdo, sendo duas com o *Lean* com dois coordenadores (Apêndice A e B) e duas com o setor de meio ambiente, sendo uma assistente administrativa (Apêndice C) e uma especialista ambiental (Apêndice D).

As questões foram elaboradas para analisar três categorias desta pesquisa, como práticas de DfE e ferramentas de *Lean*, a utilização das práticas de DfE e os resultados de práticas de DfE. Cada categoria foi dividida em subcategoria para buscar verbalizações nas entrevistas gerando um resultado ou saída deste processo, servindo para maior confiabilidade dos dados descritos por meio de observações e análise documental da empresa.

3.1.5 Preparação do relatório

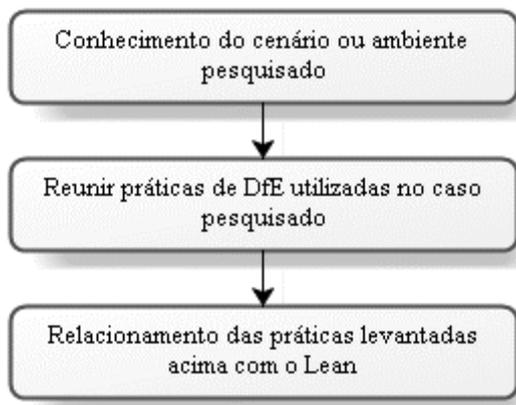
Depois da coleta dos dados, um relatório do estudo dos casos será elaborado para posterior análise. Vale ressaltar que, a questão de pesquisa pode ser revista durante a análise de caso, refinando-a ou redefinindo-a durante a pesquisa, análise e assim por diante. É importante reconhecer isso, e também para ter a coragem de levar a investigação a uma conclusão firme e resistir à tentação continuamente e de forma incremental para melhorar os resultados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). O relatório apresentado de forma completa das informações, deve dar a segurança de que a teoria é válida (EISENHARDT, 1989).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para este capítulo, é apresentado os resultados da pesquisa e sua respectiva análise conforme proposto pelos procedimentos metodológicos, mediante as observações *in loco*, entrevistas e análise de documentos. Foi realizado um estudo de caso em uma empresa, onde para não fazer menção de seu nome, chamará de Delta nesta pesquisa. Desta forma, é feita uma apresentação da Delta (4.1); uma descrição de como *Lean Manufacturing* é mantido na Delta (4.2); descrição do *Design for Environment* na Delta (4.3) e a relação do *Design for Environment* com o *Lean Manufacturing* na empresa (4.4).

Buscando atingir os objetivos desta pesquisa, foi estabelecido os seguintes passos ou objetivos específicos para os resultados. Estes podem ser identificados na Figura 17.

FIGURA 17 – Processo para desenvolvimento do caso visando os objetivos desta pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Apresentação da Delta

A Delta, constituída por cerca de sete mil funcionários, é fabricante de computadores, impressoras, máquinas de cartão de crédito, servidores, estação radiobase, aparelhos de *Global Positioning System - GPS*, *tablets* e placas de circuito eletrônico. A empresa autodeclara ser *Lean* e acredita que possuir uma abordagem sustentável é essencial para fazer negócios.

Auxiliam seus clientes a projetar, construir, distribuir e reparar produtos eletrônicos através de uma rede de instalações em trinta e dois países em quatro continentes, com um

quadro de funcionários de mais de duzentos mil colaboradores. Fornece soluções de *design* e engenharia que são combinadas com a produção de eletrônicos e serviços de logística, e estão verticalmente integradas com tecnologias de componentes, para otimizar as operações dos clientes, reduzindo os custos e o tempo de introdução no mercado.

A sinergia entre inovação e tecnologia focada em soluções exclusivas levou a empresa obter fatores de diferenciação que incluem:

- Escala significativa e execução de um sistema global;
- Estratégia de segmentos e unidades de negócios;
- Capacidades de integração vertical;
- Parques industriais ao redor do mundo;
- Serviços de baixo volume e alto *mix*;
- Gerenciamento de cadeia de fornecimento;
- Estratégia e implementação de Tecnologia da Informação – TI;
- Responsabilidade social;
- Compromisso com satisfação de clientes;
- Competências de *design*.

A empresa Delta valoriza sua cultura organizacional, destacando ser de forma sustentável e competitiva em seu mercado. Sua cultura interage com o compromisso com os clientes, colaboradores, comunidades em que atua e com o meio ambiente.

4.2 Lean Manufacturing na Delta

A gestão para o *Lean Manufacturing* está dividida em Manufatura (operações), Serviços e *Supply Chain/Office*, sendo realizadas por diferentes pessoas. Dividem a aplicação das ferramentas do *Lean* em três níveis, mediante a complexidade das ferramentas utilizadas ou trabalho a ser executado como apresentado no Quadro 11. A complexidade da ferramenta é notada mediante o nível de conhecimentos necessários para sua utilização e também o quanto de carga de trabalho será empregada para sua efetivação.

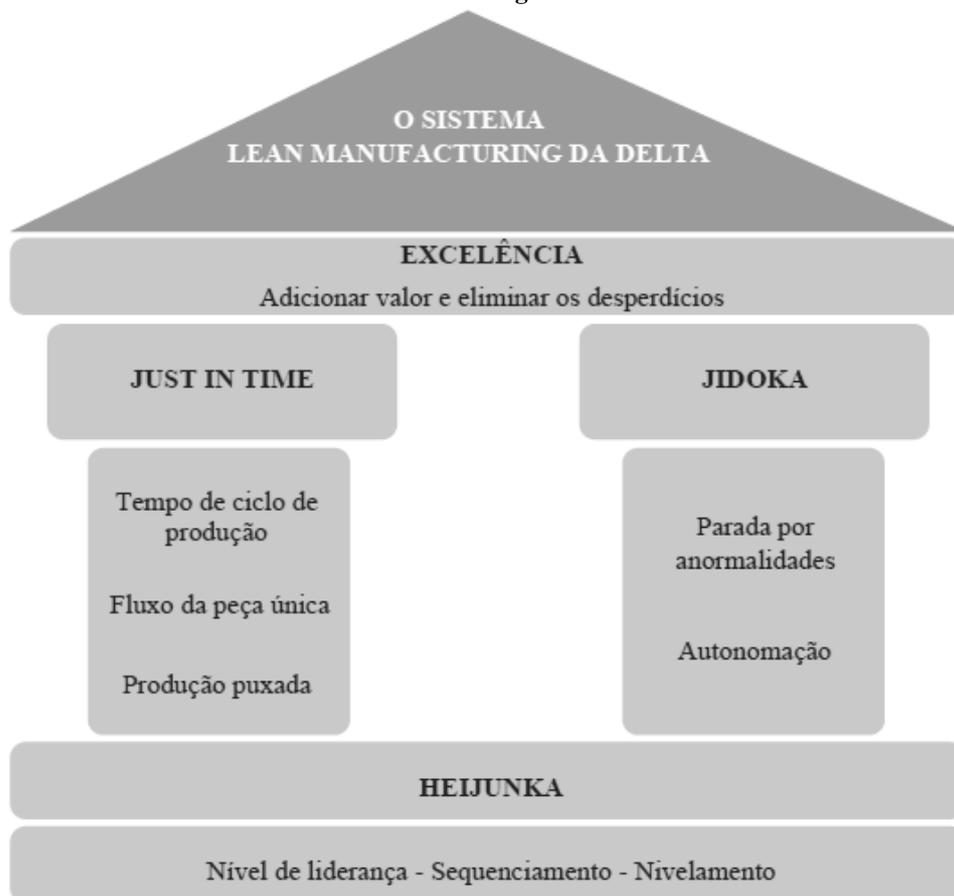
QUADRO 11 – Ferramentas Lean divididas em níveis de complexidade pela Delta.

Nível	Ferramenta Lean	Utilização
Nível 1	5S+1 (Segurança)	Treinamento que consiste em uma sistemática identificação e eliminação de desperdícios.
	Identificação de desperdícios	Método e treinamento para rápida identificação de desperdícios, sendo um conceito fundamental para todos na organização.
	Mapeamento do Fluxo de Valor	Ferramenta que consiste em uma forma padrão em identificar todo o processo organizacional em seu fluxo de valor.
	Trabalho Padronizado	Método para padronização do trabalho operacional, levando-se em conta o tempo de produção e lead time de entrega.
	Guia Kaizen	Guia estruturado de como realizar uma semana Kaizen. Identificação de projetos, análise e divulgação.
	Atividades em pequenos grupos	Guia para realização de Kaizens menores, sendo para resultado de curto prazo.
	5 Porquês?	Técnica utilizada para encontrar a causa-raiz de um problema.
	Regras Kaizen	Pré-requisitos e regras de como planejar e conduzir o Kaizen. Define responsabilidades e regras dos participantes para efetivo Kaizen.
	Manual Lean	Manual resumido do sistema Lean da empresa.
Nível 2	Design de células	Metodologia de redução de desperdícios através do layout celular mediante os conceitos Lean de produção.
	Sistema de produção puxado	Treinamento padronizado sobre o sistema de produção puxado da empresa, contemplando conceitos do sistema Lean.
	Nivelamento da carga de trabalho	Técnica de distribuição uniforme de carga de trabalho na operação para satisfação do volume requisitado.
	Fluxo básico	Definição para objetivos de um fluxo básico de produção, sendo rápido, trazendo altos resultados, rápido feedback, reduzindo "quebras" de qualidade.
	Jidoka	Conceito para definição de uma necessidade de aplicação de dispositivo de forma a identificar condições anormais no sistema produtivo.
	Pontuação de Golfe	Utilizado para ergonomia, onde é pontuado o nível de movimentação do trabalhador. Aquelas que possuem maior pontuação são propensas a riscos ergonômicos.
	Supermercados	Forma de acondicionar e manter uma linha de produção em um fluxo contínuo com o material certo, no tempo certo e na quantidade requerida. Estoques intermediários.
	Water spider	Gerenciamento do trabalho logístico para redução do material nas linhas de produção. Foco no controle e redução do inventário no processo.
	Kanban	Cartão onde contém dados do produto a ser respondido no processo de forma rápida e precisa.
	3P's	Significa preparação do processo de produção, onde são conceitos relevantes e padronizados para estabelecer a preparação de um novo processo para produto inicial.
Nível 3	7 maneiras	Critérios para escolha de uma melhor alternativa possível de solução ou melhoria de algum caso. Coloca-se peso para critérios onde o de maior pontuação acaba sendo a melhor maneira.
	Changeover	Método para redução das atividades de setup em trocas de produto, ferramentas, máquinas e operadores.
	CpK	Medida para capacidade do processo.
	Pokayoke	Dispositivo à prova de erros para não ocorrência de defeitos no processo, trabalhando de forma preventiva.
	Manutenção produtiva total	Gerenciamento de manutenção de máquinas e equipamentos onde o foco é a forma em que as pessoas lidam com tais problemas.
	Zero defeito	Programa e treinamento para buscar o zero defeito em um processo.
	Heijunka	Método para nivelamento da produção através de um planejamento e uma sequência ideal.
	Eficiência geral do equipamento	Indicador utilizado para medir a eficiência de um equipamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A base da filosofia de trabalho é o Heijunka³, contemplando três focos, sendo o nível de liderança, o sequenciamento e o nivelamento. Suportando o Heijunka, dois são os pilares, como a empresa denomina, o *Just in time - JIT* e o Jidoka. Para o JIT empregam três características: tempo de ciclo de produção, fluxo da peça única e produção puxada. O Jidoka possui parada por anormalidades e autonomia. O foco da estrutura enxuta da organização é adicionar valor e eliminar os desperdícios. Essa forma de adoção e utilização para o *Lean* pode ser chamado de Sistema *Lean Manufacturing* da Delta, representado na Figura 18.

FIGURA 18 – O sistema Lean Manufacturing da Delta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A empresa internamente possui uma base de dados ou *Sharepoint* contendo as melhores práticas realizadas por toda a companhia em suas diferentes unidades espalhadas em trinta e dois países. Periodicamente, recebem a visita de uma consultoria externa para realização de melhorias *Kaizen* por especialistas da área.

³ Controle de variabilidade da sequencia de trabalhos permitindo maior utilização da capacidade empregada. Desempenha papel fundamental na teoria da produção enxuta ou Lean Manufacturing (HÜTTMEIR et al., 2009).

A Delta define objetivos para redução de desperdícios ambientais, sendo três objetivos estratégicos dispostos para redução de 15% até dezembro de 2016, tomando como base esta definição os resultados de dezembro de 2013. Estes objetivos são de energia elétrica, consumo de água e geração de resíduos.

Para atingir os objetivos de redução do impacto ambiental, A Delta realiza *Kaizens* como metodologia dentro do seu sistema *Lean* de produção. Assim, os *Kaizens* para redução do consumo de energia, redução do consumo de água e gestão de resíduos são detalhados no Apêndice I. Nos *Kaizens* realizados, são utilizadas outras ferramentas *Lean* para contribuir com atingimento dos objetivos, como por exemplo o PDCA (*plan, do, check, act*), Diagrama de Ishikawa e o Fluxograma de processo.

Na Delta faz mensalmente o chamado *Gemba walking*, onde toda a diretoria da empresa caminha por toda a organização visualizando todos os projetos de melhoria. Nas observações notou-se um grande incentivo por parte da direção para estas atividades, onde os próprios executores de melhoria, independente do nível hierárquico, apresentavam as melhorias. Também, no final sempre havia uma pergunta: “Este trabalho teve alguma contribuição ambiental?” Isto mostra que a organização está fortemente engajada e preocupada com razões ambientais.

Também fazem um evento anual chamado de *Lean Competition*, onde existe uma versão nacional e outra mundial. Na nacional todos os melhores trabalhos dos sites são reunidos em um deles para apresentação para os representantes *Lean*, e uma bancada com especialistas externos. O melhor trabalho compete mundialmente com as outras unidades. Tanto nacional quanto mundial ganham-se prêmios para incentivo.

4.3 Design for Environment na Delta

A organização oferece aos seus clientes *design* e serviços de engenharia, desde a concepção de tecnologia e desenvolvimento até o lançamento do produto e produção. Soluções de *design* e engenharia permitem que os clientes atinjam a tempo vantagens do mercado, a melhoria da qualidade do produto, custos dos produtos reduzidos e maior flexibilidade da cadeia de suprimentos. Soluções estas por ela declarada estar em um contexto DfX, onde “x” pode ser igual a montagem, teste, custo, serviço e meio ambiente, combinado a cadeia de suprimento. O foco desta pesquisa é somente suas ações para o meio ambiente.

Sua meta para o DfE é reduzir o impacto ambiental durante todo o ciclo de vida completo do produto e incorporar soluções ambientais na concepção do produto para mitigar problemas de conformidade.

A Delta possui unidades específicas para o desenvolvimento de produto. Estas unidades, posterior ao desenvolvimento do projeto do produto, enviam para as unidades de manufatura. Assim, centralizam o conhecimento organizacional em unidades e descentralizam a produção conforme a logística para os clientes.

Para o desenvolvimento do produto existe uma equipe multidisciplinar com conhecimentos específicos de vários setores de atuação. Profissionais com conhecimentos do processo produtivo das unidades de manufatura também participam buscando melhor aplicabilidade na produção. Também, representantes do cliente também participam, onde os clientes muitas vezes impõem requisitos específicos que a Delta necessita conhecer ou desenvolver no produto.

As unidades de manufatura possuem profissionais que acompanharam o desenvolvimento do produto e são responsáveis por desenvolver o processo nestas unidades. Estes são chamados de gerentes de projetos.

Os gerentes de projetos criam os grupos nas unidades de manufatura, onde participam representantes dos setores de qualidade, logística, produção, finanças, saúde e segurança, meio ambiente, engenharia, tecnologia da informação e *facilities*.

São realizadas reuniões periódicas, normalmente semanais, para acompanhamento do desenvolvimento do projeto do produto no processo de produção. O processo todo de desenvolvimento dura normalmente seis meses. Os processos de desenvolvimento são divididos nas seguintes etapas:

- Projeto de transferência do produto: análise de viabilidade para as condições que a organização possui em relação a estrutura física. Nesta fase são descritas as maiores necessidades de produção, como a infraestrutura.
- Aprovação da equipe da alta gerência: aprovação da alta gerência para iniciar o desenvolvimento do produto e processo na unidade fabricante. Esta decisão é tomada por toda documentação elaborada na fase anterior;
- Planejamento do projeto: descrição de todo escopo para aplicação do projeto do produto e processo. São definidas todas as ações, responsáveis e datas para acompanhamento em reuniões;

- *Design*: são todos os detalhes que o processo vai possuir com todas as exigências específicas, podendo ser legais, do cliente, ambientais ou da própria organização;
- Construção das fases: todo o escopo é dividido em fases de aplicação, onde estas são aprovadas por toda equipe que está acompanhando o projeto;
- Ensaio e verificações: vários testes são realizados para verificação das funcionalidades do produto. Estes são necessários também para verificação das condições estruturais que o produto está sendo fabricado;
- Suporte e curva de aceleração: esta fase é o acompanhamento da curva de aceleração da produção. O processo necessita de um acompanhamento para chegar no nível ideal de produção, sendo a mão-de-obra uma variável de adaptação para o novo processo;
- Apresentação do projeto e entrega: apresentação final do projeto ao cliente e toda gerência da unidade fabricante e acordo logístico de entrega.

Aumentando seus esforços para o DfE, tem robusta especificações para substâncias proibidas e restritas que vão além das exigências regulamentares. Todas as unidades da empresa para *design* e fabricação, são avaliadas com base em um conjunto de questionários relevantes para estratégias ambientais e DfE, sendo:

- Conhecimento sobre e conformidade com os objetivos e estratégias corporativas;
- Coleta e utilização de conteúdos e informação sobre conformidade para os requisitos regulatórios, contratuais e específicos do cliente;
- Avaliação de treinamento e documentação;
- Análise das capacidades com relação ao Sistema Corporativo Ambiental de 5 pilares (Materiais perigosos, Reciclagem e *Take Back*, Controle da Poluição, Conservação de Recurso e Mudança Climática);
 - Regulamento e Certificação;
 - Testes (áreas de alto risco);
 - Atividades de transferência de produção.

São projetados e fabricados produtos que atendem o mercado de *Smart Grid* (eficiência energética) e está se tornando mais envolvida no mercado de energia renovável.

Todas suas filiais globais ou unidades no mundo devem ser submetidas a um rigoroso desenvolvimento ambiental de competências e um processo de certificação, ou seja, uma busca pela melhoria dos processos ambientais. A maioria das unidades são certificadas pela

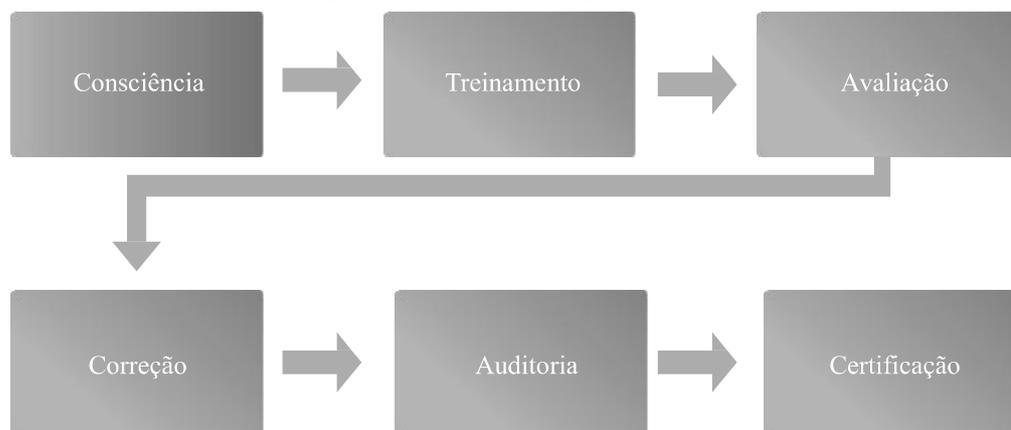
ISO 14001. Avaliações anuais são realizadas para manter o *status* de certificação e garantir a contínua conformidade com ambos os critérios, externos e internos.

Seu Sistema de Gestão Ambiental incorpora valores e critérios bem definidos e muito parecidos com os princípios do DfE, sendo:

- A gestão eficaz e controle de todas as substâncias químicas identificada em produtos e processos de fabricação;
- Os produtos eletrônicos de devolução, reutilização, reciclagem, eliminação ética de materiais de sucata e de recuperação de ativos com desperdício zero;
- Os processos de fabricação para garantir que as instalações não contaminem o ar, solo e água;
- A redução de recursos (energia e água) consumindo através de uso de fontes renováveis, tecnologia e fontes de eficiência energética;
- Medição, notificação e redução de emissão *Green House Gas - GHG*, assim como outras medições ambientais, tais como sólido e de resíduos perigosos.

Para atingir estes valores e critérios a Delta utiliza um modelo para melhor implementação e construção em seu ambiente. Assim, acaba sendo uma forma prática e padrão para facilitar este processo como apresentado na Figura 19.

FIGURA 19 – Modelo de implementação e construção do Sistema de Gestão Ambiental da Delta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os benefícios que a utilização do modelo acima traz são:

- Implementar um sistema escalável de gestão ambiental capaz de atender a todas as novas necessidades e desafios ambientais;
- Fornecer um mecanismo para identificar e compartilhar melhores práticas ao mesmo tempo em que minimiza os custos relacionados com o meio ambiente;

- Medir as oportunidades de negócio e tendências do mercado ambiental que a empresa possa aproveitar;
- Permitir uma condução do negócio de maneira ambientalmente responsável e como resultado ser percebido como um bem para as comunidades onde opera. Isto também irá minimizar os riscos dos investidores e aumentará a credibilidade e valor da marca frente aos olhos dos clientes, fornecedores e funcionários;
- Assegurar o cumprimento dos requisitos ambientais através de avaliações internas e externas e auditorias;
- Apresentar de forma definitiva aos clientes ao informá-los sobre a capacidade e compromisso com o meio ambiente e desempenho;
- Compreender os riscos e responsabilidades do negócio associados com os temas ambientais para lançar programas efetivos na abordagem de tais temas.

Uma equipe líder regional ambiental é encarregada de garantir a observância em todas as instalações mundiais. Reforçando essa estrutura, cada instalação individual também é obrigada a nomear uma equipe ambiental de gestão para orientar no sentido do cumprimento local. Assim, esta fortificação da empresa para o Sistema de Gestão Ambiental busca garantir que as operações estejam em total conformidade com as normas ambientais existentes e novos, bem como necessidades dos clientes globais.

Por meio do roteiro semiestruturado, análise documental e observação direta do pesquisador no ambiente organizacional da Delta, foram identificadas práticas de DfE exercidas. Estas práticas foram divididas pela sua ênfase no ciclo de desenvolvimento do produto, como apresentado no Quadro 12.

Várias são as práticas de DfE utilizadas pela Delta, porém existe muitas ainda não praticadas. Esta lacuna de práticas existentes com as práticas utilizadas pode ser comparada entre os Quadros 7 e 12. O Quadro 7 onde foram extraídas práticas de DfE pela literatura por meio de uma RBS e o Quadro 12 das práticas exercidas pela Delta.

Esta comparação acima citada é referenciada no Quadro 13, onde contempla as práticas da exercidas pela Delta e as encontradas pela literatura. Também, o Quadro 14 apresenta as práticas que a Delta aplica não citadas pela literatura desta pesquisa e o Quadro 15 apresenta o *gap* da literatura e da Delta, ou seja, aquelas observadas na literatura, mas não evidenciadas na Delta.

QUADRO 12 – Práticas de Design for Environment da Delta.

