

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO

MARIO GILBERTO LUTKEMEYER FILHO

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA AOS PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE EM
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO À LUZ DE ABORDAGENS
ECOEICIENTES E ECOEFETIVAS: UMA APLICAÇÃO NO SETOR
AUTOMOTIVO**

São Leopoldo

2014

MARIO GILBERTO LÜTKEMEYER FILHO

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA AOS PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE EM
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO À LUZ DE ABORDAGENS
ECOEICIENTES E ECOEFETIVAS: UMA APLICAÇÃO NO SETOR
AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Luís Roche Vaccaro
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes

São Leopoldo

2014

L973a Lütkemeyer Filho, Mario Gilberto
Avaliação da aderência aos princípios de sustentabilidade em desenvolvimento de produto à luz de abordagens ecoeficientes e ecoefetivas: uma aplicação no setor automotivo / Mario Gilberto Lütkemeyer Filho– 2014.
171 f. :il. color. ; 30cm.
Dissertação (mestrado em Produção e Sistemas) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós-Graduação em Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2014.
Orientador: Prof. Dr. Guilherme Luís Roehe Vaccaro; Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes.

1. Engenharia de produção. 2. Modelo de maturidade. 3. Sustentabilidade. 4. Produto - Desenvolvimento. 5. Ecoeficiência. 6. Ecoefetividade. 7. Setor automotivo. I. Título. II. Vaccaro, Guilherme Luís Roehe. III. Moraes, Carlos Alberto Mendes.

CDU 658.5

MARIO GILBERTO LÜTKEMEYER FILHO

AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA AOS PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE EM
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO À LUZ DE ABORDAGENS
ECOEFICIENTES E ECOEFETIVAS: UMA APLICAÇÃO NO SETOR AUTOMOTIVO

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção e Sistemas, pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção e Sistemas da Universidade do Vale do
Rio dos Sinos – UNISINOS

Aprovado em: _____ de _____ de 2014.

Banca Examinadora

Orientador: Prof^a. Dr. Guilherme Luís Roehé Vaccaro

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes

Profa. Dra. Miriam Borchardt – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. André Korzenowski - – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Luís Felipe Nascimento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

“Dedico este trabalho à minha família.”

AGRADECIMENTOS

Quando olho para trás e reflito sobre tudo que passou, então paro e penso: Quanta dedicação e esforço para chegar aqui..., as dificuldades que me alimentaram e tornam mais fortes só assim foram por causa de algumas pessoas...

Pessoas especiais merecem ser agraciadas, mesmo com simples palavras.

Para começar, se escrevo, é porque Deus me proporcionou saúde e vontade de chegar a este momento..., tenho sorte de ser agraciado dentre muitos que nada tem. E se tenho a oportunidade que muitos não tem, é um dever de minha parte auxiliar aos que precisam...

Aos meus pais, pela educação e valores transmitidos ao longo da vida. As dificuldades sempre foram superadas com o conforto do lar. O que sou hoje devo à vocês...

Aos meus irmãos Gilvânia e Gabriel, a amizade é algo que nos une e fortalece...

À minha amada Ariane e meu amado filho Arthur, que chegou nos últimos 3 meses de dissertação. Toda a sua compreensão e paciência será recompensada com meu melhor para vocês...

Ao amigo, professor e orientador Guilherme Vaccaro. Você conseguiu fazer com que eu desse o meu melhor de uma forma natural. Sua voluntariedade em ajudar me auxiliou na busca de novas maneiras de pensar e encontrar o meu caminho ao longo da jornada. Aprendi muito com o meu guru e não teria conseguido sem você. Os seus ensinamentos foram inspiradores....

Ao amigo, professor e coorientador Carlos Moraes, desde a época da graduação, sempre contribui com o meu crescimento, és um grande profissional e grande caráter...

Aos colegas Timóteo Stüker, Fábio Murakami, Tiago Schuster e Carlos Trento, com quem tive o prazer de escrever alguns artigos e compartilhar momentos memoráveis e agradáveis ao longo da jornada, aos queridos colegas mestres Iberê Camargo, Ana Paula Viana e a Ana Carolina Francisco, pela parceria de estudos... e aos demais colegas de mestrado...

Ao Professor André Korzenowski, que foi, na minha modesta opinião, uma aquisição acertada do PPGEPS. Sua espirtuosidade é fantástica...

Aos demais professores do PPGEPS e secretaria de Pós-Graduação...

Um especial agradecimento à Eliete Doncato Brasil, pelo auxílio com a formatação do trabalho...

Muito obrigado aos especialistas que contribuíram com sugestões e críticas ao longo da avaliação dos modelos conceituais; aos especialistas que contribuíram com sugestões de melhoria para o questionário e escalas de maturidade, as empresas que contribuíram com o pré-teste e, por fim, aos gestores de desenvolvimento de produtos das montadoras de veículos do Brasil.

Aos amigos, pelos momentos de ausência..., vamos comemorar com muito futebol, churrasco e cerveja...

Ah, não poderia esquecer..., agradeço muito à John Deere Brasil Ltda., ao auxiliar-me com o financiamento parcial dos estudos, principalmente na figura do meu gerente, Joni Thönnigs, cuja importância para a conclusão do Mestrado foi fundamental.

Por fim, os desafios continuam..., esse é o ciclo da vida..., começar e terminar algo é sempre relativo..., assim como na ciência!

RESUMO

O desenvolvimento de produto é um processo de negócio chave que contribui para a competitividade e sustentabilidade econômica de curto prazo das organizações, bem como gera impactos ao longo do ciclo de vida de produtos e processos dessa organização. Com essa percepção, abordagens ecoeficientes (*Ecodesign* e *Design for Sustainability*) e ecoefetivas (*Cradle to Cradle*, *Ecologia Industrial*, *Performance Economy* e *Economia Circular*) podem ser usadas para orientar o desenvolvimento de produtos sustentáveis. Dada a diversidade de conceitos identificados na literatura, esta dissertação propõe um modelo de avaliação de maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produto. O método de pesquisa foi o *Design Research*. Um modelo conceitual foi desenhado a partir da revisão bibliográfica, avaliado por especialistas e possibilitou a construção de um instrumento composto por questionário e escala de maturidade. O modelo de maturidade proposto foi comparado com o modelo de maturidade de Hynds *et al.* (2014), permitindo identificar similaridades e diferenças. Posteriormente, foi aplicado às montadoras brasileiras de veículos de passeio, em função da relevância, complexidade e impactos desse elo da cadeia de produção ao longo do ciclo de vida dos produtos. A aplicação do modelo proposto permite identificar que o setor está focado estritamente no curto prazo, com o viés para as etapas de manufatura e uso do produto. Existem barreiras de ordem estrutural (leis e políticas públicas, educação do consumidor) que desestimulam essas organizações a investirem em direção ao desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

Palavras-chave: Modelo de maturidade. Sustentabilidade. Desenvolvimento de produtos. Ecoeficiência. Ecoefetividade. Setor automotivo.

ABSTRACT

Product development is a key business process that contributes to the organization's competitiveness and short-term economic sustainability, as well as generates impacts along the life cycle of products and processes from that organization. Under this perspective, ecoefficient approaches (Ecodesign and Design for Sustainability) and ecoeffective approaches (Cradle to Cradle, Industrial Ecology, Economy and Circular Economy Performance) may be used to guide the sustainable development of products. Given the diversity of concepts identified in the literature, this dissertation proposes a model for accessing the organizational maturity level on sustainable development of products. The method used was Design Research. A conceptual model was drawn from the literature review, and assessed by experts, leading to the construction of an instrument composed by a questionnaire and a maturity scale. The proposed maturity model was compared to the maturity model of Hynds et al. (2014), allowing to identify both similarities and differences. It was subsequently applied on Brazilian light vehicles automakers, due to the relevance, complexity and impact of this production link along the life cycle of products. The application of the proposed model allows identifying that the industry is focused strictly on a short term perspective, more specifically on the stages of manufacture and use of the product. There are structural barriers (laws and policies, consumer education) that discourage these organizations to invest into the development of sustainable products.

Keywords: Maturity model. Sustainability. Product Development. Ecoefficiency. Ecoeffectiveness. Automotive sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Círculos da sustentabilidade	16
Figura 2 - Discussões taxonômicas entre ecoeficiência e ecoefetividade no DP	19
Figura 3 - Estrutura do trabalho.....	30
Figura 4 - Método de pesquisa	34
Figura 5 – Delineamento do método de pesquisa.....	35
Figura 6 - Método de trabalho	37
Figura 7 – Mapa de influências	50
Figura 8 - Método de pesquisa	66
Figura 9 - Passos para construção e validação do processo	97
Figura 10 - Modelo pictorial.....	101
Figura 11 - Marcas de automóveis instaladas no Brasil	110
Figura 12 - Nível maturidade – orientação estratégica.....	121
Figura 13 - Nível maturidade – <i>design</i>	125
Figura 14 - Nível maturidade – processo de desenvolvimento	130
Figura 15 - Nível maturidade – aspectos socioambientais	133
Figura 16 - Nível maturidade – resultado.....	135
Figura 17 - Nível maturidade geral – dimensões do modelo.....	137
Figura 18 - Nível de maturidade geral das montadoras.....	141
Figura 19 - Mapa mental – <i>insights</i> da pesquisa	147
Figura 20 - Relação entre o curto prazo versus longo prazo	148

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Bases e periódicos pesquisados.....	22
Quadro 2 - Quadro conceitual comparativo entre as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas .	73
Quadro 3 - Características distintas entre ecoeficiência e ecoefetividade.....	78
Quadro 4 - As 10 regras de ouro	91
Quadro 5 - Tipologia da ecologia industrial.....	92
Quadro 6 - Modelos de maturidade	102
Quadro 7 - Estágios de sustentabilidade organizacional	102
Quadro 8 - Matriz comparativa entre os modelos de maturidade de Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014) e Hynds <i>et. al</i> (2014).....	104
Quadro 9 - Modelo conceitual	113
Quadro 10 - Conjunto de proposições	114
Quadro 11 - Elementos identificados nas entrevistas - orientação estratégica.....	115
Quadro 12 - Elementos identificados nas entrevistas - <i>design</i>	122
Quadro 13- Elementos identificados nas entrevistas - processo de desenvolvimento.....	126
Quadro 14 - Elementos identificados nas entrevistas - aspectos socioambientais	131
Quadro 15 - Elementos identificados nas entrevistas - resultado	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de dados pesquisados e trabalhos relevantes	23
Tabela 2 - Resultados quantitativos.....	139

LISTA DE SIGLAS

ACV	Análise de ciclo de vida
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
C2C	<i>Cradle to Cradle</i>
CNI	Conferência Nacional da Indústria
DfE	<i>Design for Environment</i>
DfS	<i>Design for Sustainability</i>
EC	Economia Circular
EI	Ecologia Industrial
FENABRAVE	Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
PE	<i>Performance Economy</i>
SEI	<i>Software Engineering Institute</i>
UN	<i>United Nations</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNEPFI	<i>United Nations Environment Programme Finance Initiative</i>
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2 OBJETIVOS	21
1.2.1 Objetivo Geral	21
1.2.2 Objetivos Específicos	21
1.3 JUSTIFICATIVA	22
1.4 DELIMITAÇÃO	26
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2 METODOLOGIA.....	32
2.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	32
2.2 MÉTODO DE TRABALHO	36
2.2.1 Fase I – Consciência do Problema	36
2.2.2 Fase I – Proposta de Artefato - Ciclo 1 / Ciclo 2.....	36
2.2.3 Fase II - Desenvolvimento do Artefato – Ciclo 1 / Ciclo 2	39
2.2.4 Fase III – Estudo de Campo – Ciclo 1	41
3 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 1.....	42
3.1 INTRODUÇÃO.....	42
3.2 ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE	44
3.3 ANTECEDENTES DA FORMACAO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE	46
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
4 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 2.....	52
4.1 INTRODUÇÃO.....	52
4.2 ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE NA PERSPECTIVA DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	56
4.3 ABORDAGENS ECOEFICIENTES	58
4.3.1 Design for Sustainability (DfS).....	58
4.3.2 Ecodesign.....	59
4.4 ABORDAGENS ECOEFETIVAS	60
4.4.1 Cradle to Cradle (C2C).....	61
4.4.2 Ecologia Industrial	62
4.4.3 Performance Economy	63