Fase	Práticas de Design for Environment
Desenvolvimento/ Concepção	Produto em conformidade com requisitos da norma diretiva Restriction of Hazardous Substances Directive - ROHS (não utilização de mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, polibromato bifênil, éter difenil polibromato e chumbo)
	Produto em conformidade com a norma Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals - REACH (controle de riscos sobre as substâncias químicas ou misturas prevenindo impactos a saúde humana e meio ambiente)
	Produto em conformidade com a norma Waste Electrical and Electronic Equipment - WEEE (gestão dos resíduos do produto)
	O produto é livre de halogênio
	Aplicação de alguma exigência ou requisito específico ambiental do cliente para o produto ou processo
	Elaboração de uma ficha com os dados de segurança do material
	Elaboração do mapa de perigos e risco do processo
	Verificar a existência de itens materiais e químicos perigosos no Bill of Material - BOM
	Existe algum aspecto de impacto para o projeto
	Conformidade ambiental do produto perante normas ambientais municipais, estaduais, federais, dentre outras agências regulamentadoras
Produção/ Manufatura	Formação de uma equipe para o projeto de desenvolvimento do produto, sendo representantes das áreas de meio ambiente, saúde e segurança; engenharia; qualidade; operações e materiais)
	Possuir uma política para garantir razoavelmente que o fântalo, estanho, tungstênio e ouro no produto que fabricam não direta ou indiretamente, financiam ou beneficiam grupos armados que são autores de graves violações dos direitos humanos na República Democrática do Congo ou um país adjacente (fornecimento responsável de minerais)
	Verificação de requisitos para rôtulo do produto
	É necessário revisar o plano de inspeção de recebimento
	Identificar a inclusão e/ou exclusão de uma nova máquina ou equipamento
	Identificar o uso de novas tecnologias na produção
	Estações de trabalho em conformidade com os requisitos mínimos de ergonomia
	Rotas e saídas de emergência, extintores, hidrantes, alarme de incêndio, detectores de fumaça de incêndio estão presentes.
	Área de brigadistas, mínimos 50 metros do novo projeto
	Funcionários treinados sobre perigos, riscos, aspectos e impactos ambientais, caso aplicável
Todos os Equipamentos de Proteção Individual - EPS's são fornecidos a todos os empregados de acordo com os perigos e riscos identificados	

	<p>Necessidade de controle específico para material ou agente químico</p> <p>Equipamentos e ferramentas devem ser compatíveis com o ambiente, livres de impacto ambiental, além de não oferecer riscos à saúde das pessoas</p> <p>Garantir que os materiais abastecidos na linha de produção não se misturem uns com os outros</p> <p>Identificar os materiais no processo produtivo</p> <p>Garantir que não haja contaminação em qualquer estágio do processo</p> <p>Deixar disponível formulário de verificação da área de meio ambiente para mudanças no processo</p> <p>O armazenamento é realizado de forma a garantir os requisitos funcionais</p> <p>Organização do ambiente de trabalho</p> <p>Estabelecer controle sobre cada um dos aspectos ambientais significativos, onde quando não puder ser eliminado seja controlado de forma efetiva</p> <p>Procedimentos e sistemas presentes nas dependências para prevenir, gerir, acompanhar e relatar acidentes de trabalho e doenças</p> <p>Evitar a exposição dos trabalhadores ao risco de tarefas de muita exigência física, como manuseio de materiais, trabalho pesado, trabalho repetitivo e posição prolongada na produção</p> <p>Fornecer aos trabalhadores acesso a instalações sanitárias limpas, água potável e alimentação. Para alimentação dispor de local para preparação, armazenamento e alimentação das pessoas</p> <p>Proporcionar treinamento aos trabalhadores quanto os requisitos que foram aplicados para sua saúde, segurança e bem-estar no local de trabalho</p> <p>Emissões atmosféricas de produtos químicos orgânicos voláteis, aerossóis, corrosivos, partículas de produtos químicos que destroem a camada de ozônio e subprodutos da combustão gerados a partir de operações devem ser rotineiramente monitorizadas, controladas e tratadas antes de sua liberação</p> <p>Implementar uma abordagem sistemática para evitar a contaminação do escoamento de águas pluviais. Evitar descargas e derramamentos ilegais no sistema de esgotos pluviais</p> <p>Controlar o nível de ruído liberado no perímetro para cumprimento de requisitos legais</p> <p>Transporte de materiais na fábrica de uma maneira controlada</p> <p>Definir o processo de descarte para o material ou produto químico, caso houver</p> <p>Utilizar embalagem de forma mais ecoeficiente</p> <p>Melhorar previamente, reparar e reciclar através da capacidade de acesso, rotulagem, módulos, quebrando pontos e manuais</p> <p>Definir o processo do produto para a reciclagem na outra unidade</p> <p>Definir o processo de disposição dos resíduos gerados no processo produtivo</p>
Produção/ Manufatura	
Disposição/ Recuperação	

Fonte: Elaborado pelo autor.

QUADRO 13 – Relação de práticas de DfE da literatura e da Delta.

Fase	Práticas de Design for Environment da Delta	Práticas de Design for Environment da Literatura
Desenvolvimento / Concepção	<p>Produto em conformidade com requisitos da norma diretiva Restriction of Hazardous Substances Directive - ROHS (não utilização de mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, polibromato bifenil, éter difenil polibromato e chumbo)</p> <p>Produto em conformidade com a norma Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals - REACH (controle de riscos sobre as substâncias químicas ou misturas prevenindo impactos a saúde humana e meio ambiente)</p> <p>Produto em conformidade com a norma Waste Electrical and Electronic Equipment - WEEE (gestão dos resíduos do produto)</p> <p>O produto é livre de halogênio</p> <p>Aplicação de alguma exigência ou requisito específico ambiental do cliente para o produto ou processo</p> <p>Elaboração de uma ficha com os dados de segurança do material</p> <p>Elaboração do mapa de perigos e risco do processo</p> <p>Verificar a existência de itens materiais e químicos perigosos no Bill of Material - BOM</p> <p>Existe algum aspecto de impacto para o projeto</p> <p>Conformidade ambiental do produto perante normas ambientais municipais, estaduais, federais, dentre outras agências reguladoras</p> <p>Verificação de requisitos para rótulo do produto</p> <p>Identificar a inclusão e/ou exclusão de uma nova máquina ou equipamento</p> <p>Rotas e saídas de emergência, extintores, hidrantes, alarme de incêndio, detectores de fumaça de incêndio estão presentes.</p> <p>Área de brigadistas, mínimos 50 metros do novo projeto</p> <p>Funcionários treinados sobre perigos, riscos, aspectos e impactos ambientais, caso aplicável</p> <p>Todos os Equipamentos de Proteção Individual - EPS's são fornecidos a todos os empregados de acordo com os perigos e riscos identificados</p> <p>Equipamentos e ferramentas devem ser compatíveis com o ambiente, livres de impacto ambiental, além de não oferecer riscos à saúde das pessoas</p> <p>Estabelecer controle sobre cada um dos aspectos ambientais significativos, onde quando não puder ser eliminado seja controlado de forma efetiva</p> <p>Procedimentos e sistemas presentes nas dependências para prevenir, gerir, acompanhar e relatar acidentes de trabalho e doenças</p> <p>Fornecer aos trabalhadores acesso a instalações sanitárias limpas, água potável e alimentação. Para alimentação dispor de local para preparação, armazenamento e alimentação das pessoas</p> <p>Proporcionar treinamento aos trabalhadores quanto os requisitos que foram aplicados para sua saúde, segurança e bem-estar no local de trabalho</p> <p>Emissões atmosféricas de produtos químicos orgânicos voláteis, aerossóis, corrosivos, partículas de produtos químicos que destroem a camada de ozônio e subprodutos da combustão gerados a partir de operações devem ser rotineiramente monitoradas, controladas e tratadas antes de sua liberação</p> <p>Controlar o nível de ruído liberado no perímetro para cumprimento de requisitos legais</p> <p>Transporte de materiais na fábrica de uma maneira controlada</p>	<p>Reduzir ou eliminar o uso de materiais ligados à degradação da camada de ozônio e às mudanças climáticas, durante o ciclo de vida.</p> <p>Entender o produto como ambientalmente correto por todo o seu ciclo de vida</p> <p>Escolher os materiais mais adequados, naturais ou não, com base na avaliação do ciclo de vida</p>
Produção/ Manufatura	<p>Utilizar material retornável ou reutilizável para embalagem</p> <p>Definir critérios ambientais para definição dos equipamentos, como reduzindo o consumo de energia elétrica</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Otimização dos custos e impactos ambientais visando a análise do ciclo de vida</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE</p> <p>Utilizar material retornável ou reutilizável para embalagem</p> <p>Definir critérios ambientais para definição dos equipamentos, como reduzindo o consumo de energia elétrica</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Definir critérios ambientais para definição dos equipamentos, como reduzindo o consumo de energia elétrica</p> <p>Minimizar os resíduos gerados no processo produtivo</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Definir critérios ambientais para definição dos equipamentos, como reduzindo o consumo de energia elétrica</p> <p>Projetar o processo de fabricação com técnicas de produção mais limpa</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Melhorar a logística de distribuição, minimizando a necessidade de transporte</p> <p>Reduzir ou eliminar o uso de materiais ligados à degradação da camada de ozônio e às mudanças climáticas, durante o ciclo de vida</p> <p>Utilizar material retornável ou reutilizável para embalagem</p> <p>Promover a reparação e modernização; reuso do produto em seu fim de vida; empregar produtos recicláveis ou reutilizáveis, reduzindo o uso de materiais vírgens. Emprego de uma logística reversa.</p> <p>Desmaterialização como conceito de concepção do produto</p> <p>Eliminação segura dos restos do produto para sua disposição</p>	<p>Identificar e aplicar os requisitos de clientes para o produto e processo</p> <p>Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE, sendo aspectos de segurança</p> <p>Otimização dos custos e impactos ambientais visando a análise do ciclo de vida</p> <p>Obter um processo integrado de exigências ambientais legais com o processo de DfE</p>
Disposição/ Recuperação	<p>Definir o processo de descarte para o material ou produto químico, caso houver</p> <p>Utilizar embalagem de forma mais eficiente</p> <p>Melhorar previamente, reparar e reciclar através da capacidade de acesso, rotulagem, módulos, quebrando pontos e manuais</p> <p>Definir o processo do produto para a reciclagem na outra unidade</p> <p>Definir o processo de disposição dos resíduos gerados no processo produtivo</p>	<p>Reduzir ou eliminar o uso de materiais ligados à degradação da camada de ozônio e às mudanças climáticas, durante o ciclo de vida</p> <p>Utilizar material retornável ou reutilizável para embalagem</p> <p>Promover a reparação e modernização; reuso do produto em seu fim de vida; empregar produtos recicláveis ou reutilizáveis, reduzindo o uso de materiais vírgens. Emprego de uma logística reversa.</p> <p>Desmaterialização como conceito de concepção do produto</p> <p>Eliminação segura dos restos do produto para sua disposição</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

QUADRO 14 – Práticas de DfE da Delta não citadas na literatura.

Fase	Práticas de Design for Environment da Delta
Desenvolvimento/ Concepção	Formação de uma equipe para o projeto de desenvolvimento do produto, sendo representantes das áreas de meio ambiente, saúde e segurança; engenharia; qualidade; operações e materiais)
	Possuir uma política para garantir razoavelmente que o tântalo, estanho, tungstênio e ouro no produto que fabricam não direta ou indiretamente, financiam ou beneficiam grupos armados que são autores de graves violações dos direitos humanos na República Democrática do Congo ou um país adjacente (fornecimento responsável de minerais)
Produção/ Manufatura	É necessário revisar o plano de inspeção de recebimento
	Identificar o uso de novas tecnologias na produção
	Estações de trabalho em conformidade com os requisitos mínimos de ergonomia
	Necessidade de controle específico para material ou agente químico
	Garantir que os materiais abastecidos na linha de produção não se misturem uns com os outros
	Identificar os materiais no processo produtivo
	Garantir que não haja contaminação em qualquer estágio do processo
	Deixar disponível formulário de verificação da área de meio ambiente para mudanças no processo
	O armazenamento é realizado de forma a garantir os requisitos funcionais
	Organização do ambiente de trabalho
	Evitar a exposição dos trabalhadores ao risco de tarefas de muita exigência física, como manuseio de materiais, trabalho pesado, trabalho repetitivo e posição prolongada na produção
	Implementar uma abordagem sistemática para evitar a contaminação do escoamento de águas pluviais. Evitar descargas e derramamentos ilegais no sistema de esgotos pluviais

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto a destacar é que não tem nenhuma prática estabelecida para utilização do produto pensando no meio ambiente. Esta etapa do ciclo de desenvolvimento do produto ainda não é estabelecida nenhuma prática pela Delta, como fabricante de eletrônicos. Quando questionada a especialista de meio ambiente da empresa sobre este aspecto, respondeu que este ponto realmente não está sendo tratado ainda pela Delta, mas sim iniciado por alguns clientes. Aspectos ambientais para a fase de utilização de produtos eletrônicos são muito importantes, principalmente pela alta fonte de energia empregada para sua utilização.

Em contrapartida, a fase de disposição tem um grande foco. A Delta possui uma unidade fabril para a reciclagem de resíduos e reutilização de componentes de seus produtos. Classifica seu serviço em quatro categorias, sendo um centro de inovação em tecnologia sustentável, sistema de logística reversa, central de transformação e educação e inclusão.

QUADRO 15 – Práticas de DfE da literatura não observadas na Delta.

Fase	Práticas de Design for Environment	Literatura
Desenvolvimento/ Concepção	Ter em conta o menor consumo de energia, maximizando o uso de fontes renováveis de energia	Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Passarini et al. (2010); van Hemel e Cramer (2002); van Hemel e Cramer (2002)
	Usar o mínimo de material e evitar a utilização de materiais escassos	Giannetti e Almeida (2006)
	Reduzir ou eliminar o uso de materiais tóxicos, inflamáveis ou explosivos durante o ciclo de vida	Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Borchardt et al. (2008); Jeswiet e Hauschild (2005); Boks (2006); Park e Tahara (2008); Ardenete, Mathieux e Recchioni (2014); Kurk e Eagan (2008)
	Alcançar ou exceder as metas regulamentares	Giannetti e Almeida (2006)
	Usar materiais de alta qualidade para minimizar o peso do produto, se tais escolhas não interferem com a necessária flexibilidade, resistência ao impacto ou outras prioridades funcionais	Luttrupp e Lagerstedt (2006); Fiksel (2009); van Hemel e Cramer (2002); Alves et al. (2010); Park e Tahara (2008)
	Investir em melhores materiais, tratamentos de superfície ou arranjos estruturais para proteger os produtos de sujeira, corrosão e desgaste, garantindo assim a manutenção reduzida e maior vida útil do produto	Luttrupp e Lagerstedt (2006)
	Usar o mínimo de elementos de união possível e utilize parafusos, adesivos, soldadura, encaixe ajustável, fecho geométrico, entre outro, de acordo com o cenário de ciclo de vida	Luttrupp e Lagerstedt (2006)
	Utilização de uma ferramenta disponível para o DfE como apoio, onde nela contemple várias práticas a serem utilizadas na concepção do produto e processo	Andriankaja et al. (2015); Passarini et al. (2010); Hernandez et al. (2012); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Lofthouse (2006); Lindahl (2006); Tintita-Barna et al. (2014); Byggeth e Hochschorner (2006) Birch, Hon e Short (2012); Kurk e Eagan (2008)
	Integrar o processo de DfE na cadeia de valor da empresa	Andriankaja et al. (2015); Bovea e Pérez-Bélis (2012); Brones e de Carvalho (2015); Pochat, Bertoluci e Froelich (2007); Boks (2006)
	Identificar prazos para a realização de práticas na fase de desenvolvimento do produto	Andriankaja et al. (2015)
	Realização de uma análise de sensibilidade ou incerteza, buscando garantir um intervalo de confiança nos resultados do projeto	Andriankaja et al. (2015)
	Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências econômicas	Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); Raz, Druehl e Blass (2013); Jeswiet e Hauschild (2005); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Pigozzo et al. (2010); Plouffe et al. (2011)
Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências funcionais	Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); Passarini et al. (2010); Raz, Druehl e Blass (2013); Jeswiet e Hauschild (2005); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Pigozzo et al. (2010)	
Identificar os requisitos necessários na fase de concepção quanto as exigências jurídicas/legais	Bovea e Pérez-Bélis (2012); Roca et al. (2012); Passarini et al. (2010) Sakundarini et al. (2015); Gouda, Jonnalagedda, Saranga (2016); Jeswiet e Hauschild (2005); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Pigozzo, Rozenfeld e McAloone (2013); Pigozzo et al. (2010); Ardenete, Mathieux e Recchioni (2014)	
Utilizar de ferramentas DfE que são de fácil utilização	Bovea e Pérez-Bélis (2012); Hernandez et al. (2012); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Lofthouse (2006); Lindahl (2006); Byggeth e Hochschorner (2006); Birch, Hon e Short (2012); Kurk e Eagan (2008)	

Desenvolvimento/ Concepção	Definir critérios para definição das informações, a fim de coletar informações precisas não perdendo tempo com aquelas que não agregam valor na fase de desenvolvimento	Bonvoisin et al. (2014)
	Empregar um modo de transporte com energia eficiente	van Hemel e Cramer (2002)
Produção/ Manufatura	Assegurar o compromisso, apoio e recursos para executar atividades relacionadas a concepção ecológica	Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013); Plouffe et al. (2011)
	Incorporar tarefas de concepção ecológica para a rotina diária de empregados relevantes	Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013)
	Definir critérios ambientais para definição da infraestrutura, utilizando-se do mínimo de recursos possíveis no contexto organizacional	Bonvoisin et al. (2014); Kurk e Eagan (2008)
	Utilização de materiais com menor energia empregada em sua fabricação ou extração	van Hemel e Cramer (2002)
	Utilização de menor volume de componentes no produto	van Hemel e Cramer (2002); Platcheck et al. (2008b)
	Menor número possível de processos para a produção	van Hemel e Cramer (2002)
	Buscar uma menor eliminação de resíduos na produção	van Hemel e Cramer (2002)
	Menor utilização possível de materiais de consumo no processo de produção	van Hemel e Cramer (2002); Platcheck et al. (2008a)
	Utilizar materiais limpos para embalagens, de baixa energia empregada e ausência de produtos tóxicos em sua composição	van Hemel e Cramer (2002)
	Aumentar a vida do produto	Giannetti e Almeida (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006)
	Reduzir ou eliminar o armazenamento e emissão de materiais perigosos	Giannetti e Almeida (2006)
	Buscar projetar o produto de forma multifuncional	Luttrupp e Lagerstedt (2006); Fiksel (2009)
	Buscar o reaproveitamento dos resíduos gerados do uso do produto	Luttrupp e Lagerstedt (2006); Fiksel (2009); Borchardt et al. (2008)
	Menor utilização de energia na utilização do produto	van Hemel e Cramer (2002)
	Fontes de energias limpas empregadas na utilização do produto	van Hemel e Cramer (2002)
	Utilização de poucos materiais de consumo na utilização do produto	van Hemel e Cramer (2002)
Materiais de consumo para utilização do produto que são limpos	van Hemel e Cramer (2002)	
Obter um produto que não tenha desperdício de energia quanto sua utilização	van Hemel e Cramer (2002)	
Alta durabilidade e confiabilidade do produto no início de sua vida útil	van Hemel e Cramer (2002)	
Estrutura do produto de forma modular ou adaptável as necessidades dos clientes	van Hemel e Cramer (2002)	
Buscar uma forte relação do produto com seu consumidor ou usuário	van Hemel e Cramer (2002)	
Produto para uso de forma compartilhada	van Hemel e Cramer (2002)	
Otimização funcional e integração de funções para o produto	van Hemel e Cramer (2002)	
Utilização de materiais renováveis	van Hemel e Cramer (2002)	
Fácil manutenção e reparo do produto	van Hemel e Cramer (2002)	
Projetar um processo de manufatura ou renovação para o produto	van Hemel e Cramer (2002); Sakundarini et al. (2015); Pigosso et al. (2010)	
Incineração segura para o fim de vida do produto (recuperação de energia)	van Hemel e Cramer (2002)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Estas categorias são descritas:

- O centro de inovação em tecnologia sustentável realiza testes laboratoriais para testes de qualidade e certificação dos componentes produzidos sob a reciclagem na unidade, em especial o plástico. Os aspectos verificados são a resistência, a cor e a fluidez;
- O sistema de logística reversa é praticado desde o consumidor até a unidade de reciclagem. Possui sistema de rastreabilidade dos produtos para que falhas não aconteçam no processo desta logística;
- A central de transformação é composta por linhas de produção com uma tecnologia capaz de processar componentes eletrônicos, como hardwares, suprimentos de impressão e resíduos industriais. Estes resíduos industriais em sua maioria são trazidos da Delta, fechando o ciclo do produto;
- A educação e inclusão são praticados através de parcerias com a sociedade, buscando um crescimento profissional das pessoas. Também um aprimoramento da consciência ambiental das pessoas na sociedade é foco deste trabalho na unidade para sua funcionalidade e captação de recursos recicláveis.

4.4 Relação do Design for Environment com o Lean Manufacturing na Delta

A Delta utiliza várias ferramentas de *Lean* para melhor gerir seus processos para melhoria da qualidade e produtividade. Além disso, mediante as visitas na empresa foram identificadas algumas práticas de DfE “aplicadas” que exercem relação com ferramentas do *Lean*, como o 5S, a Manutenção Produtiva Total o MFV e o *poka-yoke*. Também, mediante as observações *in loco* foram identificadas ferramentas do *Lean* que contribuem de alguma forma para o meio ambiente, como inspeção autônoma, *Kanban*, Manufatura Celular, PDCA, *setup* rápido e trabalho padronizado, porém “ainda não aplicadas”. A sugestão é que estas ferramentas poderiam ser utilizadas na concepção do produto para minimização do impacto ambiental em todo o ciclo de vida do produto.

As ferramentas do *Lean* que relacionam com as práticas de DfE exercidas pela Delta são comentadas abaixo:

- A empresa possui algumas práticas de DfE como organização do ambiente de trabalho, identificar a inclusão e/ou exclusão de uma nova máquina ou equipamento, garantir que os materiais abastecidos na linha de produção não se misturem uns com os outros e

identificar os materiais no processo produtivo, onde podem contribuir em um ambiente limpo e organizado. Essas práticas tem uma proposta muito semelhante com a ferramenta 5S do *Lean*. Desta forma, o emprego destas práticas de DfE acabam contribuindo para o *Lean*, proporcionando maior visibilidade do processo produtivo e rápida identificação de desperdícios, eliminando os problemas antes que eles surjam e usando de forma racional os recursos. No 5S pode ser incorporado itens de meio ambiente saúde e segurança, além de auditorias, eliminação de riscos e resíduos de cada área de trabalho (EPA, 2006).

- A Manutenção Produtiva Total é uma ferramenta adotada pela empresa que para o meio ambiente está diminuindo as paradas de máquina para manutenção e, conseqüentemente, do consumo de materiais para o seu conserto e geração de resíduos. Estas observações na Delta vêm de encontro com o trabalho de Chiarini (2014) apresentando as reduções citadas, além da redução de emissões de gases poluentes. Um melhor rendimento da máquina facilita a manutenção e aumenta a qualidade do produto final. Práticas de DfE utilizadas que estão relacionadas com esta ferramenta *Lean* são a identificação de inclusão e/ou exclusão de uma nova máquina ou equipamento e possuir equipamentos e ferramentas em compatibilidade com o ambiente, livres de impacto ambiental, além de não oferecer riscos à saúde das pessoas. A gestão destes fatores como já definidos na concepção podem ser feitos pelo próprio operador.

- As práticas de definir o processo de descarte para o material ou produto químico, obtenção de rotas e saídas de emergência, extintores, hidrantes, alarme de incêndio, detectores de fumaça de incêndio estão presentes, área de brigadistas com mínimos de 50 metros do novo projeto, são práticas que estão relacionadas ao fluxo de valor da empresa e poderiam estar sendo geridas pela ferramenta de MFV. A empresa adota o MFV, mas não para fase de concepção, onde poderia mapear o fluxo operacional ou fabril para identificação de *insights* para melhor uso dos recursos, eliminando ineficiências, gargalos e processos. O MFV pode ser modificado de forma a incluir preocupações ambientais para visualização de todo o fluxo de valor (EPA, 2006; FIKSEL, 2009; NORTON; FEARNE, 2009).

- A maior parte das máquinas possuem sistema a prova de erros ou *poka-yoke*. Esta ferramenta está possibilitando a redução da fabricação de produtos defeituosos, diminuindo o consumo de recursos como materiais e energia, reduzindo estoques, reduzindo produtos descartados no ambiente. Práticas de DfE da empresa, como identificar a inclusão e/ou exclusão de uma nova máquina ou equipamento e adoção de equipamentos e ferramentas que devem ser compatíveis com o ambiente, livres de impacto ambiental, além de não oferecer riscos à saúde das pessoas, estão relacionadas com critérios para *poka-yoke*.

As ferramentas do *Lean* que exercem melhorias ambientais, mediante as observações, que poderiam ser aplicadas na concepção do produto são comentadas abaixo:

- A inspeção autônoma é realizada em alguns processos produtivos da Delta. Tem o objetivo de reduzir produtos defeituosos na fabricação, com a consequente diminuição do consumo de recursos como materiais e energia. A inspeção autônoma tem esta contribuição ambiental, mas poderia estar sendo utilizada para todos os processos da empresa, além de ser inserida como prática de DfE da empresa.

- A Delta não possui ainda um sistema de *Kanban* implementado de forma efetiva para garantir todo o fluxo de materiais na empresa. Possuem um cartão contendo as informações que um *Kanban* necessitaria para circulação, mas não possuem um fluxo de cronoanálise e interfaces de abastecimento como um *Kanban* precisaria. Um *Kanban* implementado na empresa, visando os aspectos ambientais ajudaria na redução da quantidade de produtos fabricados, diminuindo o volume de estoque, a obsolescência dos materiais, deterioração e a consequente geração de resíduos e sua disposição no meio ambiente. Em diálogo com um dos coordenadores de *Lean*, ele visualiza esta mesma contribuição do *Kanban* e entende a real necessidade de uma adoção da ferramenta. Assim, todos os materiais para fabricação de um produto novo, poderia já ser projetado para abastecimento por meio de um *Kanban*, garantindo também a prática existente para o transporte de materiais na empresa de uma maneira controlada.

- A Manufatura Celular é empregada em todos os processos produtivos e para o meio ambiente está reduzindo a movimentação dos materiais, o consumo de energia elétrica, diminuindo a possibilidade de estragos em seu manuseio e o consequente descarte. Todos estes ganhos estão sendo proporcionados depois que o processo é estabelecido, não sendo observada nenhuma prática na concepção do processo sob esta perspectiva. As melhorias relativas com Manufatura Celular foram identificadas em alguns *Kaizens* realizados. Chiarini (2014) afirma que a Manufatura Celular reduz o transporte de material na célula de produção, poupando eletricidade de máquinas de movimentação de material reduzindo o impacto ambiental.