4.4.4 Economia Circular	64
4.5 MÉTODO DE PESQUISA.....	65
4.6 MODELO CONCEITUAL PROPOSTO PARA SUSTENTABILIDADE EM DP	67
4.6.1 Planejamento	67
4.6.2 Processos	68
4.6.3 Material	69
4.6.4 Responsabilidade Social	70
4.6.5 Aspecto Ambiental	71
4.6.6 Aspecto Econômico	72
4.7 DISCUSSÃO	74
4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
5 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 3	81
5.1 INTRODUÇÃO.....	81
5.2 SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO PRODUTOS	84
5.2.1 Orientação Estratégica	86
5.2.2 Design	87
5.2.3 Processo de Desenvolvimento	89
5.2.4 Aspectos Socioambientais	93
5.2.5 Resultado	95
5.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	97
5.4 RESULTADOS E ANÁLISE.....	99
5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
6 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 4	107
6.1 INTRODUÇÃO.....	107
6.2 O SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO	109
6.3 MODELO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE NO USO DE SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	112
6.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	114
6.5 RESULTADOS	115
6.5.1 Dimensão Orientação Estratégica	115
6.5.2 Dimensão Design	122
6.5.3 Dimensão Processo de Desenvolvimento	126
6.5.4 Dimensão Aspectos Socioambientais	130
6.5.5 Resultado	134

6.5.6 Análise Agregada da Maturidade	136
6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
7 CONCLUSÃO.....	145
7.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	149
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	150
REFERÊNCIAS	151
APÊNDICE A - LISTA DE ESPECIALISTAS.....	165
APÊNDICE B - LISTA DE ESPECIALISTAS - AVALIADORES DO QUESTIONÁRIO E ESCALA DE MEDIÇÃO	166
APÊNDICE C - LISTA DOS ENTREVISTADOS DAS MONTADORAS	167
APÊNDICE D – DIMENSÕES E CONSTRUCTOS PARA A AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE EM SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	168
APÊNDICE E - QUESTIONÁRIO.....	169
APÊNDICE F – QUESTÕES DE APOIO.....	170
APÊNDICE G – SCALA DE MATURIDADE E MATRIZ CONCEITUAL DE MATURIDADE EM SUSTENTABILIDADE (MCMS)	171

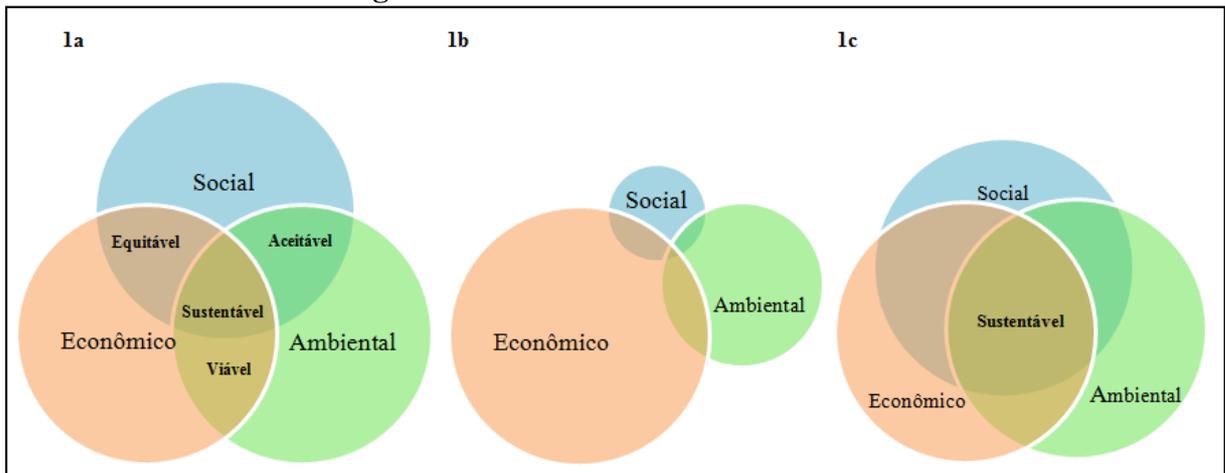
1 INTRODUÇÃO

Qualquer atividade antropogênica causa impactos e desequilíbrio ao meio ambiente. Sistemas industriais incluem-se nessa avaliação, pois uma parcela desse impacto é oriunda do ciclo de vida de produtos manufaturados. (KIPERSTOOK *et al.*, 2002; FIKSEL, 2009). Sistemas naturais e industriais podem configurar uma relação harmoniosa, diferentemente do padrão de produção e consumo da era industrial, caso os processos e produtos sejam desenhados para gerar impactos dentro dos limites de absorção dos ecossistemas. (FIKSEL, 2009; UNEP, 2011).

Ao longo do tempo, nações e companhias dedicaram esforços para produzir e lucrar, sem considerar os impactos aos ecossistemas da biosfera. (COMMONER, 1971; SPANGERBERG; FUAD-LUKE; BLINCOE, 2010). No âmbito cultural de uma sociedade que se desenvolveu pela trilha industrial, o bem-estar social significou aumento da disponibilidade de produtos, os quais foram convertidos em progresso e fluxo de materiais e energia na economia. (MANZINI; VEZOLLI, 2008).

Em função da preocupação sobre o rumo prevaemente das atividades econômicas, o Relatório de Brundtland (*Our Common Future*) foi publicado em 1987. Segundo o documento, sustentabilidade significa atender as necessidades do presente sem comprometer as habilidades das futuras gerações em atender suas próprias necessidades. (WCED, 1987). Essa definição está conectada com os aspectos ambiental, econômico e social de modo integrado, também conhecido como *Triple Bottom Line* (TBL) ou tripé da sustentabilidade (ELKINGTON, 1997; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008).

O conceito de sustentabilidade é representado por três dimensões (social, ambiental e econômica) como ilustra a Figura 1. O intuito é retratar como as organizações percebem o TBL, sob o prisma de três situações: (1a) a sustentabilidade, sob o ponto de vista teórico; (1b) como é praticada no contexto das organizações, com o foco no curto prazo; e (1c) equilibrado e com uma área de maior integração dos três aspectos. A situação a qual se almeja alcançar em termos de desenvolvimento sustentável é ilustrada pelos diagramas de Venn na Figura 1c, pois demonstra coesão entre os três aspectos e visão de longo prazo. (ELKINGTON, 1997; UNEP, 2007; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008).

Figura 1 - Círculos da sustentabilidade

Fonte: Adaptado de Elkington (1997) e UNEP (2007).

Argumenta-se que a visão tradicional das estratégias organizacionais prioriza os interesses econômicos, ou visão de curto prazo, desfavoráveis ao contexto de sustentabilidade. (CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008). No contexto global e empresarial, produzir e manter os modelos de negócio conforme padrão atual não contribui para um cenário de sustentabilidade. (BOCKEN *et al.*, 2014). Esse fato implica na demanda por produtos e processos sustentáveis advindo das legislações ambientais rigorosas e pressão de atores externos sobre as organizações. (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2007; NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009).

Essa pressão para alterar o padrão de condução dos negócios torna-se mais rigorosa à medida que a pegada ecológica indica o consumo de aproximadamente 1.5 planetas Terra para manter as atividades antropogênicas em funcionamento. (WWF, 2012). Os monitoramentos da *European Commission* (EU) (2013) indicam elementos que atestam a previsão de escassez de recursos naturais, a saber: (i) o consumo de materiais continua em ascendência; (ii) mais carros nas cidades e estradas são evidenciados; e (iii) melhorias na gestão de resíduos, mas com aumento no volume gerado.

Como consequência, os desafios das organizações consistem em atender ou antecipar as normas legais estabelecidas, reduzir a demanda de recursos naturais e manterem-se competitivas num mercado dinâmico e competitivo. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995b; BOCKEN *et al.*, 2014). Nesse contexto, é relevante que as empresas, atores sociais, incluam considerações ambientais e sociais como parte inclusiva do critério de decisão de suas estratégias, no sentido de apoiar a transição para uma sociedade sustentável. (MANZINI; VEZOLLI, 2008; PETALA *et al.*, 2010; GMEULIN; SEURING, 2014).

Contudo, muito há de ser feito para alcançar o estado de sustentabilidade ilustrado. Porter e Van der Linde (1995a) afirmam que o crescimento econômico é uma questão paradigmática à competitividade para as empresas, ocasionando uma “queda de braço” com os aspectos regulatórios, os quais são indutores de inovação e competitividade. Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009) afirmam que sustentabilidade é uma fonte estimulante de receitas e inovação para as organizações e amparam resultados econômicos positivos. Complementam afirmando que a redução dos desperdícios dos recursos nos processos de negócio reduz custos e aumenta a rentabilidade.

Para reforçar o panorama de contribuição para um futuro sustentável, é salutar para as organizações a adoção de uma perspectiva holística no *design* e desenvolvimento do produto, a fim de estabelecer os contornos necessários para os sistemas industriais trabalhem em sintonia com os sistemas naturais. (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Em outras palavras, contemplar os impactos do produto ao longo do ciclo de vida no negócio, como meio de assegurar o equilíbrio ambiental, econômico e social.

Esta pesquisa está inserida neste contexto.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O paradigma atual das organizações consiste em produzir e comercializar produtos conforme a lógica de extrair, transformar, produzir, utilizar e dispor. (MCDONOUGH *et al.*, 2003; FIKSEL, 2009; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). Segundo a UNEP (2011), projeções futuras indicam incompatibilidade entre os níveis de produção e consumo e disponibilidade de recursos naturais para as próximas gerações, compactuando com a trajetória insustentável da sociedade vigente.

As economias globais consomem materiais na ordem de 58 bilhões de toneladas anuais, medidos de acordo com os princípios do fluxo de materiais (*Material Flow Accounting* – MFA). (KRAUSMANN *et al.*, 2009; UNEP, 2011). A previsão de consumo para 2020 é de aproximadamente 100 bilhões de toneladas de materiais. (BLEISCHWITZ, 2010). Portanto, conduzir negócios conforme o padrão contemporâneo em nada contribui para contornar os limites ambientais. (UNEP, 2011; WWF, 2012; ORDOÑES E RAHE, 2013).

Em função dos cenários pessimistas, o tema sustentabilidade emerge com relevância, adentra e estimula novas práticas de gestão e descortina oportunidades a serem desdobradas em processos de negócio. A sustentabilidade nos negócios consiste em desenhar conexões e formas inovadoras de adicionar valor à organização, ao cliente e, em sintonia com o meio

ambiente. (BOCKEN *et al.*, 2014). Porém, o tema é considerado complexo e de difícil entendimento e tradução em ações táticas organizacionais.

Um dos elementos motivadores para as organizações tornarem-se sustentáveis são as leis e regulamentações, as quais visam criar mecanismos de controle de poluição e impactos ambientais das atividades econômicas. No Brasil, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei N° 12.305/10 estabelece as bases de implantação de dispositivos de ação com os atores envolvidos. O instrumento apresenta objetivos e princípios relacionados ao desenvolvimento sustentável, responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, o princípio do poluidor-pagador e protetor-recebedor e compatibilizar produtos e serviços de acordo com a capacidade de absorção do planeta. (BRASIL, 2010).

Outro elemento consiste em dar visibilidade às organizações sobre o nível de adoção das práticas sustentáveis. Compreender esse aspecto pode ser relevante para a identificação dos desperdícios e oportunidades de negócio. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007).

Neste trabalho, processo de negócio é representado pelo desenvolvimento de produto (DP). O DP é composto por uma série de atividades interdisciplinares, com o objetivo de conceber, projetar e comercializar um produto. De modo geral, inicia com uma oportunidade de negócio e termina com o produto entregue nas mãos dos clientes. (ULRICHT; EPPINGER, 2008; ROZENFELD *et al.*, 2010).

Incorporar DP e sustentabilidade acentua os desafios às organizações, pois os aspectos ambientais e sociais são normalmente negligenciados. (GMEULIN; SEURING, 2014). Em termos práticos, há um longo caminho a ser percorrido para que a compreensão e ações para atingi-la suplantem fatores limitantes (políticas, regulamentações, modelos mentais, estratégias, processos organizacionais). (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2007).