- A metodologia do PDCA é utilizada no planejamento do controle e melhoria do processo em busca da identificação do cenário atual e seus *gaps* em relação ao uso dos recursos naturais. Esta ferramenta é utilizada para um processo já implementado por meio de *Kaizens*, onde poderia ser utilizado na fase de concepção visando aspectos ambientais, além de retroalimentar os próximos projetos que estão por vir mediante as melhorias realizadas. O

PDCA tem uma série de informações que poderão ser utilizadas como melhores práticas. Assim, da mesma forma que o *Lean* possui um banco de dados para melhores práticas, o DfE também poderia abordar esta perspectiva. A recomendação é para a utilização de *Kaizens* sob a metodologia do PDCA na fase de concepção. Uma lista de verificação ambiental para *Kaizen* é uma forma simples para identificação de alterações de planejamento operacional (EPA, 2006).

- O *setup* rápido é uma ferramenta que a empresa possui, que de forma ambiental está reduzindo a fabricação de produtos defeituosos, diminuindo os estoques, com redução da possibilidade de deterioração, obsolescência dos materiais e descarte do produto no ambiente. Chiarini (2014) afirma que pode também reduzir o consumo de energia elétrica com esta ferramenta *Lean*. Não é prática de DfE o *setup* rápido, mas possibilitando estas melhorias ambientais, poderia ser inserida como prática. Somente é adotado no processo depois de implementado.

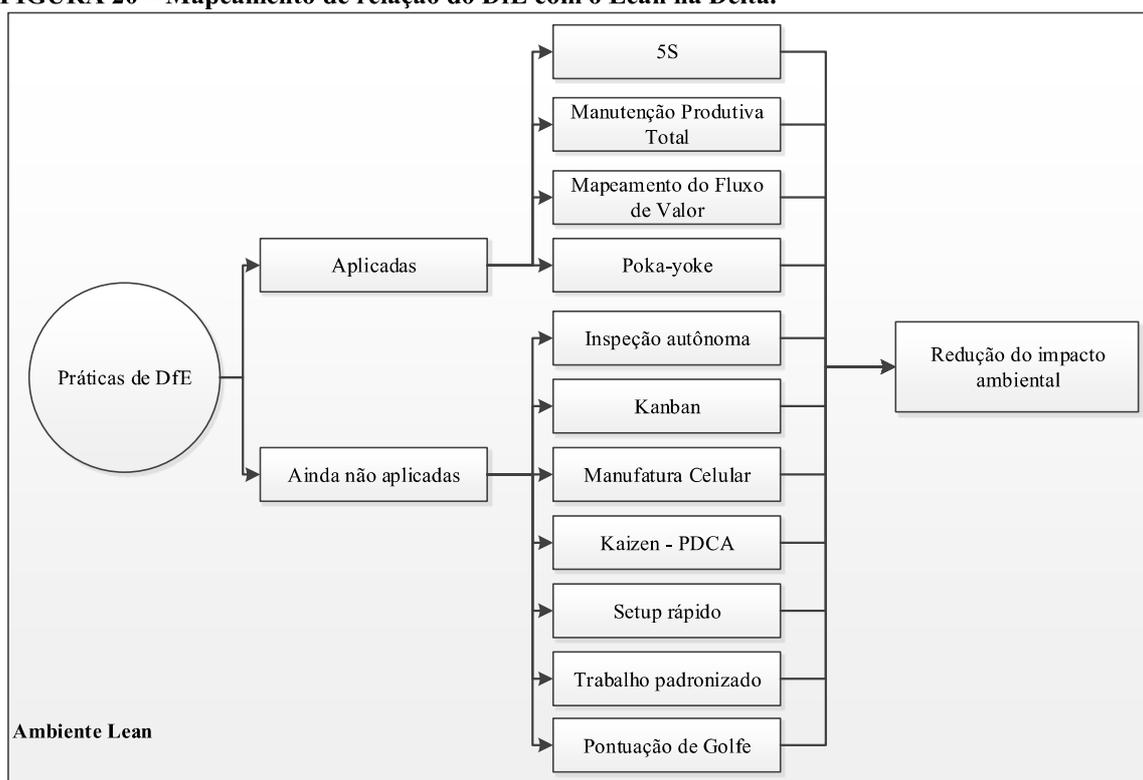
- O trabalho padrão é estabelecido nos processos produtivos. Considera somente as atividades relativas a execução da fabricação do produto. É observado que o trabalho padrão em aspectos ambientais poderia melhorar a utilização dos recursos naturais, evitando uso excessivo e operações desnecessárias. Mediante este ganho que a ferramenta pode oferecer, a Delta poderia incluir como uma prática de DfE.

- A Pontuação de Golfe é uma ferramenta *Lean* que tem por objetivo melhorar as movimentações das pessoas para um trabalho mais ergonômico. Esta preocupação com as pessoas é mencionada por Fiksel (2009) onde a saúde e segurança das pessoas é parte dos objetivos que o DfE caracteriza. A Pontuação de Golfe poderia ser aplicada para desenvolver um processo mais ergonômico, contemplando princípios de redução da movimentação, proporcionando um *layout* mais adequado para uso dos recursos e movimentação.

As práticas de DfE aplicadas na Delta e aquelas que ainda não estão visualizando a aplicação de ferramentas de *Lean* podem trazer uma redução do impacto ambiental. Essa estrutura abordada na empresa pode ser ilustrada pela Figura 20.

Também, as Figuras 21 e 22 apresentam detalhadamente esta proposta. A Figura 21 apresentando as práticas de DfE que exercem relação com ferramentas de *Lean* e a Figura 22 as ferramentas de *Lean* que poderiam ser aplicadas na concepção do produto suportando práticas ainda não estabelecidas pela Delta.

FIGURA 20 – Mapeamento de relação do DfE com o Lean na Delta.



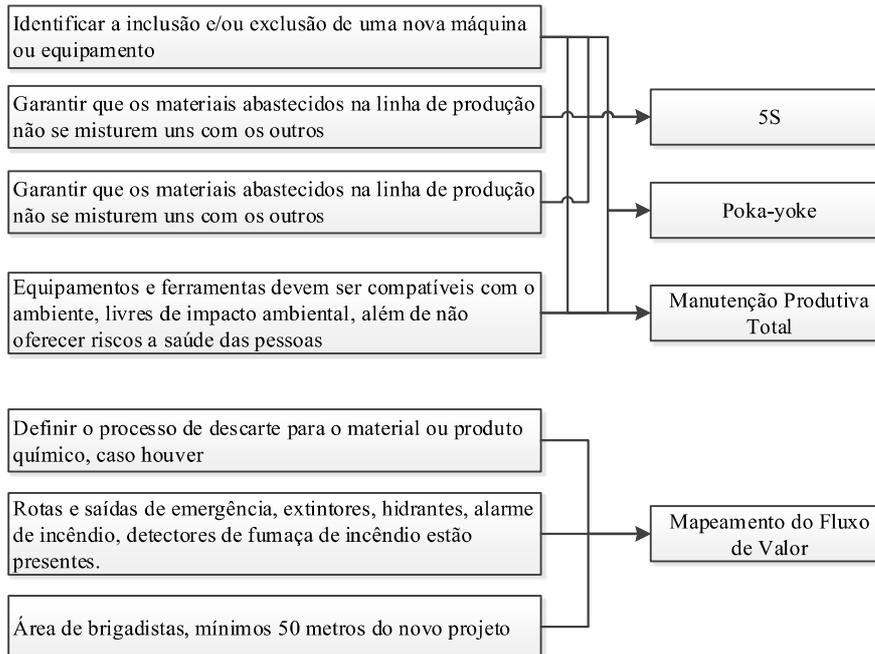
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Delta possui uma filosofia de quantificação dos ganhos sendo três divisões como *hard saving*, *soft saving* e *inventory*. *Hard saving* é quando qualquer melhoria resulta no impacto nos lucros e perdas da organização, sendo o mais alto nível de impacto financeiro positivamente. *Soft saving* são os ganhos financeiros que não chegam a impactar no lucro operacional. *Inventory* é quando diminui o nível de inventário e reduz contas a pagar e receber.

O projeto que reduziu o consumo de energia elétrica foi considerado *hard saving*, pois impactou os lucros e perdas e o de água foi *soft saving*, obtendo ganhos mais não em uma conta nos números financeiros. O projeto de água foi mensurado um ganho mensal de 59.188 galões de água por mês ou o equivalente a uma piscina semiolímpica.

Fica evidente por meio destes *Kaizens*, que o *Lean* vem reduzindo o impacto ambiental na Delta devido a fatores que não são práticas de DfE. O consumo de energia elétrica, consumo de água e a gestão dos resíduos, poderiam ser práticas de DfE que possibilitariam um processo com maior preocupação ambiental desde sua concepção em contribuição ao menor esforço do *Lean* para melhoria do sistema. A maior parte das ferramentas do *Lean* reduzem fluxos, mas indiretamente leva a melhorias ambientais (FRANCHETTI et al., 2009; KING; LENOX, 2001).

FIGURA 21 – Práticas de DfE relacionadas com ferramentas Lean na Delta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pampanelli, Found e Bernardes (2014) propõem um modelo de integração entre abordagens de *Lean* e práticas ambientais em células de produção, sendo em cinco passos:

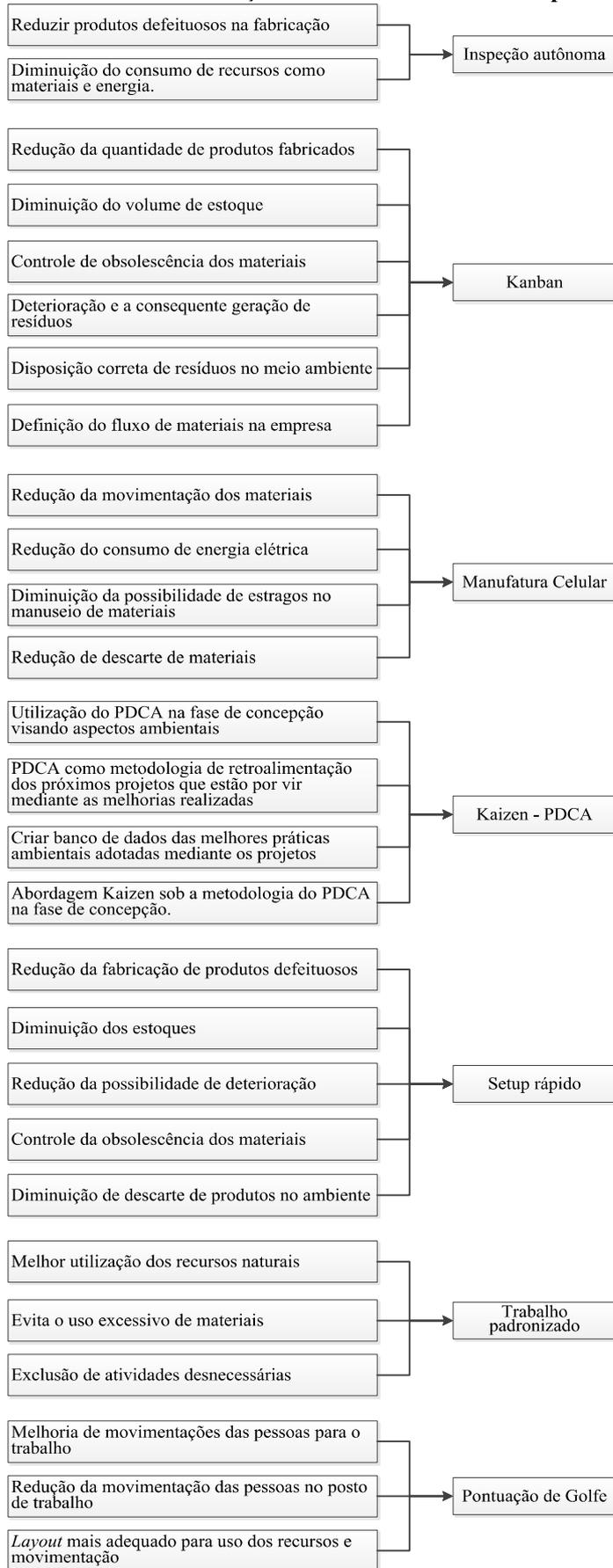
1. Estabilizar o fluxo de valor;
2. Identificar os aspectos e impactos ambientais;
3. Medir fluxos de valor ambiental;
4. Melhorar fluxos de valor ambiental;
5. Melhoria contínua.

Este modelo pode ser aplicado a este trabalho, na Delta, onde primeiro passo não sendo uma estabilização do processo, mas sim um estabelecimento do processo. Desta forma, estes passos visando o *Lean*, acabam projetando um produto de menor impacto ambiental.

Por meio de uma análise de conteúdo segundo Bardin (2006), foram criadas três categorias para identificação de resultados para validação das observações. A análise de conteúdo é apresentada no Quadro 16. Os resultados são apresentados:

- Existem ferramentas de *Lean* que poderiam ser utilizadas e adaptadas para o foco ambiental na concepção do produto;
- A Delta poderia melhorar seu aspecto de *design* do processo visando aspectos ambientais em sua concepção;
- Existe apoio da administração para o *Lean* e utilização das práticas de DfE;

FIGURA 22 – Contribuições de ferramentas de Lean aplicadas na concepção do produto na Delta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- *Lean* e DfE são importantes um para com outro, onde o *Lean* contribui para a melhoria ambiental e a aplicação do DfE diminui os esforços do *Lean* para esta melhoria quando aplicado;
- A relação do DfE é de forma complementar para o *Lean*, não sendo uma forma de substituição ou dependência, pois cada um possui características diferentes, mas objetivos semelhantes quanto redução de desperdícios;
- A forma complementar entre DfE e *Lean* são vistas como uma parceria em soluções de problemas no processo produtivo. A empresa ainda não visualiza uma abordagem na concepção para utilização de ferramentas de *Lean*. Isto é observado pelos profissionais da empresa;
- Não existe uma limitação ou barreira específica para a utilização do DfE em um ambiente *Lean* de produção;
- Os resultados do DfE são sempre positivos, impactando em redução do impacto ambiental em toda cadeia de valor da empresa;
- O *Lean* proporciona benefícios de redução de recursos, redução de custo e aspectos ambientais; enquanto o DfE também reduz desperdícios mais ambientais, como redução de resíduos, agressões ao meio ambiente; melhor qualidade de vida dos funcionários e um marketing ambiental;
- A Delta tem grande foco na fase de disposição do produto, onde tem uma unidade fabril para reciclagem e tratativa dos resíduos e produtos em final de ciclo de vida.

QUADRO 16 – Análise de conteúdo da pesquisa.

Categoria	Subcategoria	Questões envolvidas	Verbalizações	Resultado / Saída
Práticas de DfE e ferramentas de Lean (Gap)	Ferramenta Lean não utilizada para meio ambiente	13	<p>Entr. A: Acredito que o VSM ele foi criado para entender o fluxo de valor, mas eu acredito inclusive, e eu já vi esboços do pessoal tentando colocar o VSM para analisar a questão ambiental tanto de consumo de energia elétrica, consumo de água e geração de resíduos. Então acho que o VSM pode sim ser adaptado para uma visão ambiental dos processos. Estou lembrando aqui do VSM. Talvez, a partir do momento que você tenha um problema já existente, qualquer ferramenta de análise de problema como PDCA, como 5 Porquês?, também pode ser utilizado pra você alcançar a causa-raiz e trabalhar na causa-raiz...Talvez hoje a gente tenha a Pontuação de Golfe que analisa questões ergonômicas da operação...Hoje a gente poderia colocar sinalizações de segurança do trabalho, questões ergonômicas no Trabalho Padronizado, naquele layout do Trabalho Padronizado que colocamos, poderiam estar colocando símbolos ambientais.</p> <p>Entr. B: acho que a princípio com certeza tem ferramentas que não é utilizada hoje e que podem ser utilizadas. Tudo depende do nível de análise que a gente está.</p> <p>Entr. C: Eu acho que daria para utilizar as que se tem para meio ambiente. O PDCA utiliza-se bastante, já temos esta prática.</p> <p>Entr. D: Sim, porque o Lean tem diversas ferramentas. Por exemplo, hoje eu vejo uma forma, se não for aplicado, no futuro vai ser no desenvolvimento de outro produto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * VSM ambiental; * PDCA para soluções ambientais; * Trabalho Padronizado sinalizando utilização de recursos; * Pontuação de Golfe para ergonomia.
	Prática DfE não utilizada	21	<p>Entr. A: Na questão de fazer o planejamento do nosso processo, ou seja, a gente sabe que vai produzir um produto e estamos começando a fazer a linha do produto, fazendo o design da linha, eu vejo que ainda existe uma oportunidade de fazer o design da linha, fazer o planejamento do processo pensando na questão ambiental, principalmente quanto à separação de resíduos. Eu vejo que hoje a gente tem muito layout, tem muitas estações de trabalho que não foram desenhadas pensando na questão ambiental...questões ambientais, como separações de resíduos, de papel, de plástico, pensar no posicionamento do layout, colocando ou inserindo os latões de lixo, enfim.</p> <p>Entr. B: Eu acho que bastante coisa a gente poderia e precisaria ter abordado antes, até por isso em alguns momentos a gente tem que fazer projetos atuais de resolver problemas. Caso tivesse sido pensado nisso antes, eu acho que de repente hoje em dia teríamos um lado bom, menos projetos nesta área.</p> <p>Entr. C: Práticas são realizadas depois da concepção, por exemplo, a implementação dos coletores na coleta seletiva</p> <p>Entr. D: Hoje não mais porque já está bem difundido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Design do processo visando recursos ambientais (layout, separação de resíduos, coleta seletiva)

Utilização de práticas de DfE	Apoio da administração	14 e 15	<p>Entr. A: Sim, existe muito apoio. O gerente da planta, na verdade se a gente pensar em corporação, a Delta como uma multinacional desde o CEO existe esse apoio.</p> <p>Entr. B: Sim. A gente não conseguiria ter a estrutura que a gente tem hoje por exemplo, todos os coordenadores, de ter a nossa área, de conseguir ter a atenção do pessoal para poder fazer projeto, de melhorar, se não tivessem o interesse e o apoio da alta gerência.</p> <p>Entr. C: Mas tem apoio sim da administração.</p> <p>Entr. D: Sim, existe, apoiam.</p> <p>Entr. A: E hoje nesses materiais, assim como eu falei das ferramentas, esses materiais não têm alguns detalhes que falam do meio ambiente, não são específicos para o meio ambiente. Tem oportunidade de melhorar esses materiais, diria que tem oportunidade, mas eu diria que pensando em redução de custo tem uma série de iniciativas. Por exemplo, redução de energia elétrica, redução de consumo de água, que elas também reduzem o custo, que é o que buscamos em todos os Kaizens, e vão de encontro com o meio ambiente, vão de encontro com a necessidade ambiental... não é explícito mais consequência de todas as nossas iniciativas.</p> <p>Entr. B: acabamos vendo diariamente alguma questão do tipo, como resíduos, ou de reciclagem, ou algum tipo destes processos. Então, quando estamos envolvidos com algum destes projetos sim, ai é cotidiano.</p> <p>Entr. C: Como eu mostro a importância do trabalho do meio ambiente é por meio do Lean. Eu preciso de contato, que o setor de meio ambiente apareça e conseguir isso é através do Lean. Você não apresenta um Kaizen só para produção, mas para alta administração.</p> <p>Entr. D: Hoje a gente já pensa no Lean...Hoje já é natura.</p>	<p>Existe apoio da administração para o sistema Lean e utilização de práticas de DfE</p> <p>* Projetos de Lean para melhoria ambiental * Relação entre Lean e práticas ambientais</p>
Dependência	18		<p>Entr. A: a questão ambiental ela depende de ações de melhoria contínua. Ela depende de ações de análises de processos, de Kaizen mesmo. Talvez, eu vejo que a questão ambiental ela depende dessas iniciativas de melhoria.</p> <p>Entr. B: Existe uma relação, acho que não uma dependência entre elas.</p> <p>Entr. C: Um ajuda o outro.</p> <p>Entr. D: Eu não vejo uma dependência, mas eu vejo que os dois podem trabalhar juntos. Complementam-se.</p>	<p>* Relação de forma complementar para melhoria (visão de processos em produção)</p>

Utilização de práticas de DfE	Parceria	19	<p>Entr. A: Como está muito difundido em todas as áreas, a partir do momento em que uma área qualquer, agora falando da área de meio ambiente, se deem conta da necessidade de uma melhoria, a primeira ferramenta que eles pensam em utilizar, pela nossa estrutura para tratativa de problemas é a estrutura da semana interna Kaizen. Com coordenador de Lean, com essa abordagem de fazer uma equipe, de tratar os problemas através do PDCA, eu hoje vejo todas as áreas notando o Kaizen como a melhor maneira de se tratar qualquer problema.</p> <p>Entr. B: Em relação à parte anterior precisa melhorar sim. Enquanto a gente não trate melhor esta relação, é um dos pontos difíceis e críticos trabalhar no desenvolvimento. Até porque às vezes os times envolvidos em projetos novos acabam se preocupando com o próprio projeto e às vezes deixando de lado um pouco esta questão de processos, deixando ele mais enxuto. A maior parte dos projetos que a gente faz atualmente é exatamente por ter deixado de ter pensado nisso antes, enquanto ainda era projeto. Precisa melhorar não só com o DfE, até o próprio Lean com desenvolvimento. Precisa ser um pouco mais presente.</p> <p>Entr. C: Tem essa preocupação e tem projetos com o Lean e até mesmo eles procuram a gente. Eles acabam ajudando também em várias ideias.</p> <p>Entr. D: Existe sim. Nossa relação com o pessoal do Lean é direta e sempre fazemos projetos de melhoria. Não só nós chamamos eles quando notado uma nova oportunidade, como eles também nos chamam. As ferramentas do Lean nos ajudam muito a resolver os problemas de meio ambiente que acabam aparecendo.</p>	* Parceria acentuada em solução de problemas depois do desenvolvimento do produto e processo
	Dificuldades	20	<p>Entr. A: Eu acho que não existe nenhuma limitação ou barreira,... E acho que essas barreiras inexistem se a gente olhar do ponto de vista que todo processo é um processo que pode ser melhorado. Pode ser melhorado através dos conceitos de Lean, das ferramentas de Lean.</p> <p>Entr. B: A princípio não vejo nenhuma dificuldade técnica entre os dois.</p> <p>Entr. C: Eu acho que não porque, por exemplo, às vezes eles vêm com algumas ideias que não dá para se implementar, mas aí explicamos e eles entendem. Então não tem dificuldade. Às vezes conhecimento técnico, onde às vezes dão ideias, mas não conhecem a parte técnica da área de meio ambiente.</p> <p>Entr. D: Não. Hoje não mais porque já está bem difundido. Hoje a prática é bem-vinda.</p>	* Não possui limitação ou barreira entre DfE e o Lean
Resultados de práticas de DfE	Positivos ou Negativos	12	<p>Entr. A: Na minha opinião mais positivos, porque se você faz a concepção de um produto pensando no meio ambiente, em consequência você vai pensar em processos mais responsáveis. Para se ter um processo responsável você precisa pensar em um processo enxuto, no processo que tenha menos perda.</p> <p>Entr. B: A explicação seria positiva, porque a partir do momento que você começa a pensar como isso vai se comportar no meio ambiente no futuro, isso para o Lean a gente enxergaria alguma coisa disso na hora de mapear a cadeia de valor. Por exemplo, de onde vem sua matéria-prima, onde se fabrica, o que você faz com o produto, do produto o que acontece depois que é utilizado....Seria uma maneira de garantir que o produto no seu final de vida ou final ciclo de vida, tenha um processo definido de maneira enxuta que tenha um retorno positivo para a empresa.</p>	* Positivos, para o produto e processos mais sustentáveis em toda cadeia de valor

			<p>Entr. C: Positivos...A gente faz trabalhos para garantir o processo e efetividade das ações de melhoria.</p> <p>Entr. D: Temos sim, eu acredito, porque na hora que se pensa em desenvolver o produto a gente agrega as melhores práticas do Lean. Isso em melhoria contínua, performance, etc.</p> <p>Entr. A: Pensando que todos os Kaizens e todas as melhorias elas tem como objetivo redução de recursos, redução de custo, tudo que a gente vê que a questão ambiental envolve custo, eu diria que é grande a contribuição do Lean para a questão do DfE.</p> <p>Entr. B: Eu acho o próprio fato de trabalhar agora resolvendo os problemas que a gente tem, já desperta o interesse e a obrigação de não deixar que esses problemas não aconteçam de novo. Pelo que já executamos, eu acho ter ajudado bastante neste ponto, não só nos problemas já encontrados, que isso é o primeiro impacto, primeiro benefício que o Lean oferece ao DfE. É levantar a mão agora, a gente tem problema, precisamos resolver e está resolvido. Então vamos buscar métodos que não chegue mais neste ponto de novo. A princípio é este ponto. Em segundo momento seria no próprio desenvolvimento. Nas ferramentas que temos para trabalhar com desenvolvimento, que o Lean tem e que ajudaria nisto também. Buscar deixar os processos mais enxutos desde o começo.</p> <p>Entr. C: São gigantescos, ambientais principalmente, de resíduos de agressões ao meio ambiente. Então isso tem que melhorar, para nossa própria qualidade de vida.</p> <p>Entr. D: Traz sim. São boas práticas. Além de ter um marketing ambiental, nós estamos pensando nas futuras gerações usando de forma consciente os recursos. Não tem como dizer que não. Só traz benefícios.</p>	<p>* Lean para redução de recursos, redução de custo, incluindo ambiental</p> <p>* DfE para redução de resíduos, agressões ao meio ambiente, qualidade de vida, marketing ambiental.</p>
Foco no ciclo de desenvolvimento do produto	24		<p>Entr. A: trabalhamos muito em processos. No processo a utilização acaba sendo acentuada. Na questão de disposição temos uma unidade somente para cuidar de disposição. É uma fábrica somente para disposição de resíduos. Nesta parte, a questão do DfE está muito elevada. Lá a cultura, a missão, é fazer com que todo resíduo gerado, virem matéria-prima para outros materiais. É fechar este ciclo de desenvolvimento do produto.</p> <p>Entr. B: ...A disposição dos produtos depois que não são mais utilizados e o que fazer com eles. Eu acho que isso é a dificuldade para indústria em geral. A partir do momento que você pensou nisso no desenvolvimento seria ponto onde realmente acontece aquele planejamento que você fez, principalmente comparado ao atual. A diferença maior de impacto é na disposição....</p> <p>Entr. C: Eu acho que é geral nas etapas, mas para disposição temos uma unidade dedicada só a isso. Nós fazemos a manufatura e preocupamos com a disposição, no entanto nos prédios possuem os coletores de produtos eletrônicos que as pessoas podem trazer de suas casas e dispor aqui para encaminhar para unidade de disposição...</p> <p>Entr. D: Temos uma unidade somente para fase de disposição, para fazer a logística reversa.</p>	<p>* Foco na fase de disposição, uma unidade fabril para esta fase</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O DfE é uma prática de gestão ambiental aplicada na concepção do produto e do processo que possibilita a redução de recursos em todo o ciclo de desenvolvimento do produto.

O *Lean Manufacturing* é uma filosofia empresarial que objetiva na eficiência de criação de valor, reduzindo custos para melhoria da produtividade e qualidade.

Por meio de um estudo de caso, foi evidenciado que:

1. A utilização de práticas de DfE são essenciais para redução do impacto ambiental em todo o ciclo de desenvolvimento do produto. O DfE é realizado na fase de concepção, momento que são definidas todas as influências ambientais do produto;

2. Obter uma filosofia de *Lean Manufacturing* em uma organização, contribui para redução do impacto ambiental como descritos no Apêndice I pelos *Kaizens* realizados pela Delta. Porém, se as medidas tomadas nos *Kaizens* fossem realizadas na fase de concepção do produto, os resultados aconteceriam antes que o processo fosse estabelecido.

3. Algumas práticas de DfE possuem ações que beneficiam um ambiente com a filosofia *Lean Manufacturing*. Uma empresa que contempla esta filosofia exerce ações mediante suas ferramentas para melhoria contínua. Desta forma, quando aplicadas práticas de DfE que contemplem ações relacionadas ao *Lean*, esse esforço acaba sendo reduzido pela ação gerada na concepção do produto, desdobrando para o processo;

4. As ferramentas do *Lean* podem ser complementares ao DfE para redução do impacto ambiental no ciclo de desenvolvimento do produto. A Delta tem forte trabalho na fase de produção com a utilização das ferramentas de *Lean* para reduzir o impacto ambiental com um processo em andamento. Este esforço poderia ser concentrado na fase de concepção, onde minimizaria este impacto antevendo seu acontecimento;

5. DfE e *Lean Manufacturing*, sendo utilizados simultaneamente, podem otimizar o processo produtivo, reduzindo o impacto ambiental utilizando menos recursos naturais, além de proporcionar à empresa um custo ideal, onde foi apresentado *Kaizens* de *Lean* reduzindo de forma acentuada custos de aspectos ambientais. Pampanelli, Found e Bernandes (2014) afirmam que a melhoria ambiental com o pensamento enxuto, possui um histórico de melhoria financeira nos negócios devido sua ênfase na eliminação de resíduos.

A Delta não tinha conhecimento da possibilidade da relação entre o *Lean* e o DfE no ciclo de desenvolvimento do produto. Porém, está sempre buscando melhorar o seu processo

de desenvolvimento do produto.

As expectativas dos clientes e da sociedade para o desempenho ambiental vem aumentando, iniciativas de *Lean* oferecem oportunidades atraentes para melhorar o desempenho econômico e ambiental (EPA, 2006).

O mercado exige hoje uma postura diferente das empresas com relação às questões ambientais, e isso, acarretará num futuro muito próximo uma espécie de “Seleção Natural” no setor industrial, onde aqueles que exercem práticas ambientais ganharão vantagem competitiva.

5.1 Atendimento aos objetivos propostos

O objetivo geral desta pesquisa foi definido para identificar e analisar como o *Design for Environment* se relaciona com o *Lean Manufacturing* para o ciclo de desenvolvimento do produto e do processo. Assim, em um estudo de caso é identificado várias ferramentas do *Lean* que se relacionam com práticas já utilizadas pela empresa e outras que a empresa poderia estar adotando.

Para que este objetivo geral fosse alcançado, alguns objetivos específicos foram definidos, como:

- Conhecimento do cenário ou ambiente da empresa pesquisada: a empresa se propôs a contribuir ao máximo para esta pesquisa, proporcionando as informações necessárias para que esta acontecesse. A descrição do cenário empresarial da Delta é descrita no item 4.1 desta pesquisa.
- Reunir práticas fundamentais de DfE por meio da literatura existente, onde esta foi importante para compreender as práticas existentes e aplicadas atualmente para depois comparar com a empresa do caso estudado.
- Reunir práticas de DfE utilizadas no caso pesquisado, por meio de um roteiro semiestruturado, análise documental, observação direta *in loco*, sendo apresentado como saída deste objetivo o Quadro 12, dividindo estas práticas pelo seu foco no ciclo de desenvolvimento do produto.
- Relacionamento das práticas de DfE da literatura com o *Lean*. A empresa contempla uma série de práticas de DfE onde estas foram relacionadas com ferramentas do

Lean. Também, pôde-se notar que algumas ferramentas poderiam contribuir de alguma forma para o DfE, sendo sugestão para aplicação destes na concepção do produto ou processo.

5.2 Limitações da pesquisa

A principal limitação para esta pesquisa é o método empregado, neste caso o estudo de caso. Possui uma profundidade na pesquisa, porém pode diminuir a capacidade de generalização dos resultados para outros casos.

Não houve uma validação das contribuições que o DfE traz ao *Lean*. Esta é uma pesquisa empírica, onde os instrumentos de coleta de dados foram um roteiro semiestruturado, análise documental e observação direta do pesquisador.

Também, o estudo do caso foi realizado em uma indústria de eletrônicos, que possui suas variáveis específicas, processos de fabricação com uma certa complexidade, onde este tipo de ambiente proporciona uma determinada forma de trabalho da empresa. Outros tipos de ambientes podem ser investigados, onde também nesta pesquisa optou por uma empresa *Lean*.

Por meio de práticas existentes na Delta, pôde-se relacionar com algumas ferramentas do *Lean*, além de algumas outras ferramentas do *Lean* que a empresa utiliza, buscando também uma relação com contribuições ambientais na concepção do produto e processo. Podem também haver outras ferramentas existentes que podem se relacionar com o DfE que não foi citada nesta pesquisa.

Outra limitação se refere ao uso da técnica de análise de conteúdo, de Bardin (2006) para analisar os dados coletados por meio de entrevistas semiestruturadas para o foco desta pesquisa.

5.3 Sugestões para pesquisas futuras

Como sugestões de pesquisas futuras podem ser realizados esta relação do DfE e do *Lean* através de outro método de investigação. Também, este estudo apresentou uma abordagem qualitativa, podendo em outros casos apresentar uma abordagem quantitativa medindo esta relação.

Pode-se aprofundar mais neste assunto desta relação e verificar outras ferramentas do *Lean* que em sua aplicação podem ajudar o meio ambiente no projeto do produto ou processo.

Um comparativo dos resultados desta pesquisa com uma empresa que contempla práticas de DfE, mas não é uma empresa *Lean* pode ser sugerida.

Outra sugestão seria um estudo de caso múltiplo, sendo empresa que contemplam práticas de DfE e são *Lean*. As variáveis poderiam ser identificadas, além dos diferentes ganhos ou abordagens que cada uma pode-se ter.

REFERÊNCIAS

ABDI-Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos**: análise de viabilidade técnica e econômica. Brasília, 2012.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9896**: Glossário de poluição das águas. Rio de Janeiro, 1993.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

AGUADO, S.; ALVAREZ, R.; DOMINGO, R. Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 141-148, 2013.

ALVES, C. et al. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 4, p. 313–327, 2010.

ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais**: pesquisa quantitativa e qualitativa. São Paulo: Pioneira, 1998.

AMMENBERG, J.; SUNDIN, E. Products in environmental management systems: drivers, barriers and experiences. **Journal of Cleaner Production**. v. 13, n. 4, p. 405-415, mar. 2005.

ANDRADE, M. **Introdução à metodologia do trabalho científico**: elaboração de trabalhos na graduação. 6.ed.. São Paulo: Atlas, 2003.

ANDREWS, R. N. L. et al. Environmental management systems: history, theory, and implementation research. In: COGLIANESE, C.; NASH, J. **Regulation from the inside**: can environmental management systems achieve policy goals? Washington, DC: Resources for the Future Press, 2001.

ANDRIANKAJA, H. et al. A method to ecodesign structural parts in the transport sector based on product life cycle management. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 165–176, 2015.

ARANA-LANDIN, G.; HERAS-SAIZARBITORIA, I. Paving the way for the ISO 14006 ecodesign standard: An exploratory study in Spanish companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 9-10, p. 1007–1015, 2011.

ARDENTE, F.; MATHIEUX, F.; RECCHIONI, M. Recycling of electronic displays: Analysis of pre-processing and potential ecodesign improvements. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p. 158–171, 2014.

ASHBY, M. **Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice**. Elsevier, 2009.

ATKINSON, R. New models of pollution prevention technical assistance. **Journal of Cleaner Production**, v. 2, p. 101-106, 1994.

BALDWIN, J. S. et al. Modelling manufacturing evolution: thoughts on sustainable industrial development. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 887–902, 2005.

BARDIN L. **L'Analyse de contenu**. Paris: Presses Universitaires de France, 1977.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2006.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 409-425, 2002.

BAYOUMI, A. M. E. Design for Manufacture and Assembly (DFMA): concepts, benefits and applications. In: CURRENT ADVANCES IN MECHANICAL DESIGN AND PRODUCTION. **Seventh Cairo University International MDP Conference**. Cairo, 2000. P. 15-17.

BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.

BERTULANI, C. A. **A história da eletrônica**. Disponível em: <<http://portaldigital-rj.blogspot.com.br/2012/05/historia-da-eletronica.html>>. Acesso em: 20 set. 2015.

BHAMRA, T. Ecodesign: the search for new strategies in product development. **Journal of Engineering Manufacture**, v. 218, n. 5, p. 557-569, 2004.

BHAMRA, T.; LOFTHOUSE, V. **Design for Sustainability: a practical approach**. England: Grower House, 2007.

BICHENO, J. **The Lean Toolbox**. Buckingham: PICSIE, 2000.

BIOLCHINI, J. et al. **Systematic review in software engineering. Technical Report**. Systems Engineering and Computer Science Department. COPPEUFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

BIRCH, A.; HON, K. K. B.; SHORT, T. Structure and output mechanisms in Design for Environment (DfE) tools. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 50–58, 2012.

BITENCOURT, A. C. P. **Desenvolvimento de uma metodologia de reprojeto para o meio ambiente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BOKS, C. The soft side of ecodesign. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1346–1356, 2006.

BOKS, C.; STEVELS, A. Essential perspectives for design for environment. Experiences from the electronics industry. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 18, p. 4021–4039, 2007.

BONILLA, S. H. et al. Emergy as a tool for Ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 32–43, 2010.

BONVOISIN, J. et al. An integrated method for environmental assessment and ecodesign of ICT-based optimization services. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 144–154, 2014.

BOOTHROYD, G. Product design for manufacture and assembly. **Computer-Aided Design**, v. 26, n. 7, p. 505-520, jul. 1994.

BORCHARDT, M. et al. Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. **Ambiente & sociedade**, v. 11, n. 2, p. 341–353, 2008.

BORCHARDT, M. et al. Reprojeto do contraforte: um caso de aplicação do ecodesign em manufatura calçadista. **Produção**, v. 20, n. 3, p. 392–403, 2010.

BORCHARDT, M. et al. Avaliação da presença de práticas do Design for Environment (DfE) no desenvolvimento de produto de uma empresa da indústria química. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 58-69, jan/fev. 2012.

BOVEA, M. D.; PÉREZ-BELIS, V. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. **Journal of Cleaner Production**, v. 20, n. 1, p. 61–71, 2012.

BRASIL. Política Nacional de Resíduo Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13-14, p. 1337-1348, 2007.

BREZET, H.; VAN HEMEL, C. **Ecodesign** - A promising approach to sustainable production and consumption. Paris: UNEP, 1997.

BROGAARD, L. K. et al. Evaluation of life cycle inventory data for recycling systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p. 30-45, jun. 2014.

BRONES, F.; DE CARVALHO, M. From 50 to 1: Integrating literature toward a systemic ecodesign model. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 44–47, 2015.

BRONES, F.; DE CARVALHO, M. M.; ZANCUL, E. Ecodesign in project management: A missing link for the integration of sustainability in product development? **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 106–118, 2014.

BROWNING, T. R.; HEATH, R. D. Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program. **Journal of Operations Management**, v. 27, n. 1, p. 23–44, jan. 2009.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989.

BYGGETH, S.; HOCHSCHORNER, E. Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1420–1430, 2006.

CAGNO, E.; TRUCCO, P.; TARDINI, L. Cleaner production and profitability: analysis of 134 industrial pollution prevention (P2) project reports. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 593-605, 2005.

CALCOTT, P.; WALLS, M. Waste, recycling, and design for environment: roles for markets and policy instruments. **Resource and Energy Economics**, v. 27, n. 4, p. 287-305, 2005.

CAMPOMAR, M. C. Do uso de estudo de caso em pesquisas para dissertações e teses em administração, **Revista de Administração**, São Paulo, v. 26, n. 3, jul.-set. 1991.

CNTL-Centro Nacional de Tecnologias Limpas. **Manual Metodologia de Implantação do Programa de Produção Mais Limpa**. Curso de Formação de Consultores em Produção mais Limpa, Fortaleza, jan. 2002.

CERVO, A. C.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 4.ed.. São Paulo: Makron, 1996.

CHAN, J. K. Y.; WONG, M. H. A review of environmental fate, body burdens, and human health risk assessment of PCDD/Fs at two typical electronic waste recycling sites in China. **Science of the Total Environment**, v. 463-464, p. 1111-1123, out. 2013.

CHARTER, M. Managing the eco-design process. **Journal of Sustainable Product Design**, v. 2, p. 48-51, 1997.

CHARTER M.; TISCHNER U. **Sustainable solutions**. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing, 2001.

CHIANG, T. A.; ROY, R. An intelligent benchmark-based design for environment system for derivative electronic product development. **Computers in Industry**, v. 63, p. 913-929, 2012.

CHIARINI, A. Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, pp. 226-233, 2014.

CHOU, C. R. An ARIZ-based life cycle engineering model for eco-design. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 210-223, mar. 2014.

CHULVI, V.; VIDAL, R. Usefulness of evolution lines in eco-design. **Procedia Engineering**, v. 9, 135-144, 2011.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011**, n. 1998, p. 1–12, 2011.

COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. **Annals of Internal Medicine**, v.126, n.5, pp. 376-380, 1997.

COOPER, H. **Synthesizing Research**. Thousand Oaks: Sage, 1998.

COSTA, M. M. **Princípios da Ecologia Industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. 257 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2.ed.. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DANE, F. C. **Research methods**. Pacific Grove: Brooks/Cole, 1990.

DANGELICO, R. M.; PONTRANDOLFO, P. From green product definitions and classifications to the Green Option Matrix. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16-17, p. 1608-1628, nov. 2010.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3.ed.. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DESENVOLVIMENTO de produtos ambientalmente sustentáveis da HP. Disponível em: <<http://www8.hp.com/br/pt/hp-information/environment/design-for-environment.html>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

ECODESIGN online pilot. Disponível em: <<http://www.ecodesign.at/pilot/ONLINE/ENGLISH/?lang=en>>. Acessado em: jan. 2015.

EDWARDS, K. L. Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. **Materials & Design**, v. 23, n. 7, p. 651-656, out. 2002.

EISENHARDT, K. Building Theories from Case Study Research. **The Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532, 1989.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of the 21st Century Business**. USA: New Society Publishers, 1998.

ELKINGTON, J. Enter the triple bottom line. In: HENRIQUES, A.; RICHARDSON, J. **The Triple Bottom Line: Does It All Add Up?** London: Earthscan, 2004. p. 1–16.

ELTAYEB, T. K.; ZAILANI, S.; RAMAYAH, T. Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia and environmental sustainability: investigating the outcomes. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 5, p. 495–506, mar. 2011.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **The Lean and Environment Toolkit**. United States, 2006.

ERICSSON Mobility Report: **On the pulse of the networked society 2012**. Disponível em: <<http://www.ericsson.com/res/docs/2012/ericsson-mobility-report-november-2012.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

ERNZER, M. et al. An International Study on Utilization of Design for Environment Methods (DfE): a pré-study. In: THIRD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING. **Proceedings of EcoDesign 2003**. Tokyo, dez. 2003. p. 8-11.

E-WASTE definition. Disponível em: <<http://ewasteguide.info/introduction/e-waste>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

FAULKNER, W.; BADURDEEN, F. Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): Methodology to Visualize and Assess Manufacturing Sustainability Performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 8-18, dez. 2014.

FIKSEL, J. **Design for environment: Creating eco-efficient products and processes**. New York: McGraw Hill, 1996.

FIKSEL, J. **Ingeniería de diseño medioambiental**. DEF: desarrollo integral de productos y procesos ecoeficientes. Madrid: McGrawHill Book, 1997.

FIKSEL, J. **Design for Environment: A Guide to Sustainable Product Development**. 2.ed. New York: McGraw Hill, 2009.

FITZGERALD, D. P.; HERRMANN, J. W.; SCHMIDT, L. C. Improving environmental design using TRIZ inventive principles. **Proceedings of the 16th CIRP International Design Seminar**, 2006. p. 16-19.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. São Paulo: Artmed, 2009.

FRANCHETTI, M. et al. Industrial engineering methods are natural stepping stones to green engineering. **Industrial Engineer**, pp. 24-30, 2009.

FREITAS, H. M. R.; CUNHA JÚNIOR, M. V. M.; MOSCAROLA, J. Aplicação de sistemas de software para auxílio na análise de conteúdo. **Revista de Administração da USP**, v. 32, n. 3, p. 97-109, 1997.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed.. São Paulo: Atlas, 2002.

GIMENEZ, C.; SIERRA, V.; RODON, J. Sustainable operations: their impact on the triple bottom line. **International Journal of Production Economics**, v. 140, p. 149-159, 2012.

GIUDICE, F.; LA ROSA, G.; RISITANO, A. **Product Design for the Environment: a life cycle approach**. Flórida: CRC Press, 2006.

GLAZIER, J. D.; POWELL, R.R. **Qualitative research in information management**. Englewood: Libraries Unlimited, 2011.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995a.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 4, p. 65-71, 1995b.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. Assessing the global warming potential of wooden products from the furniture sector to improve their ecodesign. **Science of the Total Environment**, v. 410-411, p. 16-25, 2011.

GOUDA, S. K.; JONNALAGEDDA, S.; SARANGA, H. Design for the environment: Impact of regulatory policies on product development. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 2, p. 558–570, 2016.

GRAEDEL, T. E. **Streamlined Life-Cycle Assessment**. New Jersey: Prectice Hall Inc, 1998.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology**. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

GREENPEACE. **Guide to greener eletronics**: november 2012. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/new-zealand/Global/international/publications/climate/2012/GuideGreenerElectronics/Full-Scorecard.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

GUPTA, S. M.; VEERAKAMOLMAL, P. **Disassembly of products**. Boston: Northeastern University, 1996.

HAJJAJI, N. et al. Comparative life cycle assessment of eight alternatives for hydrogen production from renewable and fossil feedstock. **Journal of Cleaner Production**, v. 44, p. 177-189, abr. 2013.

HARRIS, R.; HARRIS, C.; WILSON, E. **Fazendo fluir os materiais**: um guia lean de movimentação de materiais para profissionais de operações, controle de produção e engenharia. EUA: The Lean Enterprise Institute, 2004.

HAUSCHILD, M.; WENZEL, H.; ALTING, L. Life Cycle Design - a Route to the Sustainable Industrial Culture. **CIRP Annals – Manufacturing Tecnology**, v. 48, n. 1, p. 393-396, 1999.

HAZARDOUS Substances in e-Waste. Disponível em: <<http://ewasteguide.info/node/219>>. Acesso em: 6 fev. 2015.

HERNANDEZ, N. V. et al. Development of an expert system to aid engineers in the selection of design for environment methods and tools. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 10, p. 9543–9553, ago. 2012.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Guia para Implementação da Manufatura Enxuta - Lean Manufacturing**. São Paulo: IMAN, 2000.

HOUE, R.; GRABOT, B. Assessing the compliance of a product with an eco-label: from standards to constraints. **International Journal of Production Economics**, v. 121, p. 21–38, 2009.

HUANG, G. Q. **Design for X: concurrent engineering imperatives**. UK: Springer-Science+Business Media, B.V., 1996.

HUR, T. et al. Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system. **Journal of Environmental Management**, v. 75, n. 3, p. 229-237, maio 2005.

HÜTTMEIR et al. Trading off between heijunka and Just-in-sequence. **International Journal of Production Economics**, v. 118, n. 2, p. 501-507, abr. 2009.

INFORMATION/INSPIRATION: **Ecodesign resource**. Disponível em: <<http://ecodesign.lboro.ac.uk/>>. Acessado em: dez. 2014.

IRIARTE, A.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 4, p. 336-345, mar. 2010.

JESWIET, J.; HAUSCHILD, M. EcoDesign and future environmental impacts. **Materials & Design**, v. 26, n. 7, p. 629-634, 2005.

JOHANSSON, G. Success factors for integration of ecodesign in product development: a review of state of the art. **Environmental Management and Health**, v. 13, p. 98-107, 2002.

KALAKUL, S. et al. Integration of life cycle assessment software with tools for economic and sustainability analyses and process simulation for sustainable process design. **Journal of Cleaner Production**, v. 71, p. 98-109, maio 2014.

KAZAZIAN, T. **Haverá a Idade das Coisas Leves – Design e Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: SENAC, 2005.

KENGPOL, A.; BOONKANIT, P. The decision support framework for developing Ecodesign at conceptual phase based upon ISO/TR 14062. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 4–14, 2011.

KEOLEIAN, G. A.; MENEREY, D. Sustainable development by design: review of life cycle design and related approaches. **Air and Waste Management Association**, v. 44, maio 1994.

KHOR, K. S.; UDIN, Z. M. Reverse Logistics in Malaysia: Investigating the effect of green product design and resource commitment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 81, p. 71-80, dez. 2013.

KING, A. A.; LENOX, M. J. Lean and Green? An Empirical Examination of the Relationship Between Lean Production and Environmental Performance. **Production and Operations Management**. v. 10, n. 3, 2001.

KLEINDORFER, P. R.; SINGHAL, K.; VAN WASSENHOVE, L. N. Sustainable operations management. **Production and Operations Management**, v. 14, n. 4, p. 482–492, 2005.

KOBAYASHI, K. What is 5S? A Content Analysis of Japanese Management Approach. **Unpublished Master's Thesis**, Griffith University, Southport. 2005.

KRAFCIK, J. F. Triumph of the lean production system. **Sloan Management Review**, v. 30, p. 41-52, 1988.

KUO, T. C.; HUANG, S. H.; ZHANG, H. C. Design for manufacture and design for 'X': concepts, application and perspectives. **Computers & Industrial Engineering**, v. 41, n. 3, p. 241–260, dez. 2001.

KURK, F.; EAGAN, P. The value of adding design-for-the-environment to pollution prevention assistance options. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 6, p. 722–726, 2008.

LAGERSTEDT, J. **Functional and Environmental Factors in Early Phases of Product Development e Eco Functional Matrix**. Stockholm: KTH, 2003.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 3.ed.. São Paulo: Atlas, 1991.

LEWIS, H. et al. **Design+Environment: A Global Guide to Designing Greener Goods**. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing Limited, 2001.

LI, S. et al. Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. **Journal of Operations Management**, v. 23, n. 6, p. 618–641, set. 2005.

LILI, Y.; SHAOJIE, Z.; GE, G. Environmentally Responsible Product Assessments for the Automobiles Made in China. **Canadian Social Science**, v. 2, n. 4, p. 60-66, dez. 2006.

LINDAHL, M. **Engineering Designers' Requirements on Design for Environment Methods and Tools**. 74 p. Doctoral thesis (Doctorate of Engineering in Machine Design) - Royal Institute of Technology, Department of Machine Design, Sweden, 2005.

LINDAHL, M. Engineering designers' experience of design for environment methods and tools e Requirement definitions from an interview study. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 5, p. 487-496, 2006.

LLORACH-MASSANA, P.; FARRENY, R.; OLIVER-SOLÀ, J. Are Cradle to Cradle certified products environmentally preferable? Analysis from na LCA approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 93, p. 243-250, 2015.

LOFTHOUSE, V. A. Ecodesign tools for designers: defining the requirements. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1386-1395, 2006.

LOFTHOUSE, V. A.; BHAMRA, T. A. A new design methodology for manufacturers of electrical and electronic equipment. **4th International Conference on Design and Manufacture for Sustainable Development**, Newcastle, 2005.

LUTTROP, C.; LAGERSTEDT, J. EcoDesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1396-1408, 2006.

MACDONALD, C. S.; SHORT, T. D. **A team based design for the environment method**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN AND MANUFACTURE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, jul. 2007. p. 10-11.

MARCOLIN, N. **O domínio da eletrônica**: Há 60 anos, os Bell Labs apresentavam o transistor, base da revolução da informática. Pesquisa FAPESP. Edição Impressa 151, set. 2008.