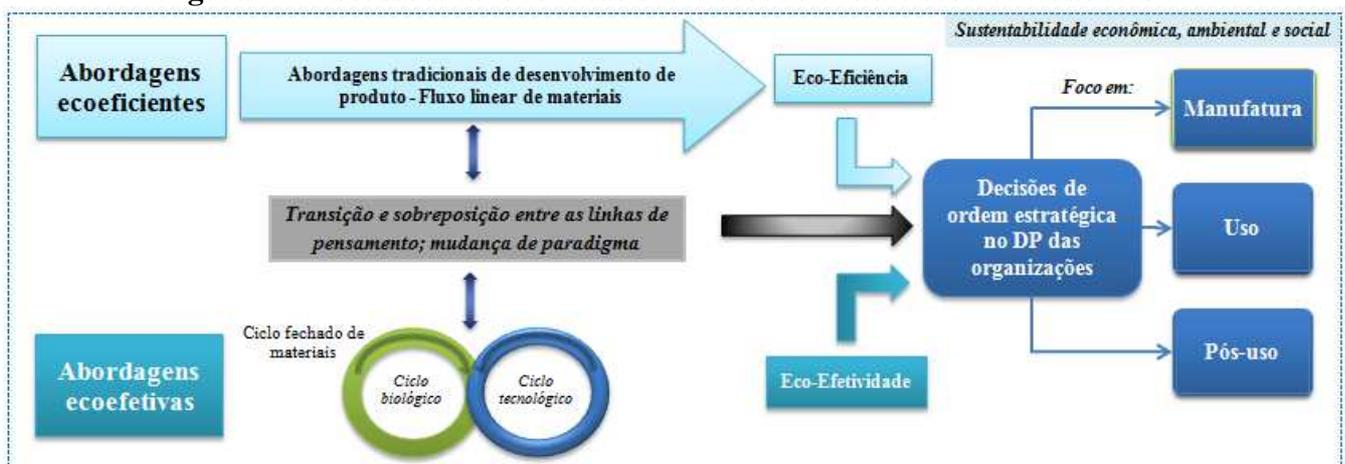
Apesar das diretrizes legais estabelecidas, pressão e expectativas dos *stakeholders*, as organizações tendem a buscar resultados econômicos no curto prazo. (KARLSSON; LUTTROPP, 2006; STAHEL, 2006; SHORT *et al.*, 2012). Com isso, compromete-se a busca por negócios sustentáveis, principalmente ao assumir-se que melhorias ambientais incrementais são percebidas como sustentáveis. Negligencia-se o estímulo de uma visão holística a partir das perdas ao longo do ciclo de vida, em função dos altos custos para reincorporar materiais no ciclo produtivo. (MANZINI; VEZOLLI, 2008).

Entretanto, a visão de sustentabilidade está assentada no longo prazo. Logo, para converter o debate científico em ação, há de ser superado o paradigma do curto prazo. Segundo Kuhn (1962), o período de transição entre um velho e um novo paradigma jamais

será realizado com base nos preceitos dos velhos dogmas. No entanto, durante algum tempo pode haver a percepção de que os problemas podem ser resolvidos tanto pelo antigo quanto pelo novo paradigma. Esse é um prelúdio à introdução de novos modelos mentais, principalmente quando o resultado decorrente das teorias anteriores apresenta-se como insuficiente para a solução dos problemas.

Debater sustentabilidade a partir da ótica do DP pode ser avaliado sob as seguintes perspectivas: ecoeficiência e ecoefetividade. Ecoeficiência está associada com a visão de curto prazo. (BJORN; HAUSCHILD, 2012) e processos internos. (ABUKHADER, 2007). O conceito de ecoeficiência relaciona-se a filosofias de gestão que objetivam reduzir a intensidade do uso de recursos e melhorar o desempenho ambiental ao longo do ciclo de vida (WBCSD, 2000; DYLLICK; HOCKERTS, 2002) e relacionada com o termo berço ao túmulo (*cradle-to-grave*). (HUNT; SELLERS; FRANKLIN, 1992; MONT; BLEISCHWITZ, 2007). A ecoefetividade é apontada por abranger a visão de sistemas (ABUKHADER, 2007) e foco no longo prazo. (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). O conceito de ecoefetividade consiste em manter materiais em ciclos fechados, similar aos processos sintetizado pela natureza. (FROSC; GALLOPOULOS, 1989). É associada a abordagens do tipo berço ao berço. (*cradle-to-cradle*). (BYGGETH; BROMAN; ROBÈRT, 2006; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). A discussão taxonômica sobre ecoeficiência e ecoefetividade, na visão do DP, é ilustrada pela Figura 2.

Figura 2 - Discussões taxonômicas entre ecoeficiência e ecoefetividade no DP



Fonte: O autor (2014).

As abordagens ecoeficientes, para os fins deste trabalho abrangem o *Ecodesign* e o *Design for Sustainability* (DfS). *Ecodesign* é um conceito que contempla as considerações

ambientais e econômicas no desenvolvimento de um produto. A principal ferramenta utilizada dentro desse conceito é a ACV (Análise de Ciclo de Vida), empregada na avaliação dos impactos ambientais decorrentes do processo de extração da matéria-prima até sua disposição final (KARLSSON; LUTTROPP, 2006; BORCHARDT *et al.*, 2011; PLOUFFE *et al.*, 2011; SHORT *et al.*, 2012). O DfS refere-se à incorporação de objetivos de sustentabilidade no desenvolvimento do projeto, é mais abrangente que o *Ecodesign*, o aspecto social, além de buscar endereçar as relações entre produção e consumo em conjunto com as inovações de produto. (SPANGERBERG; FUAD-LUKE; BLINCOE, 2010; CRUL; DIEHL, 2006).

As abordagens ecoefetivas estão categorizadas em *Cradle to Cradle* (C2C), Economia Circular (EC), Ecologia Industrial (EI) e *Performance Economy* (PE). O objetivo destas abordagens, em linhas gerais, é o de manter os fluxos de materiais em ciclos fechados. Uma interpretação do conceito seminal empregado para o desenvolvimento advém de Frosch e Gallopoulos (1989), ao considerar que os sistemas industriais devem trabalhar em sintonia para manter os materiais em sistemas fechados, assim como os ecossistemas.

Portanto, para mudar o rumo estratégico dos negócios é importante compreender em que estado de maturidade estão e em que direção seguem os processos de negócio. Bocken *et al.* (2014) citam que a visão sob o prisma do firma (infere-se ecoeficiência) ou nível de sistemas (infere-se ecoefetividade) são fundamentais para agregar valor aos negócios e clientes. Os mesmos autores mencionam que para lidar com os desafios da sustentabilidade as organizações precisam introduzir mudanças nos negócios chave ao invés de remediar os efeitos dos mesmos. Nesse sentido, identificar se as organizações tendem aos processos ecoeficientes ou ecoefetivos auxilia na compreensão do nível de maturidade dos negócios. A aplicação de instrumentos de avaliação do nível de maturidade em sustentabilidade em DP visando modelos sustentáveis de negócios, no entanto, é ainda escassa sob o ponto de vista acadêmico.