MARSHALL, C.; ROSSMAN, G. B. **Designing qualitative research**. 2.ed.. Sage: Thousand Oaks, 1995.

MARTINS, G. A. Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações**, v. 2, n. 2, p. 9-18, jan./abr., 2008.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 2.ed.. São Paulo: Saraiva, 2006.

MATOS, S.; HALL, J. Integrating sustainable development in the supply chain: the case of sustainable development in the oil and gas and agricultural biotechnology. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 6, p. 1083-1102, nov. 2007.

MCALOONE, T. **Industrial applications of environmentally conscious design**. Engineering Research Series 1. London: McGraw Hill, 2000.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle**: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas de la cuna a la cuna. Espanha: McGraw-Hill, 2005.

MCLACHLIN, R. Management initiatives and just-in-time manufacturing. **Journal of Operations Management**, v. 15, n. 4, p. 271–292, nov. 1997.

MIDDLETON, P. Lean software development: two case studies. **Software Quality Journal**, v. 9, pp. 241-252, 2001.

MIETTINEM, P.; HAMALAINEN, R. P. How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA). **European Journal of Operational Research**, v. 102, n. 2, p. 279-294, 1997.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2.ed.. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MILES, M. P.; COVIN, J. G. Environmental Marketing: A Source of Reputational Competitive, and Financial Advantage. **Journal of Business Ethics**, v. 23, p. 299-311, 2000.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social**: teoria, método e criatividade. Rio de Janeiro: Vozes, 2001.

MINAYO, M. C. S. **O Desafio do Conhecimento**: Pesquisa Qualitativa em Saúde. 10.ed. São Paulo: HUCITEC, 2007.

MISCEO, M. et al. TESPI (Tool for Environmental Sound Product Innovation): a simplified software tool to support environmentally conscious design in SMEs. **Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**, p. 186-192. 2004.

MONTABON, F.; SROUFE, R.; NARASIMHAN, R. An examination of corporate reporting, environmental management practices and firm performance. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 5, p. 998-1014, 2007.

MOREIRA, F.; ALVES, A. C.; SOUSA, R. M. Towards eco-efficient lean production systems. In: ORTIZ, A.; FRANCO, R. D.; GASQUET, P. G. **Balanced Automation Systems for Future Manufacturing Networks**. Valência: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 100-108.

NAZARENO, R. R.; RENTES, A. F.; SILVA, A. L. da. Implantando técnicas e conceitos da produção enxuta integradas à dimensão de análise de custos. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, 2001. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2001.

NORTON, A.; FEARNE, A. **Sustainable Value Stream Mapping: a Practical Aid to Sustainable Production**. Disponível em: <<http://kar.kent.ac.uk/24446/>>. Acessado em: mar. 2009.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

ORLINS, S.; GUAN, D. China's toxic informal e-waste recycling: local approaches to a global environmental problem. **Journal of Cleaner Production**, jun. 2015.

PALLONE, S. Resíduo eletrônico: redução, reutilização, reciclagem e recuperação. Com Ciência – **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**. SBPC, LabJor UNICAMP, 2008. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/index.php?section=8&edicao=32&id=379&tipo=0&print=true>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

PAMPANELLI, A. B.; FOUND, P.; BERNARDES, A. M. A Lean & Green Model for a production cell. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 19-30, dez. 2014.

PARK, P. J.; TAHARA, K. Quantifying producer and consumer-based eco-efficiencies for the identification of key ecodesign issues. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 1, p. 95-104, 2008.

PASSARINI, F. et al. Assessment of Ecodesign potential in reaching new recycling targets. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1128–1134, 2010.

PATTON, M. Q. **Qualitative evaluation methods**. Beverly Hills: Sage, 1980.

PIGOSSO, D. C. A. et al. Ecodesign methods focused on remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 21–31, 2010.

PIGOSSO, D. C. A.; ROZENFELD, H.; MCALOONE, T. C. Ecodesign maturity model: A management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 59, p. 160–173, 2013.

PLATCHECK, E. R. et al. Methodology of ecodesign for the development of more sustainable electro-electronic equipments. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 1, p. 75–86, 2008a.

PLATCHECK, E. R. et al. EcoDesign: case of a mini compressor re-design. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 14, p. 1526–1535, 2008b.

PLOUFFE, S. et al. Economic benefits tied to ecodesign. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6-7, p. 573–579, 2011.

POCHAT, S.; BERTOLUCI, G.; FROELICH, D. Integrating ecodesign by conducting changes in SMEs. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 7, p. 671–680, 2007.

PUSAVEC, F.; KRAJNIK, P.; KOPAC, J. Transitioning to Sustainable Production-Part I: Application on Machining Technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 2, p. 174–184, jan. 2010.

RAHANI, A. R.; AL-ASHRAF, M. Production Flow Analysis Through Value Stream Mapping: a Lean Manufacturing Process Case Study. **Procedia Engineering**, v. 41, p. 1727–1734, 2012.

RASHIDI, K.; SAEN, R. F. Measuring eco-efficiency based on green indicators and potentials in energy saving and undesirable output abatement. **Energy Economics**, v. 50, p. 18-26, jul. 2015.

RAZ, G.; DRUEHL, C. T.; BLASS, V. Design for the Environment: Life-Cycle Approach Using a Newsvendor Model. **Production and operations management**, v. 22, n. 4, p. 940–957, 2013.

ROCA, E. et al. Application of fuzzy logic for the integration of environmental criteria in ecodesign. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 4, p. 4427–4431, 2012.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

RIVES, J. et al. Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in southern Europe (Catalonia e Spain). **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2-3, p. 259-271, jan/fev. 2011.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar**. Parte I. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

RUSSO, D.; RIZZI, C.; MONTELISCIANI, G. Inventive guidelines for a TRIZ-based eco-design matrix. **Journal of Cleaner Production**, v. 76, p. 95-105, ago. 2014.

SAKUNDARINI, N. et al. Design for environment and design for disassembly practices in Malaysia: A practitioner's perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 331-342, 2015.

SDP/MDIC-ABDI. **Logística reversa de equipamentos eletrônicos: uma análise de viabilidade técnica e econômica**. 2012.

SEKUTOWSKI, J. Design for Environment. **Mrs Bulletin**, v. 16, n. 6, p. 3-3, jun. 1991.

SHAH, R.; WARD, P. T. Lean Manufacturing: context, practice bundles, and performance. **Journal of Operations Management**. v. 21, n. 2, p. 129-149, mar. 2003.

SHAH, R.; WARD, P. T. Defining and developing measures of lean production. **Journal of Operations Management**. v. 25, n. 4, p. 785-805, jun. 2007.

SHORT, T. et al. Manufacturing, sustainability, ecodesign and risk: lessons learned from a study of Swedish and English companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 342-352, 2012.

SHINGO, S. **Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system**. Productivity Press, 1988.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SHINOHARA, I. **New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries**. Productivity Press, 1988.

SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; MACHADO, E. L. Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de ecodesign e logística reversa. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 29-37, 2015.

SILVA, A. H.; FOSSÁ, M. I. T. Análise de Conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. In: IV ENCONTRO DE ENSINO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE. **EnEPQ**. Brasília: ANPAD, 2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2.ed.. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, R. **Case research in operations management**. EDEN Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management. Bruxelas, 2005.

SROUFE, R. Effect of environmental management systems on environmental management practices and operations. **Production and Operations Management Journal**, v. 12, n. 3, p. 416-431, 2003.

TINGSTRÖM, J. **Product Development with a Focus on Integration of Environmental Aspects**. 102 p. Doctoral thesis (Doctorate of Engineering in Machine Design) - Royal Institute of Technology, Department of Machine Design, Sweden, 2007.

TIRUTA-BARNA, L. et al. Formlization of a technical procedure for process ecodesign dedicated to drinking water treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 16-24, 2014.

TORRELLAS, M.; ANTÓN, A.; MONTERO, J. I. An environmental impact calculator for greenhouse production systems. **Journal of Environmental Management**, v. 118, 186-195, mar. 2013.

US OTA. **Green products by design** - Choices for a cleaner environment. Washington D.C.: US Office of Technology Assessment, 1992.

VALLET, F. et al. Using eco-design tools: An overview of experts practices. **Design Studies**, v. 34, n. 3, p. 345-377, maio 2013.

VAN BERKEL, R.; WILLEMS, E.; LAFLEUR, M. Development of an industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises-l. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1-2, p. 11-25, 1997.

VAN HEMEL, C.; CRAMER, J. Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 439-453, 2002.

VAN MAANEM, J. Reclaiming qualitative methods for organizational research. **Administrative Science Quartely**, v. 24, p. 520-526, dez. 1979.

VEZZOLI, C.; MANZINI, E. **Design for Environmental Sustainability**. Milan: Springer, 2008.

VEZZOLI, C.; TISHNER, U. **Last update, SDO e Sustainability Design-Orienting Toolkit**. Disponível em: <www.sdo-lens.polimi.it/>. 2009.

VOGTLÄNDER, J.; VAN DER LUGT, P.; BREZET, H. The sustainability of bamboo products for local and Western European applications. LCAs and land-use. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 13, p. 1260-1269, set. 2010.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WALLS, M. **The role of economics in extended producer responsibility: making policy choices and setting policy goals**. Washington, DC: Resources for the Future, 2003.

WENZEL, H. Application dependency of lca methodology: key variables and their mode of influencing the method. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, n. 5, p. 281-288, 1998.

WHITEHEAD, B. et al. Assessing the environmental impact of data centres part 2: Building environmental assessment methods and life cycle assessment. **Building and Environment**, p. 1-11, ago. 2014.

WIMMER, W. et al. Product innovation through ecodesign. **International Journal of Sustainable Design**, v. 1, p. 75-92, 2008.

WIMMER, W.; ZÜST, R. **Ecodesign Pilot: Product Investigation, Learning and Optimization Tool for Sustainable Product Development with CD-ROM**. New York: Kluwe, 2003.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**. 4.ed.. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world**. New York: Macmillan, 1990.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

YANG, M. G.; HONG, P.; MODI, S. B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: an empirical study of manufacturing firms. **International Journal of Production Economics**, v. 128, n. 2, p. 251-261, fev. 2011.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 2.ed.. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 4.ed.. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZHANG, L. et al. Research on Design for Environment Method in Mass Customization. **Proceedings of the 14th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering**, Tokyo: Waseda University, 2007. p. 65-70.

ZHANG, L. et al. Development and analysis of design for environment oriented design parameters. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 15, p. 1723-1733, out. 2011.

ZHU, Q.; SARKIS, J. The moderating effects of institutional pressures on emergent green supply chain practices and performance. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 18-19, p. 4333-4355, maio 2007.

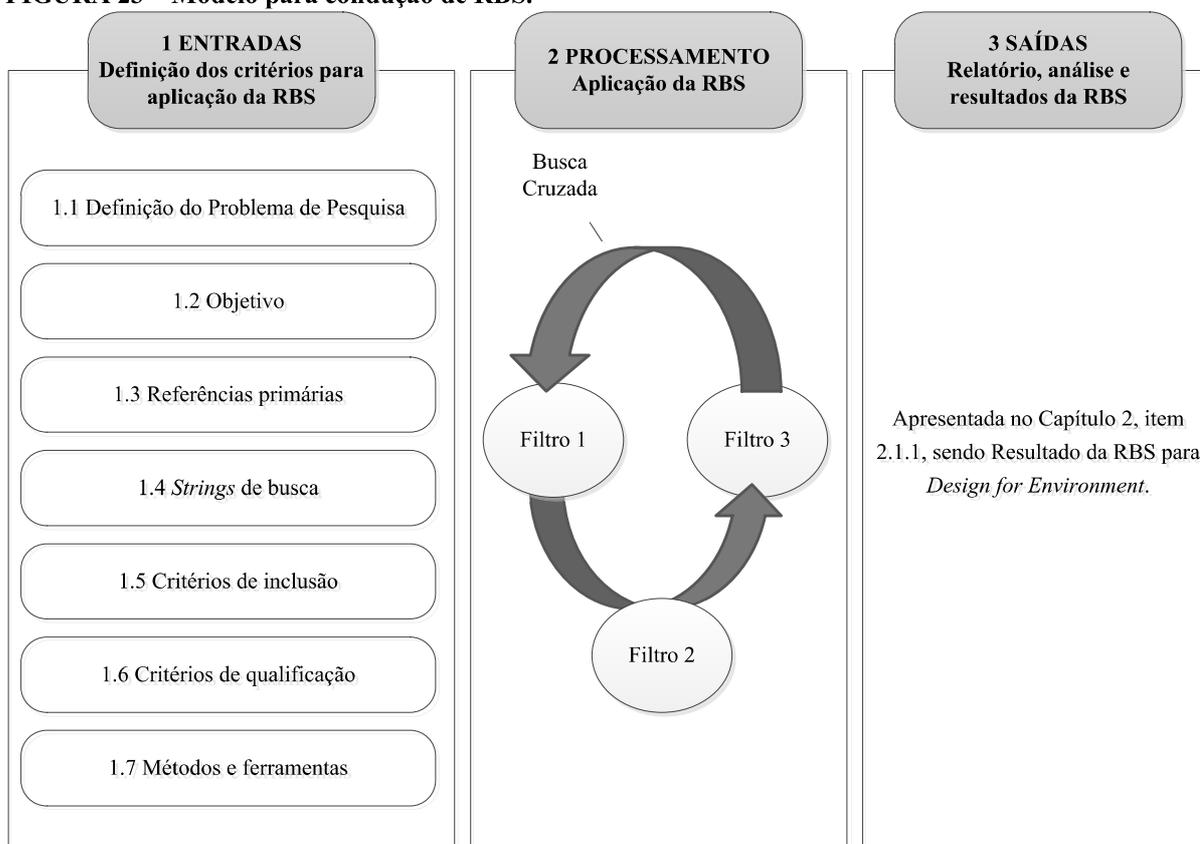
ZWETSLOOT, G. Improving cleaner production by integration into the management of quality, environment and working conditions. **Journal of Cleaner Production**, v. 3, pp. 61-66, 1995.

APÊNDICE A

PROTOCOLO PARA RBS “DESIGN FOR ENVIRONMENT”

Este protocolo tem o objetivo de sistematizar a revisão bibliográfica deste trabalho, sendo uma Revisão Bibliográfica Sistemática. Tem o objetivo de avaliar e coletar evidências na literatura sobre o sujeito de pesquisa (BIOLCHINI et al., 2005). Foi elaborado com base no roteiro de RBS proposto por Conforto, Amaral e Silva (2011), sendo modelo apresentado pela Figura 23. É fundamentado em torno de uma questão central, que representa o núcleo da investigação e que se expressa utilizando conceitos e termos específicos que devem ser abordadas para a informação relacionada, pré-definida, focada e estruturada questão específica (BIOLCHINI et al., 2005). A RBS desta pesquisa foi realizada no período de setembro a novembro de 2015 utilizando o acesso dentro da Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*.

FIGURA 23 – Modelo para condução de RBS.



Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011).

1 ENTRADA

As entradas são compostas por sete etapas para o planejamento e delineamento da RBS. Estas são fundamentais para um bom resultado, sendo metódica, transparente e replicável (COOK; MULROW; HAYNES, 1997; COOPER, 1998).

1.1 Definição do problema de pesquisa

Inicialmente, foi realizada a leitura de materiais sendo referencial teórico básico ou primário para esta pesquisa. Assim, surgiu o seguinte problema de pesquisa:

- O objetivo deste trabalho, que é apresentar posteriormente a relação com o *Lean Manufacturing*, faz-se necessário a identificação das variáveis do constructo *Design for Environment* e suas práticas. Buscou-se então compreender:

“Quais são as variáveis e práticas do *Design for Environment*?”

1.2 Objetivo

Mediante o problema de pesquisa deste protocolo para a RBS do *Design for Environment*, o objetivo para análise dos artigos nas bases científicas pesquisados será:

Identificar as características, vantagens, desvantagens e desafios da utilização do *Design for Environment* sob a perspectiva dos trabalhos publicados em bases de dados científicas.

1.3 Referências primárias

Para referências primárias foram utilizados estudos na área de *Design for Environment*. Estas foram pesquisadas nas bases de periódicos *Science Direct* e *ISI Web of Knowledge* sendo buscas aleatórias do tema. As referências primárias são fundamentais para antever o problema de pesquisa alavancando com foco a RBS, contribuindo para a definição das possíveis palavras-chave nas buscas dos artigos nas bases de periódicos. No Quadro 17 são dispostas as referências primárias desta revisão, compostas por cinco artigos e dois livros.

QUADRO 17 – Referências primárias da RBS do Design for Environment.

Referências Primárias	
Design for Environment	Birch, Hon e Short (2012); Borchardt et al. (2012); Calcott e Walls (2005); Fiksel (2009); Lindahl (2006); Zhang et al. (2011).

Fonte: Elaborado pelo autor.

1.4 *Strings* de busca

Depois de uma revisão inicial com referências primárias foi possível identificar palavras-chave para construção das *strings* de busca nas bases de periódicos. As palavras-chave utilizadas estão apresentadas no Quadro 18.

QUADRO 18 – Palavras-chave para RBS do Design for Environment.

Tema	Palavras-chave
Design for Environment	Design for Environment; design for the environment; ecodesign; projeto para o meio ambiente

Fonte: Elaborado pelo autor.

As *strings* utilizadas nas buscas em cada base de periódicos desta pesquisa são identificadas no Quadro 19. As bases de periódicos apresentam características de pesquisa e apresentação de buscas de forma diferente entre si, assim justificando sua apresentação. Porém, este fator de diferenciação de bases dos periódicos não teve impacto nas palavras-chave quanto ao tema pesquisado. As *strings* usadas para *Design for Environment* são de forma a buscar o maior número de trabalhos referente ao tema buscando o melhor resultado para esta pesquisa.

QUADRO 19 – Strings de busca utilizadas nas bases de dados para RBS Design for Environment.

Base de dados	Strings de busca
ISI Web of Knowledge	Título: ("design for environment") OR Título: ("design for the environment") OR Título: ("ecodesign") OR Título: ("projeto para o meio ambiente")
Scopus	(TITLE ("design for environment") OR TITLE ("design for the environment") OR TITLE ("ecodesign") OR TITLE ("projeto para o meio ambiente"))

Fonte: Elaborado pelo autor.

1.5 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão para etapa de processamento, com o intuito de selecionar os artigos utilizados para a etapa de saída são:

- Serão utilizados somente os artigos disponíveis de forma gratuita;
- Serão selecionados os artigos onde contenham no título as *strings* definidas no item 1.4 deste protocolo;
- Serão utilizados artigos para áreas de “*Engineering*”, “*Environmental Sciences Ecology*” e “*Operations Research Management Science*”. Se a base de dados não disponibilizar todos, utilizar-se estes disponíveis;
- Serão utilizados os artigos escritos na língua portuguesa ou inglesa;
- Serão utilizados somente artigos.

1.6 Critérios de qualificação

Os critérios de qualificação são definidos para avaliar a importância do artigo para este estudo, sendo eles observados:

- Abordagem utilizada;
- Método de investigação utilizado no trabalho;
- Objetivo geral definido no trabalho;
- Área de pesquisa do trabalho;
- Ramo ou setor onde realizado o trabalho.

1.7 Métodos e ferramentas

O método envolve os critérios já definidos para as buscas nas bases de dados para sua condução. As buscas iniciam-se por meio das *strings* definidas, onde estas deverão estar no título de trabalhos pesquisados. Assim, critérios de inclusão para seleção destes são executados, sendo a área de pesquisa selecionada, os artigos disponíveis gratuitamente para *download* e verificação dos artigos em duplicata. Depois podem ser aplicados os filtros 1, 2 e 3 definidos no processamento. Os endereços eletrônicos das bases de dados para esta pesquisa estão disponíveis no Quadro 20. Para armazenamento das informações resultantes deste processo foram os *softwares* Microsoft Excel (filtro 1) e o JabRef Reference Manager 2.10 (filtro 2 e 3).

QUADRO 20 – Endereço eletrônico para bases de dados utilizadas RBS Design for Environment.

Base de dados	Endereço eletrônico
ISI Web of Knowledge	http://apps.webofknowledge.com/UA_GeneralSearch_input.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&SID=2ErSOGY1sUhYmBNUC3C&preferencesSaved=
Scopus	http://www.scopus.com

Fonte: Elaborado pelo autor.

2 PROCESSAMENTO

Após a etapa de definição das entradas deste protocolo, o processamento é executado utilizando as *strings* já definidas para busca nas bases de dados. Os resultados deste processo foram exportados para utilização no formato para os *softwares* definidos no item 1.7.

2.1 Filtro 1

O filtro 1 é definido para a leitura do título, resumo e palavras-chave dos trabalhos encontrados na busca das bases de dados. É apresentada esta etapa detalhada na Tabela 4, atendendo os critérios de inclusão definidos no item 1.5.

TABELA 4 –Resultado detalhamento de buscas.

Detalhamento de busca	ISI WoK	Scopus	Total
Total bruto	431	468	899
Seleção área pesquisada	357	391	748
Tipo de documento (artigo)	110	157	267
Idioma	103	151	254
Artigos disponíveis gratuitamente	59	122	181
Eliminação de duplicatas			127
Artigos selecionados (filtro 1)			102

Fonte: Elaborado pelo autor.

O total bruto de 899 representa todos os trabalhos encontrados nas bases de dados com a utilização das *strings*. Dentre estes, foram aplicados os critérios de inclusão definidos restando 181 trabalhos, assim excluindo os que não atendiam estes critérios. Como são duas bases de dados foram excluídos os trabalhos em duplicatas, sendo 127 artigos selecionados.

Posterior é realizado o filtro 1, onde dos 127 artigos são selecionados 102 artigos para seleção do filtro 2. Esta pesquisa foi realizada dentro da Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba* onde possui sua base de dados assinada, fator de disponibilidade gratuita dos artigos encontrados.

2.2 Filtro 2

O filtro 2 tem o objetivo de realizar a leitura da introdução e conclusão dos 102 artigos selecionados no filtro 1. Mas antes, é necessário fazer o download de todos estes artigos para execução deste filtro. Adicional a este, com a leitura foram registrados o objetivo geral do trabalho e seu método de investigação. O filtro 2 selecionou 82 artigos que serão submetidos ao filtro 3.

2.3 Filtro 3

O filtro 3 requer a leitura completa dos trabalhos para elaboração dos fichamentos, sendo selecionados 41 artigos. Adicional a este filtro para posterior elaboração da saída deste protocolo, foram adicionados 2 livros. Este foi requerido devido às buscas cruzadas dos filtros anteriores, ou seja, são referências que se destacavam em trabalhos lidos e que de fato foi considerado relevante para o resultado deste filtro.

3 SAÍDA

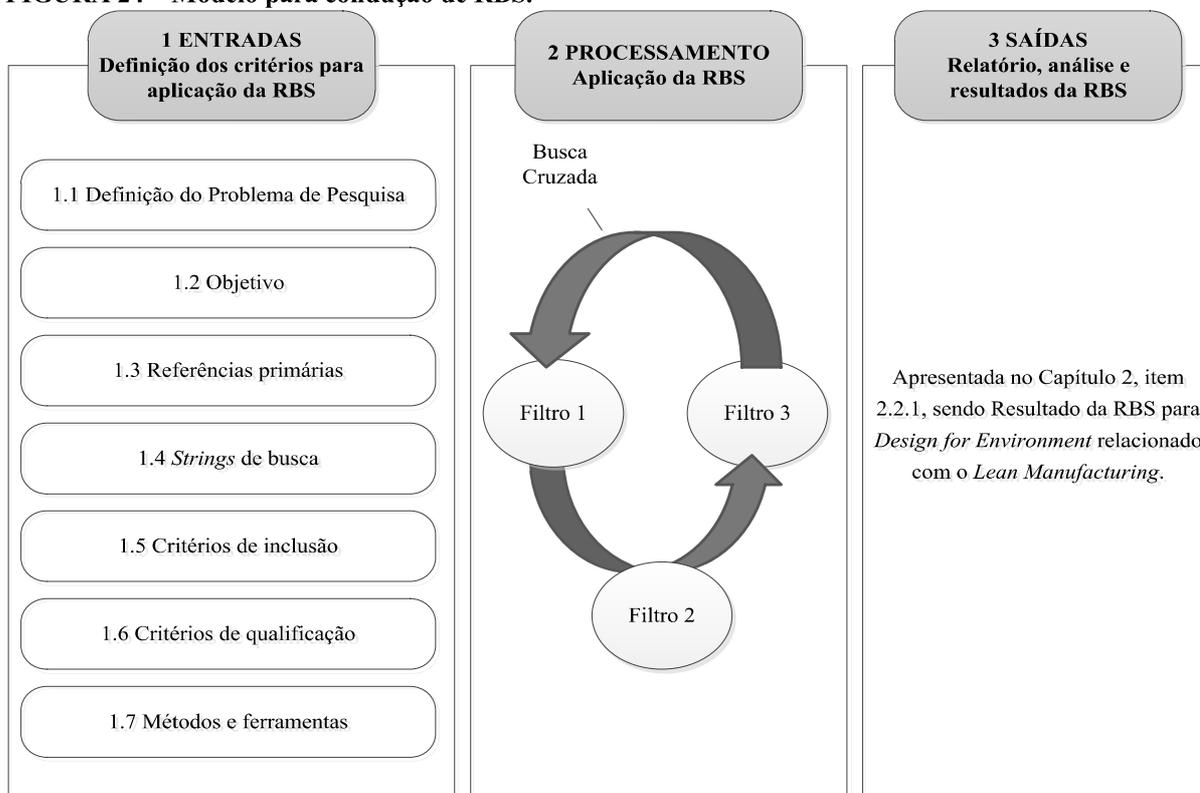
A saída deste protocolo é apresentada no Capítulo 2, item 2.1.1, sendo Resultado da RBS para *Design for Environment*, seguido do item 2.1.2 Análise dos Resultados da RBS para *Design for Environment*.

APÊNDICE B

PROTOCOLO PARA RBS “DESIGN FOR ENVIRONMENT E LEAN MANUFACTURING”

Este protocolo tem o objetivo de sistematizar a revisão bibliográfica deste trabalho, sendo uma Revisão Bibliográfica Sistemática. Tem o objetivo de avaliar e coletar evidências na literatura sobre o sujeito de pesquisa (BIOLCHINI et al., 2005). Foi elaborado com base no roteiro de RBS proposto por Conforto, Amaral e Silva (2011), sendo modelo apresentado pela Figura 24. É fundamentado em torno de uma questão central, que representa o núcleo da investigação e que se expressa utilizando conceitos e termos específicos que devem ser abordadas para a informação relacionada, pré-definida, focada e estruturada questão específica (BIOLCHINI et al., 2005). A RBS desta pesquisa foi realizada no período de setembro a novembro de 2015 utilizando o acesso dentro da Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*.

FIGURA 24 – Modelo para condução de RBS.



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

1 ENTRADA

As entradas são compostas por sete etapas para o planejamento e delineamento da RBS. Estas são fundamentais para um bom resultado, sendo metódica, transparente e replicável (COOK; MULROW; HAYNES, 1997; COOPER, 1998).

1.1 Definição do problema de pesquisa

Inicialmente, foi realizada a leitura de materiais sendo referencial teórico básico para esta pesquisa. Assim, surgiu o seguinte problema de pesquisa:

- Não foi encontrado inicialmente nenhum trabalho sistematizando o *Design for Environment* com o *Lean Manufacturing*. Para o objetivo deste trabalho, que é apresentar esta relação, faz-se necessário a identificação sistemática entre estes dois constructos. Buscou-se então compreender:

“Como é a relação da técnica de *Design for Environment* com o *Lean Manufacturing*? Existem vantagens, desvantagens e desafios desta relação?”

1.2 Objetivo

Mediante o problema de pesquisa deste protocolo para a RBS do *Design for Environment*, o objetivo para análise dos artigos nas bases científicas pesquisados será:

Identificar as características, vantagens, desvantagens e desafios da relação do *Design for Environment* com o *Lean Manufacturing*.

1.3 Referências primárias

Para referências primárias foram utilizados estudos na área de *Design for Environment* e *Lean Manufacturing*, mas de diferentes trabalhos. Estas foram pesquisadas nas bases de periódicos *Science Direct* e *ISI Web of Knowledge* sendo buscas aleatórias dos temas. As referências primárias são fundamentais para antever o problema de pesquisa alavancando com foco a RBS, contribuindo para a definição das possíveis palavras-chave nas buscas dos artigos nas bases de periódicos. No Quadro 21 são dispostas as referências primárias desta revisão, compostas por cinco artigos e dois livros.

QUADRO 21 – Referências primárias da RBS do Design for Environment e Lean Manufacturing.

Referências Primárias	
Design for Environment	Birch, Hon e Short (2012); Borchardt et al. (2012); Calcott e Walls (2005); Fiksel (2009); Lindahl (2006); Zhang et al. (2011).
Lean Manufacturing	Womack, Jones e Roos (1990); McLachlin (1997); Shah e Ward (2003); Shah e Ward (2007); Li et al. (2005); Browning e Heath (2009); Rahani e Al-Ashraf (2012); King e Lenox (2001); Faulkner e Badurdeen (2014).

Fonte: Elaborado pelo autor.

1.4 *Strings* de busca

Depois de uma revisão inicial com referências primárias foi possível identificar palavras-chave para construção das *strings* de busca nas bases de periódicos. As palavras-chave utilizadas estão apresentadas no Quadro 22.

QUADRO 22 – Palavras-chave para RBS Design for Environment e Lean Manufacturing.

Tema	Palavras-chave
Design for Environment	Design for Environment; design for the environment; ecodesign.
Lean Manufacturing	Lean Manufacturing; Lean System; Lean Thinking; Toyota Production System; Sistema Toyota de Produção; Manufatura Enxuta; Sistema Lean; Just in time; Lean Production.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As *strings* utilizadas nas buscas em cada base de periódicos desta pesquisa são identificadas no Quadro 23. As bases de periódicos apresentam características de pesquisa e apresentação de buscas de forma diferente entre si, assim justificando sua apresentação. Porém, este fator de diferenciação de bases dos periódicos não teve impacto nas palavras-chave quanto ao tema pesquisado. As *strings* usadas para *Design for Environment* e *Lean Manufacturing* são de forma a buscar o maior número de trabalhos referente ao tema buscando o melhor resultado para esta pesquisa.

QUADRO 23 – Strings de busca utilizadas nas bases de dados para RBS Design for Environment e Lean Manufacturing.

Base de dados	Strings de busca
ISI Web of Knowledge	Título: ("design for environment") OR Título: ("design for the environment") OR Título: ("ecodesign") OR Título: ("projeto para o meio ambiente") AND Título: ("lean manufacturing") OR Título: ("lean system") OR Título: ("lean thinking") OR Título: ("toyota production system") OR Título: ("sistema toyota de produção") OR Título: ("manufatura enxuta") OR Título: ("sistema lean") OR Título: ("just in time") OR Título: ("lean production")
Scopus	(TITLE ("design for environment") OR TITLE ("design for the environment") OR TITLE ("ecodesign") OR TITLE ("projeto para o meio ambiente") AND TITLE ("lean manufacturing") OR TITLE ("lean system") OR TITLE ("lean thinking") OR TITLE ("toyota production system") OR TITLE ("sistema toyota de produção") OR TITLE ("manufatura enxuta") OR TITLE ("sistema lean") OR TITLE ("just in time") OR TITLE ("lean production"))

Fonte: Elaborado pelo autor.

1.5 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão para etapa de processamento, com o intuito de selecionar os artigos utilizados para a etapa de saída são:

- Serão utilizados somente os artigos disponíveis de forma gratuita;
- Serão selecionados os artigos onde contenham no título as *strings* definidas no item 1.4 deste protocolo;
- Serão utilizados artigos para áreas de “*Engineering*”, “*Environmental Sciences Ecology*” e “*Operations Research Management Science*”. Se a base de dados não disponibilizar todos, utilizar-se estes disponíveis;
- Serão utilizados os artigos escritos na língua portuguesa ou inglesa;
- Serão utilizados somente artigos.

1.6 Critérios de qualificação

Os critérios de qualificação são definidos para avaliar a importância do artigo para este estudo, sendo eles observados:

- Abordagem utilizada;
- Método de investigação utilizado no trabalho;
- Objetivo geral definido no trabalho;
- Área de pesquisa do trabalho;
- Ramo ou setor onde realizado o trabalho.

1.7 Métodos e ferramentas

O método envolve os critérios já definidos para as buscas nas bases de dados para sua condução. As buscas iniciam-se por meio das *strings* definidas, onde estas deverão estar no título de trabalhos pesquisados. Assim, critérios de inclusão para seleção destes são executados, sendo a área de pesquisa selecionada, os artigos disponíveis gratuitamente para *download* e verificação dos artigos em duplicata. Depois podem ser aplicados os filtros 1, 2 e 3 definidos no processamento. Os endereços eletrônicos das bases de dados para esta pesquisa estão disponíveis no Quadro 24. Para armazenamento das informações resultantes deste processo foram os *softwares* Microsoft Excel (filtro 1) e o JabRef Reference Manager 2.10 (filtro 2 e 3).

QUADRO 24 –Endereços eletrônico para bases de dados utilizadas RBS Design for Environment e Lean Manufacturing.

Base de dados	Endereço eletrônico
ISI Web of Knowledge	http://apps.webofknowledge.com/UA_GeneralSearch_input.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&SID=2ErSOGYlsUhYmBNUC3C&preferencesSaved=
Scopus	http://www.scopus.com

Fonte: Elaborado pelo autor.

2 PROCESSAMENTO

Após a etapa de definição das entradas deste protocolo, o processamento é executado utilizando as *strings* já definidas para busca nas bases de dados.

2.1 Filtro 1

O filtro 1 é definido para a leitura do título, resumo e palavras-chave dos trabalhos encontrados na busca das bases de dados. Porém, com a busca inicial nas bases de dados não foi evidenciado nenhum trabalho contendo as strings de busca definidas. Desta forma, não existe nenhum trabalho pesquisado onde em seu objetivo fosse encontrado o *Design for Environment* com o *Lean Manufacturing*

3 SAÍDA

A saída deste protocolo é apresentada no Capítulo 2, item 2.2.1, sendo Resultado da RBS para *Design for Environment* relacionado com o *Lean Manufacturing*.

APÊNDICE C

PROTOCOLO DE PESQUISA

Este Protocolo de Pesquisa descreve os procedimentos para melhor seguimento da pesquisa diante dos procedimentos metodológicos e planejamento do trabalho para os estudos de caso.

1. ESCOPO DO TRABALHO

As indústrias que devem ser pesquisadas são de produção de produtos eletrônicos.

2. CONTEXTO DA PESQUISA

Como o *Lean Manufacturing* pode contribuir com os objetivos traçados na concepção do produto e do processo através da técnica de *Design for Environment* na indústria de eletrônicos?

3. OBJETOS DE ESTUDO

Os objetos de estudo são o DfE e o *Lean* e consiste a identificação e análise de como o *Lean Manufacturing* contribui para os objetivos traçados na concepção do produto e do processo através da técnica de *Design for Environment* na indústria de eletrônicos.

4. PERFIL DO ENTREVISTADO

Os entrevistados foram participantes das áreas de *Lean* e meio ambiente da empresa, sendo dois coordenadores de *Lean* e para o meio ambiente uma assistente administrativa e uma especialista em meio ambiente. Muitas empresas chamam este setor de *Lean* como de melhoria contínua ou setor de *Kaizen*. O departamento de *Lean* está sob a liderança do gerente industrial, mas não tem vínculo de dependência do setor. É independente e tem autonomia para realização dos seus trabalhos. O setor de meio ambiente também realiza funções relativas a saúde e segurança das pessoas que trabalham na empresa, além de disseminar os conceitos enviados pelo cliente para produção na concepção do produto.

Com estes participantes ou guias dentro da empresa foram definidos em conjunto as seguintes questões para as visitas:

- O tempo para visitas na empresa em torno de três a quatro horas;
- A frequência das visitas sendo semanal, uma em cada setor pesquisado;

- Para acontecimento das visitas o agendamento prévio para aviso na recepção da necessidade de EPI's quando aplicável a visita.

5. EXECUÇÃO DE UM TESTE-PILOTO

Um teste-piloto inicial foi realizado para verificação da conformidade deste protocolo de pesquisa. Os critérios definidos no item 4 deste protocolo foi identificado a partir do teste-piloto tornando-o efetivo para o estudo do caso.

6. PREPARAÇÃO DO CONTATO E VISITA INICIAL

Inicialmente é realizado um mapeamento de possíveis empresas fabricantes de produtos eletrônicos. Entre estas três são escolhidas para compor a quantidade de casos a serem estudados. A escolha fica a critério do pesquisador, sendo critérios o tamanho da empresa, forma de trabalho (previamente pesquisado para entender um pouco da empresa) e localização. Posteriormente, o contato deve ser feito por telefone, pois fica mais claro apresentar a empresa o projeto e mais rápida a resposta para realização dos trabalhos.

Assim que aceito ou autorizado à entrada na empresa, uma reunião inicial para apresentação do projeto do trabalho se faz necessário para liberação dos profissionais a participação. Na reunião, também deixar claro a frequência das visitas para não perder o contato e também uma continuidade com frequência definida da pesquisa. Esta frequência deve ser de um a dois dias por semana no mínimo.

7. COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados será elaborado um roteiro semiestruturado, com perguntas abertas, pois mediante as observações e diálogos entre entrevistador e entrevistado podem aparecer itens ou ações que não estavam no contexto e podem ser úteis. Este roteiro semiestruturado pode ser visto no APÊNCIDE B. As questões do roteiro foram elaboradas por meio da revisão bibliográfica e objetivos desta pesquisa.

8. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados serão avaliados e analisados conforme delineado no Capítulo 3.1.4 desta pesquisa. Os dados serão transcritos de forma dissertativa com maior intenção da elaboração de quadros, tabelas e figuras para melhor entendimento e apresentação do caso com os dados coletados.

9. ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

Para que nenhuma informação se perca ao longo da pesquisa, assim que o pesquisador ou entrevistador sair da empresa o relatório já deve ser escrito. Uma preocupação é não esquecer nenhuma informação e outra que tudo está mais claro no momento que está trabalhando *in loco*. Se deixar para depois o risco de esquecer alguma informação importante é maior.

APÊNDICE D

ROTEIRO SEMI-ESTRUTURADO

Este roteiro semiestruturado descreve as questões elaboradas para estudo do caso pesquisado, auxiliando como um guia. Como são dois departamentos envolvidos com muita ênfase, *Lean Manufacturing* e Meio Ambiente, algumas questões são direcionadas especificamente para um destes. Essa especificação, quando necessária, está apontada na frente da questão e são utilizadas para a análise de conteúdo

1. Quantos funcionários trabalham na empresa?
2. Quais são os produtos fabricados pela empresa?
3. A empresa autodeclara ser *Lean* ou possui características internas por uma filosofia *Lean* de produção?
4. Como é a filosofia *Lean* dentro da empresa?
5. Apresenta um Sistema de Gestão Ambiental e certificações para o meio ambiente?
6. Como a empresa trabalha com as técnicas do DfE?
7. Existe algum foco do *Lean* para o DfE visando contribuir de alguma forma?
8. A empresa em seu processo tem algum resíduo que impacta o meio ambiente?
9. Qual o fluxo de resíduos sólidos na empresa?
10. Quais operações na produção encontra-se os resíduos?
11. Como é a disposição final dos resíduos sólidos?
12. Como você entende a apresentação dos resultados do DfE em seu ambiente *Lean* de produção? São positivos ou negativos com a utilização de práticas? (*Lean e Meio Ambiente*)
13. Existe alguma ferramenta do *Lean* que não se utiliza mas poderia ser utilizada visando melhoria ambiental? (*Lean e Meio Ambiente*)
14. Existe apoio da alta administração para utilização de práticas *Lean* na empresa? (*Lean*)
15. Existe apoio da alta administração para utilização de práticas DfE na empresa? (*Meio Ambiente*)
16. Como o departamento de meio ambiente visualiza o *Lean* em sua rotina? (*Meio Ambiente*)
17. Como o departamento de *Lean* visualiza o DfE em sua rotina? (*Lean*)
18. Você acredita existir uma dependência entre práticas de DfE e o sistema *Lean* da empresa? (*Lean e Meio Ambiente*)

19. Existe uma parceria mais acentuada entre o *Lean* com os projetos que utilizam DfE? (*Lean e Meio Ambiente*)
20. Existe alguma dificuldade no relacionamento entre o sistema *Lean* da empresa com as práticas que utiliza? (*Lean e Meio Ambiente*)
21. Você acredita que a empresa contempla uma quantidade significativa de práticas DfE? Poderiam ser empregadas outras? Se sim, quais? (*Lean e Meio Ambiente*)
22. Quais são os benefícios que o DfE traz no geral? (*Meio Ambiente*)
23. Quais são os benefícios que o *Lean* traz no geral? (*Lean*)
24. Considerando as etapas do ciclo de desenvolvimento do produto (desenvolvimento, manufatura, uso e disposição) qual destas o DfE mais contribui para o *Lean*? (*Lean e Meio Ambiente*)
25. Como é o processo de desenvolvimento de produto?
26. Quem são os responsáveis pelo desenvolvimento do produto na empresa?
27. Quais são as etapas para o desenvolvimento de produto?

APÊNDICE E**ENTREVISTA A – COORDENADOR DE LEAN**

12. Como você entende a apresentação dos resultados do DfE em seu ambiente Lean de produção? São positivos ou negativos com a utilização de práticas?

Na minha opinião mais positivos, porque se você faz a concepção de um produto pensando no meio ambiente, em consequência você vai pensar em processos mais responsáveis. Para se ter um processo responsável você precisa pensar em um processo enxuto, no processo que tenha menos perda. Com certeza ele é positivo quanto a isso. Pensando no processo enxuto, enxuto é ser Lean. Assim, é positivo.

13. Existe alguma ferramenta do Lean que não se utiliza mas poderia ser utilizada visando melhoria ambiental?

Acredito que o VSM ele foi criado para entender o fluxo de valor, mas eu acredito inclusive, e eu já vi esboços do pessoal tentando colocar o VSM para analisar a questão ambiental tanto de consumo de energia elétrica, consumo de água e geração de resíduos. Então acho que o VSM pode sim ser adaptado para uma visão ambiental dos processos. Estou lembrando aqui do VSM. Talvez, a partir do momento que você tenha um problema já existente, qualquer ferramenta de análise de problema como PDCA, como 5 Porquês?, também pode ser utilizado pra você alcançar a causa-raiz e trabalhar na causa-raiz. Então, a partir do momento que você tenha, vamos dizer, um problema de meio ambiente que consiga fazer análises de causas, também essas ferramentas do Lean podem ser utilizadas. Talvez hoje a gente tenha a Pontuação de Golfe que analisa questões ergonômicas da operação. Talvez essas questões ergonômicas a Pontuação de Golfe também poderia ser adaptada para questões ambientais. Por exemplo, você pode criar critérios e incluí-los como itens ambientais. Assim como o Trabalho Padronizado acredito também. Hoje a gente poderia colocar sinalizações de segurança do trabalho, questões ergonômicas no Trabalho Padronizado, naquele layout do Trabalho Padronizado que colocamos, poderiam estar colocando símbolos ambientais. Por exemplo, aqui gera um resíduo, aqui não gera um resíduo. Onde está a latinha do lixo onde vão ser colocados os materiais no posto? Poderia ser expandido para a questão ambiental também, hoje a gente não tem, inclusive a semana passada eu dei treinamento de Trabalho Padronizado. A gente tem o layout do posto de trabalho, mas não fala nada sobre questão ambiental, não fala nada sobre onde está o lixo, como coloca o resíduo, se tem que separar o resíduo ou não. No último grande projeto, a gente fez um sobre geração de resíduos, a gente tentou separar da melhor maneira possível os resíduos aqui dentro da fábrica. A gente se deu conta que a maioria dos postos não tem essa preocupação de onde está o latão de lixo, se o resíduo que está sendo gerando ali, plásticos, o papel, ele tem que ser separado ou não. Não tem essa preocupação hoje. De repente poderia ser inserido no Trabalho Padronizado que é o método de trabalho operacional e o que deve ser gerenciado pelos líderes. Bater o olho numa figura e ver se a operação e o posto de trabalho estão montados conforme as preocupações ambientais que devem existir. Isso não existe hoje e talvez pudesse ser trabalhado.

14. Existe apoio da alta administração para utilização de práticas Lean na empresa?

Sim, existe muito apoio. O gerente da planta, na verdade se a gente pensar em corporação, a Delta como uma multinacional desde o CEO existe esse apoio. Tem eventos anuais que o CEO participa. Ele vai lá, está sempre por dentro das melhorias dos projetos Kaizens que estão acontecendo. Ele acaba sendo o responsável em todas as unidades no mundo. Ele cobra muito sobre a evolução Lean de cada unidade. Existem indicadores que são acompanhados por toda a corporação, indicadores de maturidade de Lean e dentro da unidade, aqui dentro desta unidade, o nosso gerente está sempre em eventos Kaizens, eventos de melhoria. Ontem mesmo teve um evento de programas de melhoria da produção. O gerente da planta estava e deu maior apoio, elogio muito o trabalho dos grupos, agradeceu o trabalho dos grupos, pediu a continuidade do projeto, sentiu inspirado pelo programa. Está sempre dentro de semanas Kaizens também. Sempre vendo as apresentações finais, sempre agradecendo, elogiando, mas também cobrando para que os resultados se mantenham, além de fazer o acompanhamento sobre os resultados. Então, eu acho que dentro da planta e dentro da corporação, eu acho que essa cultura está meio enraizada. Tem bastante apoio.

17. Como o departamento de Lean visualiza o DfE em sua rotina?

Eu diria que a gente segue muito os materiais da corporação quanto a treinamentos, quanto a abordagens dos Kaizens. E hoje nesses materiais, assim como eu falei das ferramentas, esses materiais não têm alguns detalhes que falam do meio ambiente, não são específicos para o meio ambiente. Tem oportunidade de melhorar esses materiais, diria que tem oportunidade, mas eu diria que pensando em redução de custo tem uma série de iniciativas. Por exemplo, redução de energia elétrica, redução de consumo de água, que elas também reduzem o custo, que é o que buscamos em todos os Kaizens, e vão de encontro com o meio ambiente, vão de encontro com a necessidade ambiental. Eu diria que não é explícito o foco: olha vamos fazer o Kaizen para o meio ambiente? Na verdade, a gente faz Kaizen, por exemplo, a gente fez Kaizen de redução de consumo de água. Eu diria que dentro dos cinquenta Kaizens que a gente fez no ano, um ou dois foi com apelo ambiental explícito. Os outros são consequências, por exemplo, vamos trabalhar na redução de área de uma linha e redução de máquinas trabalhando. A partir do momento que a gente reduz a área e as máquinas trabalhando a gente está reduzindo o consumo de energia elétrica, a gente está reduzindo o consumo de energia elétrica através da iluminação que é necessária por uma área. Quanto menor a área menos iluminação a gente utiliza. Eu diria que não é explícito, mas ela é consequência da maioria dos Kaizens que a gente realiza. Os nossos Kaizens a gente tenta deixar as linhas menores, mais enxutas, produtividade cada vez maior e eu diria que a consequência também resulta na menor utilização de recursos naturais. Eu diria, não é explícito mais consequência de todas as nossas iniciativas.

18. Você acredita existir uma dependência entre práticas de DfE e o sistema Lean da empresa?

Eu diria que depois do processo já instalado, eu diria que a questão ambiental ela depende de ações de melhoria contínua. Ela depende de ações de análises de processos, de Kaizen mesmo. Talvez, eu vejo que a questão ambiental ela depende dessas iniciativas de melhoria. Se não existir essas ações de melhoria talvez dentro da nossa empresa não existisse essas consequências positivas para o meio ambiente que a gente vê hoje em dia. Agora vamos pensar se aqui não existisse o Lean, não tivesse Kaizen, como poderiam ser tratadas estas questões? Vamos melhorar os processos, vamos fazer com que nossas linhas sejam mais produtivas e utilizem menos recursos? Eu sinceramente na Delta não veria outra maneira de se fazer a não ser com a cultura Lean, a cultura Kaizen. Eu vejo dentro da nossa empresa essa dependência sim.

19. Existe uma parceria mais acentuada entre o Lean com os projetos que utilizam DfE?

Eu diria, como eu falei, o Lean e o Kaizen eles se tornaram uma ferramenta para a companhia inteira. Como está muito difundido em todas as áreas, a partir do momento em que uma área qualquer, agora falando da área de meio ambiente, se deem conta da necessidade de uma melhoria, a primeira ferramenta que eles pensam em utilizar, pela nossa estrutura para tratativa de problemas é a estrutura da semana interna Kaizen. Com coordenador de Lean, com essa abordagem de fazer uma equipe, de tratar os problemas através do PDCA, eu hoje vejo todas as áreas notando o Kaizen como a melhor maneira de se tratar qualquer problema. Então, eu não vejo diferente na área de meio ambiente. Se eles também têm um projeto, se este projeto é de DfE, e eles tem um objetivo ou escopo, eu vejo que a melhor maneira de tratar, eu acho que eles podem até concordar, é de fazer um grupo de Kaizen e resolver o problema. Então eu vejo assim essa necessidade de utilizar as ferramentas do Lean, como o Kaizen para tratar destes projetos também.

20. Existe alguma dificuldade no relacionamento entre o sistema Lean da empresa com as práticas que utiliza?

Eu acho que não existe nenhuma limitação ou barreira, porque assim como eu disse, não só no meio ambiente, mas em outras áreas por exemplo, jurídica, financeira, IT, a gente consegue utilizar os mesmos conceitos para qualquer tipo de processo. Então se existe um processo que é do DfE e que tem que ser melhorado a gente consegue utilizar as ferramentas do Lean da mesma maneira. E acho que essas barreiras inexistem se a gente olhar do ponto de vista que todo processo é um processo que pode ser melhorado. Pode ser melhorado através dos conceitos de Lean, das ferramentas de Lean.

21. Você acredita que a empresa contempla uma quantidade significativa de práticas DfE? Poderiam ser empregadas outras? Se sim, quais?

Na questão de fazer o planejamento do nosso processo, ou seja, a gente sabe que vai produzir um produto e estamos começando a fazer a linha do produto, fazendo o design da linha, eu vejo que ainda existe uma oportunidade de fazer o design da linha, fazer o planejamento do processo pensando na questão ambiental, principalmente quanto à separação de resíduos. Eu vejo que hoje a gente tem muito layout, tem muitas estações de trabalho que não foram desenhadas pensando na questão ambiental. Assim como eu falei, usar o Trabalho Padronizado, usar o VSM, eles poderiam estar contribuindo para gente fazer um processo desde o início pensando em questões ambientais, como separações de resíduos, de papel, de plástico, pensar no posicionamento do layout, colocando ou inserindo os latões de lixo, enfim. Pensando no layout desta forma. Eu vejo que hoje os engenheiros de processo desenharam o layout, mas não posicionam o lixo por exemplo. Instalaram o processo e depois se dão conta onde vai colocar este lixo, onde vai posicionar a bancada do lixo. Eles não pensam nisto. Eu acho que esta é uma questão que poderia ser melhorada sim.