Em particular, dentre os diversos campos de aplicação e análise da problemática anteriormente exposta, encontra-se o setor automotivo. Esse setor se apresenta como um demandante considerável de minérios (aço, alumínio e ferro, por exemplo) e recursos não renováveis (petróleo), entre outros. Representa 3,5% do PIB mundial (MARKET REALIST, 2014) e 5,2% do PIB brasileiro, com tendência crescente (ANFAVEA, 2013). Com o mercado em franca expansão, segundo a ANFAVEA (2013), estima-se uma elevação de 2,6 milhões de veículos fabricados em 2012 para 6,3 milhões em 2020. E, dado esse cenário, advêm questões relativas aos impactos e aspectos associados à sustentabilidade promovidos pelos elos dessa cadeia. Esse fato é agravado pela taxa de reciclagem de veículos do Brasil, que circunda

apenas 1,5% da frota (APROVADA..., 2013), representada pelo montante aproximado de 30 milhões de veículos (ANFAVEA, 2013). Por outro lado, declarações da ANFAVEA (MOBILIDADE E SUSTENTABILIDADE, 2012) indicam um elevado grau de maturidade em termos de desenvolvimento de produtos sustentáveis na indústria automotiva brasileira. Dada a centralidade do elo montadoras em termos de DP e dos impactos em termos de sustentabilidade oriundos das decisões tomadas nesse processo, torna-se relevante identificar o grau de maturidade que elos centrais dessa cadeia, em especial, as montadoras, apresentam.

Enfim, dada a problemática e contexto apresentados, e considerando a necessidade de amadurecer os conceitos e perspectivas apontadas, o presente trabalho se propõe a responder à seguinte questão:

Qual o nível de maturidade com relação ao uso dos princípios de sustentabilidade preconizados pelas abordagens de ecoeficientes e ecoefetivas no desenvolvimento de produtos?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Mensurar o nível de aderência aos princípios de sustentabilidade preconizados pelas abordagens ecoeficientes e ecoefetivas no desenvolvimento de produtos.

1.2.2 Objetivos Específicos

A fim de sustentar o objetivo geral, elenca-se abaixo os objetivos específicos:

- a) propor um modelo conceitual que incorpore os princípios de sustentabilidade associados às abordagens ecoeficientes e ecoefetivas aplicadas em desenvolvimento de produtos;
- b) propor um modelo instrumental (questionário + escala) para avaliação o nível de maturidade aos princípios de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos;
- c) aplicar o instrumento proposto no contexto de montadoras de veículos leves com desenvolvimento e produção no Brasil, no intuito de avaliar os pontos de maior aderência e discutir os resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Essa pesquisa está enquadrada conforme as seguintes grandes áreas de concentração, conforme a ABEPRO (2014): (i) Engenharia do Produto; (ii) Engenharia de Operações e Processos de Produção e, (iii) Engenharia da Sustentabilidade.

Recentemente, a academia tem dedicado atenção ao tema sustentabilidade, porém, conforme ressalta Manzini e Vezolli (2008), a transição da sociedade contemporânea, saturada por materiais, para uma sociedade sustentável, composta por conhecimentos e serviços, depende da compreensão do significado real de sustentabilidade. Para isso, os atores sociais, dentre eles as organizações, devem assumir o papel e o compromisso para a mudança radical nos padrões de comportamento da produção e consumo, a partir do *design*.

Em nível acadêmico, a utilização do modelo proposto reduz o hiato entre a condução de pesquisas de cunho teórico e prático. Sob o ponto de vista teórico, observa-se que a literatura carece de trabalhos que conduzam discussões entre ecoeficiência e ecoefetividade no DP. Sob o ponto de vista prático, há a necessidade de conhecer o nível de maturidade com o uso de sustentabilidade no DP. Sob esse prisma, buscou-se, tanto em nível nacional quanto internacional identificar trabalhos na área de desenvolvimento de produto e sustentabilidade, a partir do acesso às bases de dados e periódicos, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Bases e periódicos pesquisados

Abrangência	Base de Dados
Nacional	BDTD - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
	Biblioteca Digital Rede de Tecnologias Limpas - Teclim - Universidade Federal da Bahia
	Biblioteca Digital de Teses e Dissertações - Universidade de São Paulo
	Portal de Periódicos, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes
	Scielo - <i>Scientific Electronic Library Online</i>
	SIBI - Sistema Integrado de Bibliotecas Universidade de São Paulo
Internacional	DART Europe
	EBSCO Host (<i>Academic Search Complete, Academic Search Premier, Business Source Complete, Environment Complete, Green</i>)
	Elsevier
	Engineering Village

Fonte: O autor (2014).

Para disparar o mecanismo de busca, determinou-se as palavras chaves utilizadas na revisão sistemática da literatura, conforme ilustra a Tabela 1. O critério determinado foi composto pela palavra chave central (PCC), seguido por palavras chave de associação (PCA).

A palavra chave de associação sempre foi pareada com a palavra chave central, uma a uma. Por fim, utilizou-se como critério de seleção os termos “desenvolvimento de produtos sustentáveis” e “modelo de maturidade”. Salienta-se que os critérios de busca sempre abrangeram as línguas Portuguesa e Inglesa, com abrangência nacional e internacional. O período escolhido para a busca nas bases e periódicos data de 2000 até 2014. A pesquisa foi realizada entre janeiro de 2013 e março de 2014.

Tabela 1 - Fontes de dados pesquisados e trabalhos relevantes

Abrangência	Palavra chave central (PCC)	Palavras chave de associação (PCA)	Relevantes
Nacional	Desenvolvimento de Produtos e	Sustentabilidade	1
		Desenvolvimento Sustentável	1
		Eco-eficiência	
		Eco-efetividade	1
Internacional	Product Development and	Sustainability	7
		Sustainable Development	6
		Eco-efficiency	1
		Eco-effectiveness	1
Internacional	Sustainable Product Development and	Maturity Model	1
		<i>Total Nacional</i>	3
		<i>Total Internacional</i>	16
		<i>Total Geral</i>	19

Fonte: O autor (2014).

Dentre os trabalhos relevantes identificados, destacam-se em nível nacional:

- a) De Jacques (2011) apresentou uma tese de doutorado cuja proposta está associada com o desenvolvimento sustentável na indústria calçadista a partir da abordagem berço ao berço, avaliada em um estudo de caso;
- b) Marx e Paula (2011) revelou, em um estudo exploratório, uma proposta de gestão de requisitos como subsídio do desenvolvimento sustentável ao desenvolvimento de novos produtos, no sentido de assegurar o atendimento aos aspectos econômico, social e ambiental;
- c) Saavedra (2010) propôs, em sua dissertação de mestrado, um estudo sobre as práticas de fim de vida dos produtos, determinadas a partir da ótica do desenvolvimento de produtos.