23. Quais são os benefícios que o Lean traz no geral?

Pensando que todos os Kaizens e todas as melhorias elas tem como objetivo redução de recursos, redução de custo, tudo que a gente vê que a questão ambiental envolve custo, eu diria que é grande a contribuição do Lean para a questão do DfE. Porque se a companhia tiver esta questão enraizada de melhoria, de redução de desperdícios e de custo, com certeza o DfE vai ser impactado. Não o DfE vai ser impactado, mas as questões ambientais vão ser impactadas, e elas estão diretamente ligadas, como consequência de qualquer melhoria.

24. Considerando as etapas do ciclo de desenvolvimento do produto (desenvolvimento, manufatura, uso e disposição) qual destas o DfE mais contribui para o Lean?

Eu vejo que falta ainda no design do produto, e que trabalhamos muito em processos. No processo a utilização acaba sendo acentuada. Na questão de disposição temos uma unidade somente para cuidar de disposição. É uma fábrica somente para disposição de resíduos. Nesta parte, a questão do DfE está muito elevada. Lá a cultura, a missão, é fazer com que todo resíduo gerado, virem matéria-prima para outros materiais. É fechar este ciclo de desenvolvimento do produto.

APÊNDICE F**ENTREVISTA B – COORDENADOR DE LEAN**

12. Como você entende a apresentação dos resultados do DfE em seu ambiente Lean de produção? São positivos ou negativos com a utilização de práticas?

Para ser direto na resposta começando sim, seria. A explicação seria positiva, porque a partir do momento que você começa a pensar como isso vai se comportar no meio ambiente no futuro, isso para o Lean a gente enxergaria alguma coisa disso na hora de mapear a cadeia de valor. Por exemplo, de onde vem sua matéria-prima, onde se fabrica, o que você faz com o produto, do produto o que acontece depois que é utilizado. No VSM a gente poderia ver de repente erguer algum ponto e ver a destinação de resíduos para o meio ambiente por exemplo. A partir do momento que você começa a pensar no meio ambiente quando você está desenvolvendo o processo ou o produto, nada mais é do que você incluir essa visão de meio ambiente dentro da cadeia de valores do produto. Seria uma maneira de garantir que o produto no seu final de vida ou final ciclo de vida, tenha um processo definido de maneira enxuta que tenha um retorno positivo para a empresa. É positivo sim pensar desta maneira e incluir esse pensamento para o desenvolvimento de processo.

13. Existe alguma ferramenta do Lean que não se utiliza mas poderia ser utilizada visando melhoria ambiental?

Eu acho que como a gente trabalha sempre buscando resolver problemas e às vezes deparamos com um problema, ou tipo de problema, ou um grau desse mesmo problema, a gente acaba aplicando ferramentas diferentes. Então acho que a princípio com certeza tem ferramentas que não é utilizada hoje e que podem ser utilizadas. Tudo depende do nível de análise que a gente está. Só não vou conseguir agora dizer de uma que a gente não aplicou ainda. Mas é normal você, conforme detalha, você se aprofunda no processo, neste caso falando de melhoria ambiental, conforme se aprofunda neste tipo de análise tem oportunidade de aplicar novas ferramentas ou de maneira diferente ferramentas que já foram aplicadas. Tem bastante coisa para evoluir ainda. Ainda é uma coisa meio nova, até mesmo pelo fato de ter vindo de manufatura, de produção, daí ele vai englobando os outros processos. Em meio ambiente a gente tem aplicação sim, mas tem bastante coisa para melhorar.

14. Existe apoio da alta administração para utilização de práticas Lean na empresa?

Sim. A gente não conseguiria ter a estrutura que a gente tem hoje por exemplo, todos os coordenadores, de ter a nossa área, de conseguir ter a atenção do pessoal para poder fazer projeto, de melhorar, se não tivessem o interesse e o apoio da alta gerência. No nosso caso aqui como a empresa é multinacional, já foi criado essa estrutura de Lean globalmente. A partir do momento que você tem entrado em uma unidade da Delta que cria um logo, obrigatoriamente você tem que iniciar trabalhos deste tipo. Às vezes em quantidade e grau menor, e às vezes, no nosso caso como a gente está há bastante tempo, estamos um pouco mais avançados nesta questão. Se não tivesse esse apoio, diria que a gente nem estaria conversando agora, porque a alta gerência, a diretoria, eles ajudam a puxar o pessoal para as melhorias, ajudam a direcionar alguns pontos que precisam ser trabalhados também. Então sim. Neste caso aqui existe apoio da administração.

17. Como o departamento de Lean visualiza o DfE em sua rotina?

Com relação às práticas ambientais, cotidiano, no dia-a-dia ainda não. É coisa que a gente em alguns momentos acaba trabalhando ou normalmente com os projetos. A maior parte do nosso tempo aqui trabalhamos com os projetos de melhoria. Então assim, no dia-a-dia mesmo quando tem algum projeto relacionado. Aí acabamos vendo diariamente alguma questão do tipo, como resíduos, ou de reciclagem, ou algum tipo destes processos. Então, quando estamos envolvidos com algum destes projetos sim, aí é cotidiano. Caso não tenha algum desses, que acontece de passar um ou dois meses sem ter algum projeto relacionado a meio ambiente aí fica um pouco de lado. Tudo é questão de cultura. Quanto mais a gente se dedica para o pessoal de meio ambiente, mais tem interesse deles de procurar a gente. A tendência é que tenhamos mais projetos nessa área. A tendência é que faça mais parte do cotidiano. Até que fizemos vários projetos com o pessoal de meio ambiente e tem a unidade de reciclagem que nada mais é do que isso.

18. Você acredita existir uma dependência entre práticas de DfE e o sistema Lean da empresa?

Eu acho que existe uma relação sim, mas uma dependência não. Até porque tem as origens e os escopos de cada filosofia que é direcionada, não que são diferentes, mas abordam de maneira diferente. O Lean busca consumir menos recursos, ser mais enxuto. De certa maneira para o meio ambiente isso vai ter um resultado melhor. Da maneira que você desenvolve produtos, com processos mais enxutos, em algum ponto do processo vai explorar menos a natureza. Em algum ponto do processo você vai destinar menos coisas para natureza. Existe uma relação, acho que não uma dependência entre elas. Já são difundidas aqui, o Lean um pouco mais aqui dentro e o DfE pela empresa autodeclarar possuir DfE também. São conceitos complexos e bem amplos.

19. Existe uma parceria mais acentuada entre o Lean com os projetos que utilizam DfE?

Em relação à parte anterior precisa melhorar sim. Enquanto a gente não trate melhor esta relação, é um dos pontos difíceis e críticos trabalhar no desenvolvimento. Até porque às vezes os times envolvidos em projetos novos acabam se preocupando com o próprio projeto e às vezes deixando de lado um pouco esta questão de processos, deixando ele mais enxuto. A maior parte dos projetos que a gente faz atualmente é exatamente por ter deixado de ter pensado nisso antes, enquanto ainda era projeto. Precisa melhorar não só com o DfE, até o próprio Lean com desenvolvimento. Precisa ser um pouco mais presente. Precisa se acentuar um pouco mais. A partir do momento que a gente consegue trabalhar com os dois, o DfE que já existe para trabalhar com o desenvolvimento e conseguir implementar mais práticas durante o desenvolvimento, isso é o que a gente busca. Precisamos acentuar mais este tipo de prática. Até porque pelos nossos produtos serem de ciclo de vida curto e as necessidades e demandas dos clientes serem muito variáveis aqui, o próprio dia-a-dia, o próprio processo atual dá bastante trabalho e gera bastante perda, o que faz que tenhamos mais atenção para o atual. Vários projetos que trabalhamos, paramos para analisar os processos, muitos deles chegamos à conclusão que a solução é simples. Não precisava ter gerado o desperdício que geramos ou os problemas que temos no dia-a-dia, a dor de cabeça gerada para todo mundo. Se a gente tivesse tomado uma decisão simples no começo teria evitado tudo isso. No dia-a-dia, nos projetos que temos, até porque, os processos são liderados e executados por pessoas, e pessoas tem uma dificuldade de seguir regras desde que ele tenha noção que aquilo não vai oferecer nenhum risco ou prejuízo para ele. Então neste ponto, pessoa é o ponto crítico e por isso da prática da pessoa mesmo, temos esse tipo de perda e aí chega em projetos que precisamos pensar em solução simples, em coisas que poderíamos ter feito antes. Para o

próprio Lean essa é uma dificuldade, conseguir trabalhar um pouco antes. É o que buscamos. Não ser necessário ter um problema para poder resolver. O ideal é evitar que ele aconteça. Chegar neste nível. Quanto mais próximo deste nível chegamos, mais próximo estamos do DfE, mais próximos de desenvolvimento, não só para o meio ambiente, mas em geral. Desenvolvimento de projetos em geral. Mais precisamente se evita problemas no futuro.

20. Existe alguma dificuldade no relacionamento entre o sistema Lean da empresa com as práticas que utiliza?

A princípio não vejo nenhuma dificuldade técnica entre os dois. Como eu falei na questão anterior, seria um pouco mais na questão prática. Até que ponto a gente consegue trabalhar junto. A gente sabe que sim, mas às vezes depende do nível de aplicação que estamos no processo. A aplicação do Lean ou até do próprio DfE. A tendência é que consigamos trabalhar com parceria maior quando se aprofunda um pouco mais nos processos. Até o próprio fato de trabalhar em desenvolvimento significa isso daí, estamos conseguindo trabalhar antecipadamente, ou seja, está no nível pouco melhor de aplicação das ferramentas. Então neste caso, em relação à técnica não vejo nenhum problema, mais é na prática. Acho que até no ponto de vista de DfE também para quem é especialista na área por exemplo, acho que deve encontrar o mesmo tipo de dificuldade. Por exemplo, não sei se nas equipes que desenvolvem projetos já como DfE, se a equipe inteira tem essa mentalidade de DfE ou se tem alguém lá para poder ficar: olha, lembra disso? Lembra daquilo? Caso seja desta maneira, seria um pouco parecido com a gente. Essa pessoa que estaria concentrada nisto daí teria este tipo de dificuldade, de conseguir conquistar as pessoas, conseguir convencer de que aquilo vale a pena. Nesse fato, a questão prática seria o limitante mesmo, tanto para o Lean quanto para o DfE das iniciativas que partem para os dois lados.

21. Você acredita que a empresa contempla uma quantidade significativa de práticas DfE? Poderiam ser empregadas outras? Se sim, quais?

Sim. Eu acho que bastante coisa a gente poderia e precisaria ter abordado antes, até por isso em alguns momentos a gente tem que fazer projetos atuais de resolver problemas. Caso tivesse sido pensado nisso antes, eu acho que de repente hoje em dia teríamos um lado bom, menos projetos nesta área. Não precisaria estar agora trabalhando em resolver problemas, que não haveriam os problemas. Precisaria ser um pouco mais praticado, difundido de verdade, para as duas áreas, para o DfE e para o Lean também, mesmo tendo uma estrutura estabelecida e bem organizada a gente também precisa estar pouco mais presente neste passo anterior. Para o DfE, apesar de ser um conceito preparado para trabalhar neste passo anterior, eu acho que esta é a dificuldade. Mesmo a gente comparando a Delta com outras empresas que estão de repente um passo a menos, eu acho que temos também que melhorar nesta parte de trabalhar antecipadamente. De ter este pensamento antes.

23. Quais são os benefícios que o Lean traz no geral?

Baseado nos projetos que fizemos, a maneira que trabalhamos, eu acho que o fato de se resolver os problemas agora, já dão a noção de que precisa pensar nisso em momentos antes. Eu acho o próprio fato de trabalhar agora resolvendo os problemas que a gente tem, já desperta o interesse e a obrigação de não deixar que esses problemas não aconteçam de novo. Pelo que já executamos, eu acho ter ajudado bastante neste ponto, não só nos problemas já encontrados, que isso é o primeiro impacto, primeiro benefício que o Lean oferece ao DfE. É levantar a mão agora, a gente tem problema, precisamos resolver e está resolvido. Então vamos buscar métodos que não chegue mais neste ponto de novo. A princípio é este ponto.

Em segundo momento seria no próprio desenvolvimento. Nas ferramentas que temos para trabalhar com desenvolvimento, que o Lean tem e que ajudaria nisto também. Buscar deixar os processos mais enxutos desde o começo. Então eu acho que traz benefícios sim.

24. Considerando as etapas do ciclo de desenvolvimento do produto (desenvolvimento, manufatura, uso e disposição) qual destas o DfE mais contribui para o Lean?

Eu acho que de alguma maneira ele acaba presente nos quatro, porém o principal que se evidencia mais é no primeiro e no último, no desenvolvimento e na disposição. Onde se tem mais práticas. Pelo conceito de DfE, trabalhar com desenvolvimento pensando no meio ambiente, inclusive um dos principais impactos. O desenvolvimento é onde está presente o pensamento, e a disposição atualmente é ponto mais crítico para todas as indústrias. A disposição dos produtos depois que não são mais utilizados e o que fazer com eles. Eu acho que isso é a dificuldade para indústria em geral. A partir do momento que você pensou nisso no desenvolvimento seria ponto onde realmente acontece aquele planejamento que você fez, principalmente comparado ao atual. A diferença maior de impacto é na disposição, apesar de na manufatura e no uso também, mas acho que analisando assim, principalmente em desenvolvimento e na disposição.

APÊNDICE G

ENTREVISTA C – ASSISTENTE ADMINISTRATIVO MEIO AMBIENTE

12. Como você entende a apresentação dos resultados do DfE em seu ambiente Lean de produção? São positivos ou negativos com a utilização de práticas?

Positivos. A gente nota uma necessidade e desenvolvemos projetos, vendo uma orientação com o Lean. Isso parte da gente. A gente faz trabalhos para garantir o processo e efetividade das ações de melhoria.

13. Existe alguma ferramenta do Lean que não se utiliza mas poderia ser utilizada visando melhoria ambiental?

Eu acho que daria para utilizar as que se tem para meio ambiente. O PDCA utiliza-se bastante, já temos esta prática. Agora eu busco o Lean, mas antes quando não conhecia o Lean não buscava.

15. Existe apoio da alta administração para utilização de práticas DfE na empresa?

Se for representar um gasto grande sai do foco. Se precisar de investimento sai do foco. Tenho que mostrar que aquilo vai gerar uma oportunidade e não vai gerar recursos financeiros para desenvolver o projeto. O que é muito difícil, porque pra tudo precisa, ou mostrar que a curto prazo o retorno será maior. Tenho que ter uma justificativa muito boa para ser aceito. Mas tem apoio sim da administração.

16. Como o departamento de meio ambiente visualiza o Lean em sua rotina?

Não tem uma regularidade, mas o que eu faço para manter essa regularidade e contato, como somos nós que planejamos nossas metas e repassamos para o nosso gestor para ver se concorda ou quer mudar. Não é o gestor que define a meta de cada um. Pelo menos comigo nunca foi. Eu estabeleço as metas, passo a ele e avalia. Ver se estão coerentes as metas anuais, porque somos avaliados anualmente. E eu coloco participações em Kaizens, em SGA's. Como eu mostro a importância do trabalho do meio ambiente é por meio do Lean. Eu preciso de contato, que o setor de meio ambiente apareça e conseguir isso é através do Lean. Você não apresenta um Kaizen só para produção, mas para alta administração. E nessa hora vão conhecer seu trabalho ou conhecer coisas que nem sabiam. Isso melhorou nossa visibilidade. O gestor sempre aprova esse tipo de meta.

18. Você acredita existir uma dependência entre práticas de DfE e o sistema Lean da empresa?

Um ajuda o outro. Até mesmo pelo número reduzido de pessoas que o meio ambiente tem, um setor ajuda o outro para propor soluções de melhoria juntos. Mas poderia ter mais tempo para trabalharmos juntos.

19. Existe uma parceria mais acentuada entre o Lean com os projetos que utilizam DfE?

Existe sim, como agora, a Fulana que faz parte do Lean tem várias ideias na área de meio ambiente para tentarmos implementar. E principalmente voltadas para sociedade, isso também coloquei nas minhas metas para se tentar cumprir. Essa interação de meio ambiente e sociedade. Tem essa preocupação e tem projetos com o Lean e até mesmo eles procuram a gente. Eles acabam ajudando também em várias ideias.

20. Existe alguma dificuldade no relacionamento entre o sistema Lean da empresa com as práticas que utiliza?

Eu acho que não porque, por exemplo, às vezes eles vêm com algumas ideias que não dá para se implementar, mas aí explicamos e eles entendem. Então não tem dificuldade. Às vezes conhecimento técnico, onde às vezes dão ideias, mas não conhecem a parte técnica da área de meio ambiente.

21. Você acredita que a empresa contempla uma quantidade significativa de práticas DfE? Poderiam ser empregadas outras? Se sim, quais?

Eu acho que é. O que estava faltando que está melhorando agora é a comunicação, como por exemplo, exportava-se muito e o meio ambiente não era comunicado. Por isso que agora eles estão implementando o plano de gestão de mudanças junto com o time de segurança do trabalho. Agora está melhor. As práticas estão sendo realizadas. Práticas são realizadas depois da concepção, por exemplo, a implementação dos coletores na coleta seletiva. Envolvimento das pessoas e implementações novas poderiam ser aplicados como conceitos na concepção, mas está melhorando.

22. Quais são os benefícios que o DfE traz no geral?

São gigantescos, ambientais principalmente, de resíduos de agressões ao meio ambiente. Então isso tem que melhorar, para nossa própria qualidade de vida. Contempla e cada vez mais melhorando. Hoje está mais forte.

24. Considerando as etapas do ciclo de desenvolvimento do produto (desenvolvimento, manufatura, uso e disposição) qual destas o DfE mais contribui para o Lean?

Eu acho que é geral nas etapas, mas para disposição temos uma unidade dedicada só a isso. Nós fazemos a manufatura e preocupamos com a disposição, no entanto nos prédios possuem os coletores de produtos eletrônicos que as pessoas podem trazer de suas casas e dispor aqui para encaminhar para unidade de disposição. Quando vai implementar um processo, a gente preocupa quanto ao resíduo do processo na manufatura para onde vai. Algumas reuniões referentes a produtos novos que estão entrando agora para o próximo semestre, a gente vê a engenharia envolvida.

APÊNDICE H**ENTREVISTA D – ESPECIALISTA AMBIENTAL**

12. Como você entende a apresentação dos resultados do DfE em seu ambiente Lean de produção? São positivos ou negativos com a utilização de práticas?

Temos sim, eu acredito, porque na hora que se pensa em desenvolver o produto a gente agrega as melhores práticas do Lean. Isso em melhoria contínua, performance, etc.

13. Existe alguma ferramenta do Lean que não se utiliza mas poderia ser utilizada visando melhoria ambiental?

Sim, porque o Lean tem diversas ferramentas. Por exemplo, hoje eu vejo uma forma, se não for aplicado, no futuro vai ser no desenvolvimento de outro produto. Particularmente eu gosto das ferramentas do Lean, principalmente para o meio ambiente. Muitas pessoas não tinham esta visão, mas melhorou muito.

15. Existe apoio da alta administração para utilização de práticas DfE na empresa?

Sim, existe, apoiam. Desde que estruturado, conversado. Se não for uma prática, mas se for um requisito legal eles vão apoiar.

16. Como o departamento de meio ambiente visualiza o Lean em sua rotina?

Na nossa rotina, anteriormente, era somente uma obrigação. Hoje não. Hoje a gente já pensa no Lean. Antes era uma meta, uma participação em SGA. Hoje já é natural. Hoje nós que procuramos a equipe do Lean para desenvolver novos projetos na área de meio ambiente.

18. Você acredita existir uma dependência entre práticas de DfE e o sistema Lean da empresa?

Eu não vejo uma dependência, mas eu vejo que os dois podem trabalhar juntos. Complementam-se. Essa é minha visão.

19. Existe uma parceria mais acentuada entre o Lean com os projetos que utilizam DfE?

Existe sim. Nossa relação com o pessoal do Lean é direta e sempre fazemos projetos de melhoria. Não só nós chamamos eles quando notado uma nova oportunidade, como eles também nos chamam. As ferramentas do Lean nos ajudam muito a resolver os problemas de meio ambiente que acabam aparecendo.

20. Existe alguma dificuldade no relacionamento entre o sistema Lean da empresa com as práticas que utiliza?

Não. Hoje não mais porque já está bem difundido. Hoje a prática é bem-vinda.

21. Você acredita que a empresa contempla uma quantidade significativa de práticas DfE? Poderiam ser empregadas outras? Se sim, quais?

Que poderia não estar contemplado é questão de legislação, que ela muda meio que rotativo, mas nós acompanhamos. Mas em relação à Lean, acho que tá bem definido. Pode ser que alguma coisa, às vezes muda uma lei, um requisito, mas naquele momento não se atenda, mas vamos atender. Hoje a gente atende com ajuda do próprio Lean. Hoje temos uma prática, que chama gestão de mudanças, que vai analisar a questão ambiental, segurança do trabalho. Difícil não atender. É multidisciplinar. As áreas se falam.

22. Quais são os benefícios que o DfE traz no geral?

Traz sim. São boas práticas. Além de ter um marketing ambiental, nós estamos pensando nas futuras gerações usando de forma consciente os recursos. Não tem como dizer que não. Só traz benefícios.

24. Considerando as etapas do ciclo de desenvolvimento do produto (desenvolvimento, manufatura, uso e disposição) qual destas o DfE mais contribui para o Lean?

Não, hoje nós pensamos no todo, até o final. Temos uma unidade somente para fase de disposição, para fazer a logística reversa. Isso em conjunto e apoio com o Lean. O produto é desenvolvido, ele vai retornar pra gente, ele vai ser matéria prima já pensando no final.

APÊNDICE I

KAIZENS REALIZADOS NA DELTA PARA REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

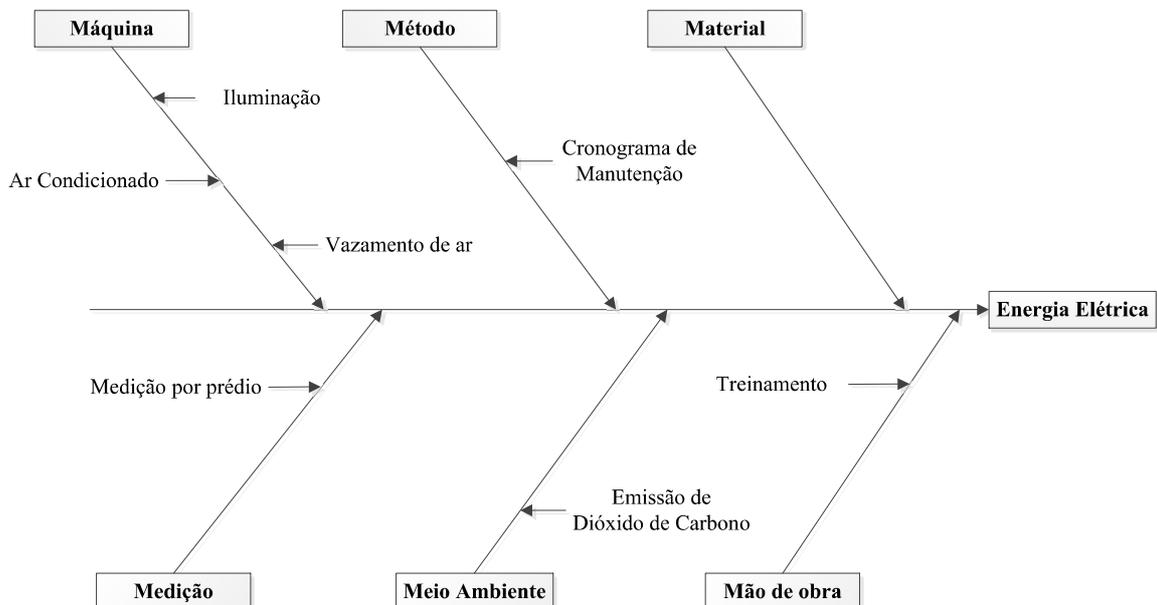
1 Redução do consumo de energia elétrica

O projeto de redução de energia foi realizado internamente e com acompanhamento da consultoria externa. Foi criado um time multifuncional para realização por participantes de diferentes setores como de *facilities*, segurança e meio ambiente, qualidade, materiais e *Lean* (um da unidade e outro de unidade internacional).

Para gestão do projeto foi elaborado um PDCA para melhor entendimento inicial e posterior análise. O consumo de energia atual foi medido em 2.400.000 KW, onde colocam uma meta de 2.350.000 KW.

Com a utilização da metodologia Diagrama de Ishikawa, são identificadas as causas mediante aos 6 M's, sendo máquina, método, material, medição, meio ambiente e mão de obra. As causas secundárias são apresentadas na Figura 25.

FIGURA 25 – Diagrama de Ishikawa para redução de energia elétrica da Delta.