Em nível internacional:

- a) Byggeth e Hochschorner (2006) analisaram 15 ferramentas de *Ecodesign* para suportar o desenvolvimento de produtos e avaliaram se as mesmas apoiam o desenvolvimento de um framework para o processo decisório das organizações;
- b) Luttrupp e Lagerstedt (2006) apresentaram as dez regras de ouro, a fim de facilitar a integração das demandas ambientais no desenvolvimento de produtos;
- c) Karlsson and Luttrupp (2006) apresentaram uma discussão a partir dos elementos contextuais econômicos, de desenvolvimento e crescimento populacional, a fim de buscar identificar formas de alcançar o desenvolvimento sustentável a partir do emprego do *Ecodesign* como solução dos problemas existentes;
- d) Braungart, McDonough e Bollinger (2007) apresentaram uma discussão sobre a abordagem *cradle to cradle* (C2C), como forma de garantir a transição de um sistema industrial que causa impactos negativos ao meio ambiente e com foco no curto prazo, para um sistema industrial com relacionamento estável com o meio ambiente e foco no longo prazo;
- e) Byggeth, Broman e Robèrt (2007) propuseram um método para integrar os aspectos econômicos, sociais e ambientais no desenvolvimento de produtos a partir da perspectiva estratégica de negócios. O método é baseado na perspectiva do ciclo de vida e é composta por questões modulares.
- f) Waage (2007) propôs um “*roadmap*”, a partir da relação entre as ferramentas de sustentabilidade, estratégicas e ações existentes, com o intuito de integrar sustentabilidade nas decisões do projeto de produto;
- g) Gehin, Zwolinski e Brissaud (2008) avaliaram a influência da legislação europeia, relativa ao fim de vida dos produtos, na definição da incorporação de estratégias do fim de vida de produtos eletroeletrônicos, a partir da ótica do reusar, reciclar e remanufaturar;
- h) Hallstedt *et al.* (2010) exploraram um método no intuito de avaliar o processo decisório e a comunicação entre os níveis estratégicos e o desenvolvimento de produto;
- i) Spangenberg, Fuad-Luke e Blincoe (2010) descreveram um framework desenvolvido a partir do método DEEDS (*Design Education and Sustainability*), no sentido de avaliar as dificuldades encontradas na pesquisa sobre as relações de sustentabilidade entre produção e consumo;

- j) Bovea e Pérez-Belis (2012) avaliaram e classificaram o uso das ferramentas de *Ecodesign* no sentido de incorporar os requisitos ambientais no desenvolvimento de produtos;
- k) Gokan, Taisch e Kerga (2012) desenvolveram um *survey* qualitativo para avaliar a sustentabilidade em desenvolvimento de novos produtos, no setor automotivo, com foco no aspecto ambiental;
- l) Short *et al.* (2012) apresentaram uma discussão relativa ao processo de aprendizado sobre o estudo comparativo entre as empresas do Reino Unido e Suécia, no que tange à adoção de práticas sustentáveis na manufatura, a partir da ótica do *Ecodesign*;
- m) Bocken *et al.* (2014) apresentaram a idealização de um modelo de negócios que descreve os mecanismos e soluções para contribuir com a sustentabilidade em pesquisa de ordem teórica e aplicação prática;
- n) Gmelin e Seuring (2014) propuseam um framework conceitual para o desenvolvimento de produto sustentáveis a partir da ótica da gestão do ciclo de vida;
- o) Hynds *et al.* (2014) desenvolveram um modelo de maturidade para avaliar e conduzir pesquisa e desenvolvimento de produtos e serviços sustentáveis em organizações, com o foco em rentabilidade e crescimento.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a literatura sobre sustentabilidade e DP apresenta oportunidades de pesquisa teórica e aplicação de cunho prático. As discussões atuais, embora relevantes, dão margem para a introdução de novas contribuições acadêmicas, e, particularmente, de oportunidades de discutir o impacto no DP sob o aspecto social, econômico e ambiental. Uma lacuna similar foi sugerida por Ambec e Lanoie (2008), no sentido de comparar o impacto do desempenho social versus o resultado econômico. O trabalho de Hynds *et al.* (2014) reforça a relevância do tema frente à limitada disponibilidade de publicações científicas que tratem de sustentabilidade, DP e modelos de maturidade. Esse olhar, portanto, mostra-se relevante para aplicação no meio empresarial, pois pode contribuir com o desdobramento de ações e estratégias de negócios. (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002; WAAGE, 2007; GHADIMI *et al.*, 2012).

Outro motivador para realização da pesquisa sustenta-se nos esforços em comunicar os resultados obtidos para a comunidade acadêmica. Nesse sentido, o trabalho permite o enquadramento dos artigos 1 e 2 conforme escopo editorial dos periódicos científicos, tais como o *Journal of Cleaner Production* (Fator de Impacto = 3,398); *Environmental Science*

and Technology (Fator de Impacto = 5, 257) e World Journal of Science, Technology and Sustainable Development e o International Journal of Production Economics (Fator de Impacto = 2,081), entre outros. O processo de formação moral e intelectual proporcionados num mestrado acadêmico requer a experimentação do processo de submissão dos resultados científicos, etapas que contribuem tanto para o mestrando como demonstra o mérito do corpo docente do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.

Para o meio empresarial, a pesquisa permite instrumentar uma forma de avaliar o nível de conhecimento dos conceitos de sustentabilidade no DP. A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) veiculou em revista impressa que sustentabilidade está plenamente incorporada nas estratégias do setor e nos diversos níveis organizacionais. E salientou a utilização de tecnologias e processos que reduzem o consumo de matérias-primas. (MOBILIDADE E SUSTENTABILIDADE, 2012). A afirmação acima precisou ser examinada no sentido de dirimir as inquietações do autor e auferir se visão empregada no segmento é de curto ou longo prazo.

Outro argumento para justificar o porquê da aplicação do setor aponta para o progressivo crescimento da produção de veículos nos últimos anos, atingindo 3,8 milhões de unidades produzidas em 2012. Estimativas projetam a fabricação de 6,3 milhões de unidades em 2020, além da previsão da ordem de um carro para cada três habitantes após 2020. Logo, identificar as práticas e tendências do setor possibilita direcionar ações e planos de melhoria para as organizações tornarem-se sustentáveis e adequarem suas operações conforme a capacidade de absorção dos sistemas naturais. (UNEP, 2011).