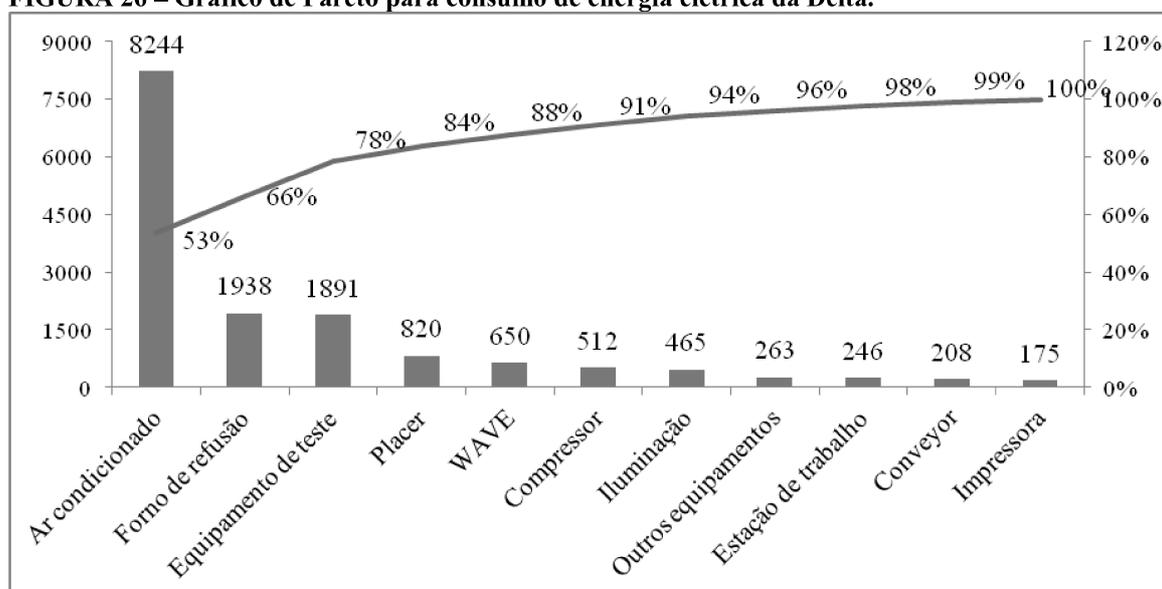


Fonte: Elaborado pelo autor.

Posterior, é elaborado um Gráfico de Pareto com base em estimativas do consumo de energia elétrica dos principais equipamentos utilizados pela Delta para serem analisados, conforme Figura 26. A unidade de medida dos itens de consumo de energia é Quilowatt hora.

Como apresentado no Gráfico de Pareto, o ar condicionado, o forno de refusão e o equipamento de teste são os equipamentos que mais consomem energia elétrica, representando juntos um consumo de 78% do total. Como forno de refusão e o equipamento de teste são equipamentos complexos para serem tomadas medidas de redução do consumo de energia elétrica, a equipe do *Kaizen* decidiu tomar medidas para equipamentos ou itens de mais fácil e rápida solução, sendo escolhidos o ar condicionado, o compressor e a iluminação. Estes três equipamentos representam um consumo de 60% da utilização total da energia consumida.

FIGURA 26 – Gráfico de Pareto para consumo de energia elétrica da Delta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No período de um mês é decidido pela equipe de *Kaizen* que serão tomadas ações para verificação do planejado com o que está sendo realizado. Para esta medida foram definidas três ações abrangentes, sendo a redução do consumo de energia elétrica utilizada no mês, buscando uma melhoria inicial de 2%; redução do custo mensal e implementação de boas práticas aplicadas por outros sites para o problema.

Foram evidenciados 51 focos de vazamentos de ar por toda a empresa e 100 lâmpadas mais que o necessário. Desta forma, foi elaborado um plano de ação para sanar os problemas encontrados buscando reduzir o consumo de energia conforme Tabela 5. São apresentados o estado atual quantitativamente e o objetivo de melhoria, assim podendo ser medida.

TABELA 5 – Plano de redução de energia elétrica da Delta.

Pontos críticos	Medida	Atual	Objetivo	Melhoria
Redução consumo ar condicionado	KWh	11.057	8.769	21%
Redução consumo compressor	KWh	12.306	10.706	13%
Redução do consumo das lâmpadas	KWh	1.094	964,8	12%
Redução de lâmpadas	Qtidade/dia	844	744	12%
Eliminar vazamento de ar	Qtidade/dia	51	0	100%
Criar processo de manutenção preventiva	Unidade	0	1	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após traçado o plano de ação, os dados foram coletados durante um período de duas semanas. Alguns dos pontos críticos foram sanados mais rápidos outros levaram pouco mais de tempo, grande parte devido sua complexidade de solução.

Houve melhoria significativa nos pontos críticos, chegando ao nível esperado. Aqueles pontos que obtiveram êxito excederam as expectativas.

Além disso, outras ações paralelas foram traças a fim de chegar ao objetivo, como:

- Ar condicionado funcionando mais que o necessário: atualmente o ar condicionado fica em funcionamento das 5h30 às 20h00. Foi reduzido 3 horas do seu funcionamento, sendo das 6h30 às 18h00. Antes, este fator tinha um consumo de 11.057 KWd, passando para 8.769 KWd. Uma melhoria de 21% para consumo e tempo trabalhado que chega a refletir significativamente nas finanças da empresa;

- Alguns corredores com lâmpadas mais que necessárias: lâmpadas foram removidas de acordo com especificações de clientes e normas regulamentadoras vigentes. A redução foi de 83% em termos de quantidade e consumo diário;

- Vazamento de ar devido alterações de *layout* ou mudanças de equipamentos: isso é ocasionado devido a correta remoção do tubo de ar. Foram encontrados os vazamentos e o objetivo foi 100% solucionado;

- Vazamento de ar em máquinas de montagem de placa *Surface Mount Technology - SMT*: foram identificados os focos de vazamento e corrigidos um a um, sendo 100% dos casos.

Terminando este projeto, a proposta como lições aprendidas corporativas são a redução do tempo do ar condicionado e redução da quantidade de lâmpadas quando necessário e possível.

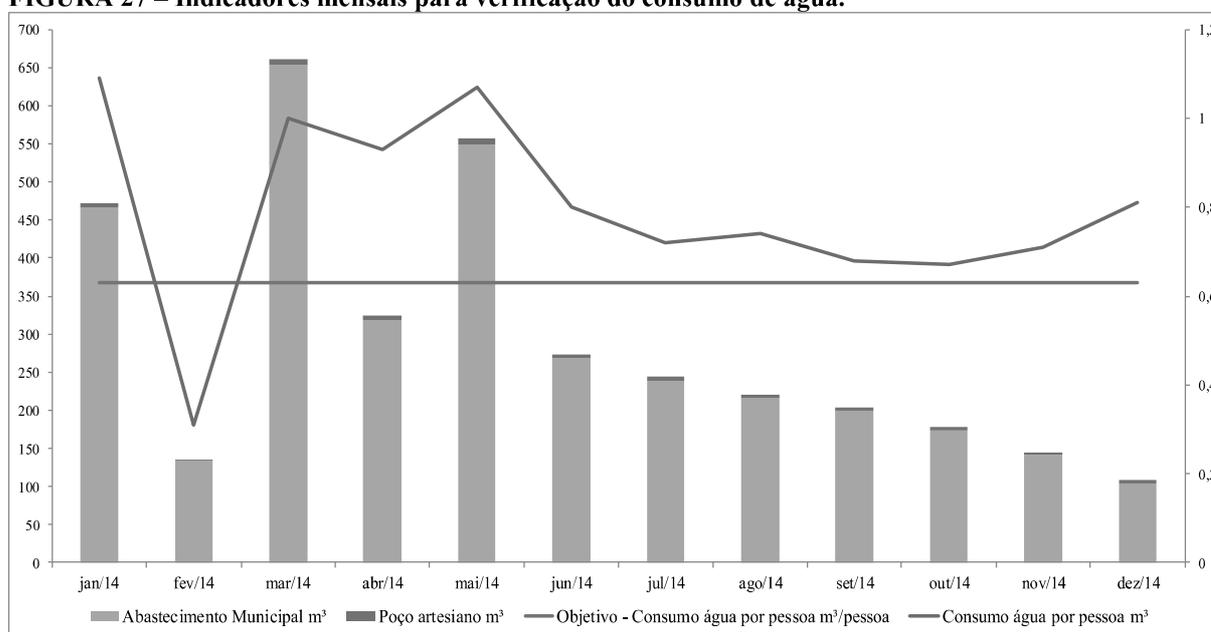
O resultado foi de grande significância, obtendo excelente performance financeira e redução do impacto ambiental.

2 Redução do consumo de água

O projeto de redução de água foi realizado internamente por colaboradores da Delta. Também foi criado um time multifuncional para realização por participantes de diferentes setores como de *facilities*, segurança e meio ambiente, qualidade, operações, TI – Tecnologia da Informação e *Lean*.

Para gestão do projeto foi elaborado um PDCA para melhor entendimento atual e posterior análise. Para observação do cenário atual do consumo de água, foram criados alguns indicadores mensais para verificação de tendência. Este pode ser visualizado na Figura 27.

FIGURA 27 – Indicadores mensais para verificação do consumo de água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O consumo de água foi medido em metros cúbicos para o ano de 2014, sendo um consumo total de 6.710 m³ em janeiro e 4.764 m³ em dezembro. A meta para consumo de água por pessoa é de 0,63 m³. O uso da água por abastecimento municipal é muito superior ao

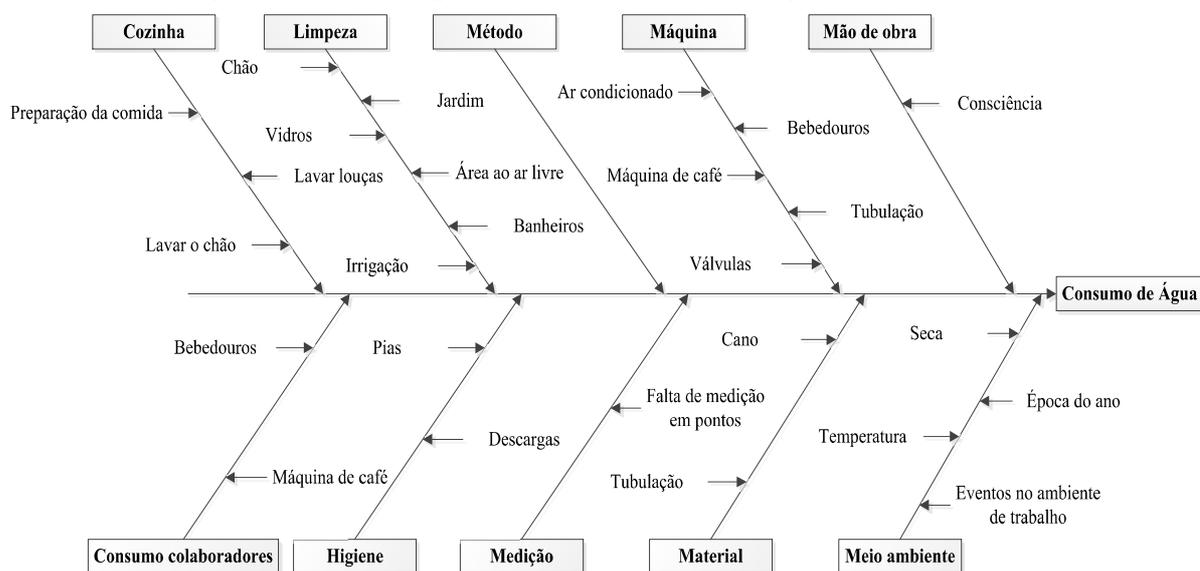
utilizado por poço artesiano. Também, em relação ao objetivo proposto, somente no mês de fevereiro de 2014 conseguiu-se atender. Mas isso é somente um fator de comparação para o que a empresa pretende alcançar.

Com a utilização da metodologia Diagrama de Ishikawa, são identificadas as causas secundárias mediante causas primárias identificadas no diagrama. Estes são apresentados na Figura 28.

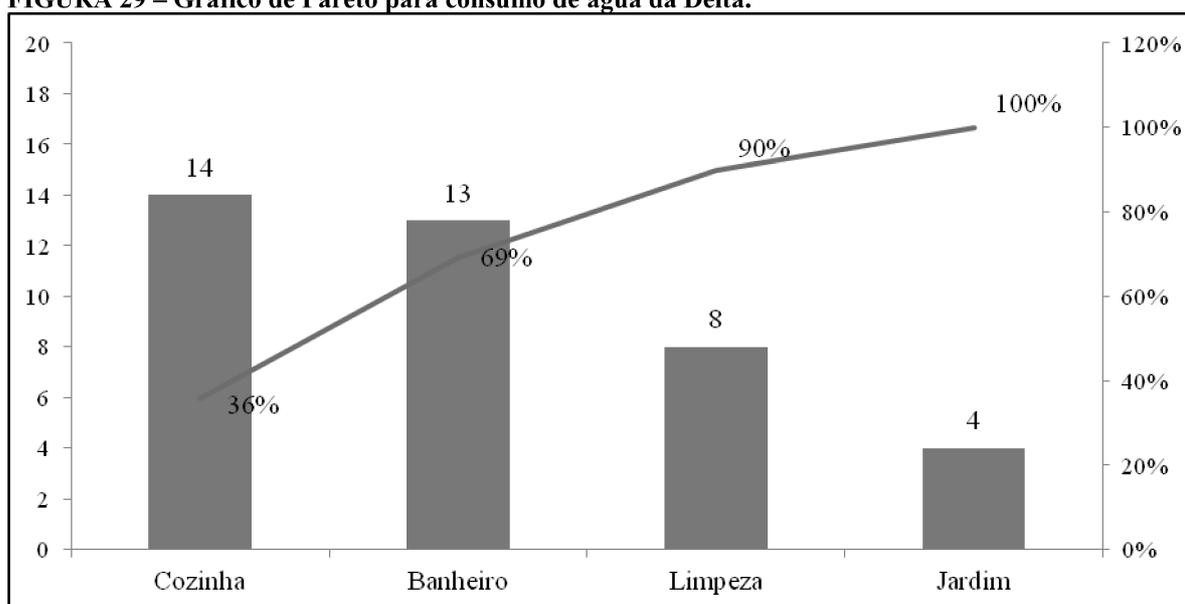
Posterior, é elaborado um Gráfico de Pareto com base nos registros dos dados a serem analisados, apresentado na Figura 29. A unidade de medida dos itens são litros.

A presente situação apresenta o alto consumo de água, sendo média consumida de 0,83 m³ por pessoa; descarte de água do ar condicionado; utilização total de poço artesiano ou tratamento público. Os objetivos para estes serão uma média de consumo de água de 0,63 m³ por pessoa por mês, uma redução de 17% em relação à média consumida; reúso da água da chuva; reúso da água do ar condicionado. A Tabela 6 apresenta detalhadamente os objetivos a serem alcançados como um macro plano de ação.

FIGURA 28 – Diagrama de Ishikawa para redução do consumo de água da Delta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 29 – Gráfico de Pareto para consumo de água da Delta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 6 – Plano de redução do consumo de água da Delta.

Pontos críticos	Medida	Atual	Objetivo	Melhoria
Redução do consumo de água	Litros/pessoa	0,83	0,69	21%
Reuso da água da chuva	Litros	0	0	100%
Reuso da água proveniente do ar condicionado	Litros	0	0	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após traçado o macro plano de ação, também foi delineado ações para melhor alcance dos resultados, sendo:

- Separação de medidas de consumo de água: não existe um controle exato ou preciso do quanto cada prédio, instalação ou atividade consome;
- Verificar a necessidade diária de água para a empresa;
- Melhorar as condições do poço artesiano e abastecimento municipal para volume descartado;
- Verificar o consumo sugerido para cozinha e banheiros;
- Verificar ajustes de água dos banheiros, pias e mictórios;
- Escovar os dentes utilizando dois copos de água;
- Coletar água do ar condicionado por drenos;
- Reunião com uma empresa de sustentabilidade para auxilia nas operações;

- Verificar a possibilidade da recuperação da água do restaurante, separadamente;
- Desenvolver *layout* para redução de água nos banheiros, adesivos com campanhas educativas e colaborativas;
- Verificar o consumo da sala de lavagem do *stencil*: 11.000 litros utilizados por mês, sendo 18 lavagens por dia;
- Checar a possibilidade do uso da água do ar condicionado para lavagem do *stencil*.

Dados foram coletados durante um período de duas semanas. Alguns dos pontos críticos foram sanados mais rápidos outros levaram pouco mais de tempo, grande parte devido sua complexidade de solução. O resultado é apresentado abaixo na Tabela 7 em porcentagem, representando o nível de melhoria em cada aspecto.

TABELA 7 – Nível de melhoria em aspectos para redução do consumo de água.

Aspecto	Melhoria
Redução do consumo de água por pessoal	22%
Escovar os dentes (dois copos por pessoa)	33%
Lavar as mãos (quatro vezes por pessoa)	17%
Descarga nos sanitário (quatro vezes por pessoa)	22%
Ajustar torneiras, vasos sanitários e mictórios	100%
Economia água ar condicionado	100%
Redução de vazamentos de água	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado teve impacto positivo na performance financeira e reduziu o impacto ambiental na melhor utilização da água.

3 Gestão dos resíduos

O processo de montagem de placas eletrônicas é constituído de fases isoladas de produção para obtenção de um produto com qualidade e funcionalidade esperada. Dentre estes são a printagem da placa de circuito impresso, inserção de componentes, soldagem da placa em forno de refusão e teste elétrico. A fase de printagem da placa de circuitos elétricos merece destaque nesta pesquisa mediante a utilização de pasta de solda, material altamente

capaz de agredir o meio ambiente. A pasta de solda tradicional possui chumbo e a pasta de chumbo Lead Free não possui chumbo, mas ambas possuem estanho, prata e cobre.

A máquina utilizada para este processo é a printer, com a utilização de um *stencil* de aço inox. O *stencil* tem desenhos vazados em sua superfície, permitindo a passagem da pasta de solda para a placa de circuito impresso somente para pontos que são necessários para soldagem dos componentes.

A printer é uma máquina que operacionaliza automaticamente, mas com a programação manual. Os postos de trabalho para este equipamento possuem métodos de trabalho padronizados para melhor operação e tempo definido, além de muitos alertas visuais para ações que requerem mais atenção e cuidado. Também, a printer possui dispositivos a prova de erros, ajustando a placa sob o *stencil* com precisão e posteriormente passando o rodo com a pasta de solda sobre o *stencil*. Assim, a máquina utiliza somente o necessário de pasta de solda e também impregna os pontos necessários de soldagem na placa.

Para estocagem e melhor gerenciamento da pasta de solda foi desenvolvida uma máquina robotizada, capaz de armazenar, conservar e dispor do produto para produção. A máquina conserva o produto na temperatura correta. Quando a pasta chega nas dependências da Delta e liberado para armazenamento, o estoquista leva-a até a máquina fazendo a leitura do código de barras do produto, contendo as informações de entrada do material e fabricação, posteriormente deposita em uma abertura lateral da máquina. Automaticamente, um braço mecânico pega a pasta e armazena em um local apropriado. Em seu interior, existe local em formato de colmeias para as pastas, mas não necessariamente requer uma sequência lógica para seguir. O que realmente faz-se importante, é que esta máquina, quando existe a necessidade de utilização da pasta no processo produtivo, ela identifica um cruzamento de dados da técnica *First In First Out* (FIFO) e também o prazo de validade do produto. Desta forma, ocorre uma melhor gestão do produto para conservação e disposição.

Depois que a pasta de solda é requisitada por um operador, é utilizada na máquina printer. Neste posto existem várias fontes de contaminação pela pasta sendo luva, o próprio recipiente da pasta, objetos inerentes da atividade, a placa e o *stencil*.

A luva é utilizada pelo operador para melhor manuseio do produto em operação e contamina-se pelo contato com a pasta de solda. Tudo que desta forma é contaminado tem que ser disposto em local apropriado para que não tenha impacto ambiental. Quando a luva fica em estado ruim para utilização, o operador dirige-se ao almoxarifado de baixo volume para trocá-las. Essas são direcionadas para a Central de resíduos, local dentro da Delta onde são separados os materiais para posterior destino adequado.

Quando acaba a pasta do recipiente, o mesmo é levado para ser requisitado um novo, porém, na maioria das vezes acaba contendo restos de resíduos onde é depositado em um balde. Acaso o operador tenha utilizado totalmente a pasta ele leva diretamente para requisição. Uma ordem de pedido é colocada dentro do recipiente para que um operador responsável pela reposição saiba os dados precisos da operação, como nome do requisitante, quantidade, máquina e linha de produção. Um recipiente novo é buscado no armazenamento exclusivo de pastas e levado para o operador da printer. No armazenamento são reservados os recipientes vazios que são destinados para a Central de resíduos.

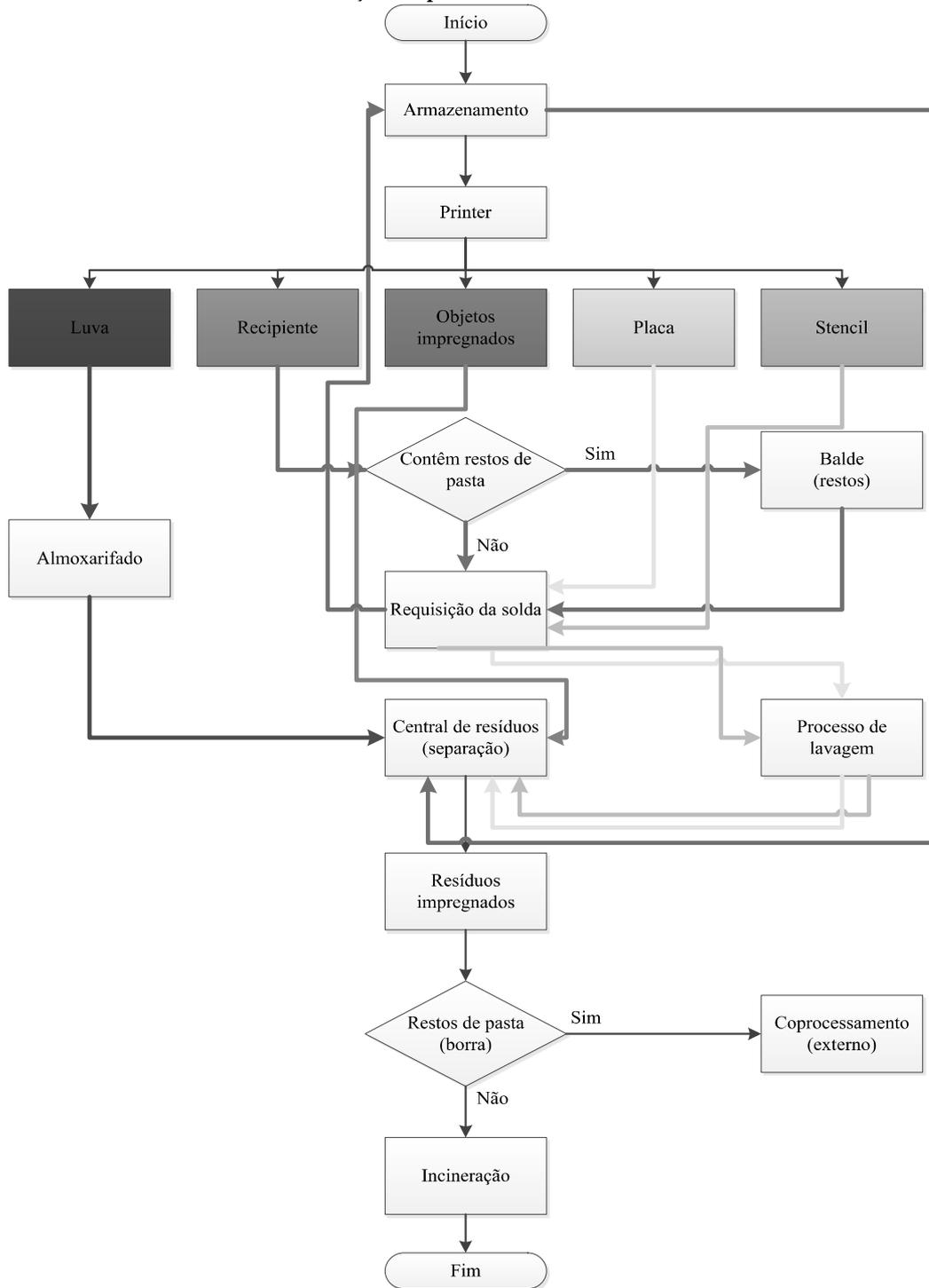
Na operação da printer objetos como tubos, tubetes e panos também são contaminados pela pasta e são depositados em um contenedor para objetos impregnados que se destina a Central de resíduos.

A placa e o *stencil* utilizados na printer são levados para o local de requisição da solda. O mesmo operador que requisita a nova pasta também é responsável pela lavagem da placa e do *stencil*. A placa demora dez minutos para lavar e dez minutos para secar e o *stencil* demora dois minutos e meio para lavar. As máquinas de lavagem possuem reservatórios para a água suja utilizada, onde são depois pelo operador, colocadas em um recipiente próprio levado para a Central de resíduos. Todo o fluxo de contaminação pela pasta de solda é representado na Figura 30.

Todos os materiais que são impregnados pela pasta de solda acabam chegando pelo fluxo na Central de resíduos para melhor separação dos itens para destino. Depois da separação são direcionados para um local apropriado para armazenamento dos resíduos, chamada de Resíduos impregnados. Estes são os resíduos classificados pela ABNT 10004 (2004) como Classe I, resíduos que apresentam algum tipo de periculosidade em função de sua característica física, química ou infectocontagiosa, provocando riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os destinos finais para os resíduos ou materiais impregnados podem ser dois, onde o que é resto de borra é levado para uma empresa externa para coprocessamento e o restante dos materiais são levados para incineração.

FIGURA 30 – Fluxo de contaminação da pasta de solda.



Fonte: Elaborado pelo autor.