Para o governo, o uso dos dados a partir da aplicação do modelo de maturidade pode contribuir para a avaliação das ações resultantes das políticas e leis atuais. A pesquisa auxilia na verificação do nível de compreensão da PNRS (BRASIL, 2010), bem como permite avaliar se as ações empresariais estão alinhadas com os aspectos de sustentabilidade destacados no Mapa Estratégico da Indústria Brasileira 2007 - 2015. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI, 2005). Por fim, a pesquisa busca contribuir com a identificação de elementos indutores de mecanismos para aumentar a taxa de reciclagem dos materiais dos automóveis, que hoje giram em torno de 1,5%. (APROVADA..., 2013).

1.4 DELIMITAÇÃO

Nesta seção, são delimitadas as fronteiras do campo de atuação da pesquisa ora discutida. O trabalho concentrar-se-á dentro da área de Gerência e Operações e Processos de

Produção e Engenharia do Produto. As respectivas subáreas são: (i) Gestão de Sistemas de Produção e Operações; e (ii) Processo de Desenvolvimento do Produto. Há conexão com uma segunda área de concentração, denominada Engenharia da Sustentabilidade, com a subárea associada ao Desenvolvimento Sustentável. Mesmo ciente das implicações e impactos do *design* frente aos problemas de consumo da sociedade, conforme pesquisas realizadas (JAWAHIR *et al.*, 2005; KIPERSTOCK, 2005; SPANGERBERG; FUAD-LUKE; BLINCOE, 2010), o trabalho não tem como objetivo aprofundar as discussões sobre as implicações do consumo em relação à sustentabilidade.

A construção do instrumento de avaliação da maturidade no uso de sustentabilidade sustenta-se na perspectiva de abordagens ecoeficientes e ecoefetivas. Buscou-se apresentar um conjunto suficiente de abordagens. No entanto, dada a diversidade de fontes e possibilidades, existem abordagens que não foram discutidas, como, por exemplo, a Biomimética (BENYUS, 2006) já está relacionada com ecoefetividade. Portanto, decidiu-se por não adicioná-la ao trabalho.

Em outro aspecto, o trabalho busca identificar quais são os vetores ao uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produto a partir do ponto de vista dos gestores de Desenvolvimento de Produto, nas montadoras de veículos de passeio do Brasil. Portanto, não se pretende discutir se as práticas ou abordagens de manufatura são mais ou menos eficientes, melhores ou piores, bem como discutir os pormenores associados com as filosofias de manufatura, tal como apontado por Gobbo *et al.* (2010).

Não será explorada a predisposição das organizações em incluir em suas estratégias de negócio, a definição de preços *premium* em produtos sustentáveis desenvolvidos, bem como se os clientes estão dispostos a pagar pelos mesmos. Do mesmo modo, as discussões acerca da melhoria do resultado econômico em virtude da incorporação de sustentabilidade no DP. Entende-se que esse nível de discussão desviaria o foco da pesquisa, no entanto, apresenta-se como um tema de relevância e que merece aprofundamento científico.

Do mesmo modo, as discussões sobre níveis de emissões de gases de efeito estufa, questões energéticas, detalhes sobre selos verdes, certificação ISO 14001, foram pontualmente indicadas, mas não são discutidas em seus pormenores. Kautto (2006) afirma que os sistemas de gestão ambiental não causam efeitos positivos no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Por isso, na visão do autor, não são instrumentos indicados para a promoção do DP sustentável.

As técnicas para avaliação das demandas energéticas, para escolhas de materiais também não serão discutidas. Sabe-se que as empresas podem empregar a análise de ciclo de

vida nos seus processos, no entanto, não é foco da dissertação adentrar nos porquês e resultados do emprego ou não de métodos específicos nos processos organizacionais. Além disso, não serão enfatizados os efeitos da segunda lei da termodinâmica na qualidade dos materiais reciclados, bem como questões de Fluxo de Materiais e Energia (FMA), pois o tema foge ao escopo da pesquisa. O tema é pertinente em discussões associados à área energética ou Ecologia Industrial.

Do ponto de vista da aplicação, atuou-se junto às montadoras de veículos de passeio do Brasil, as quais totalizam 10 empresas. Excluem-se as montadoras de veículos comerciais leves, caminhões e ônibus e empresas que operam segundo o modelo CKD (*Completely Knocked-Down* – Completamente Desmontado). (ALMEIDA *et al.*, 2006; QUINTELLA; ROCHA, 2007). Todos os fabricantes de autoveículos totalizam 20 marcas. (ANFAVEA, 2013). Da mesma forma, excluem-se da aplicação ora apresentada as empresas da cadeia de autopeças (aproximadamente 500 empresas no Brasil) (SINDIPEÇAS, 2013) e as matrizes das montadoras localizadas no exterior.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho compreende a entrega dos resultados e evidências decorrentes do processo de pesquisa do mestrado acadêmico. Como resultado desse processo, 4 artigos compõem a dissertação, os quais se apresentam em modo estendido. O objetivo consiste em ressaltar detalhes das discussões conceituais, resultados das entrevistas, o que não seria possível num artigo submetido para periódicos. Ademais, mantém-se o critério de manutenção da originalidade do trabalho, salutar para o cumprimento dos padrões éticos exigidos pela comunidade acadêmica.

A estrutura geral do trabalho é composta pela Introdução, a qual apresenta o problema, a questão de pesquisa, os objetivos, as justificativas, delimitações e a estrutura do trabalho. O Capítulo 2 apresenta o método de pesquisa que sustenta a obtenção das respostas ao problema posto, bem como a estrutura e o método de trabalho que dá origem aos resultados apresentados. Os capítulos 3, 4, 5 e 6 apresentam os artigos resultantes do desenvolvimento dessa pesquisa e estão estruturados conforme mostra a Figura 3.

O artigo 1 apresenta uma breve perspectiva histórica da formação das vertentes ecoeficientes e ecoefetivas. O objetivo foi o de propor uma visão tangencial acerca dos movimentos históricos e autores influentes, para subsidiar a compreensão das implicações no desenvolvimento do produto e sustentar o desenvolvimento do artigo 2. Tendo em vista que

uma porção deste artigo é um preâmbulo ao artigo 2, há contribuição parcial para a resolução do objetivo específico “a”. O artigo foi submetido e aceito no *ICIEOM* 2014, que será realizado em Málaga, Espanha, em julho de 2014.

O artigo 2 apresenta uma análise comparativa entre as abordagens ecoefetivas e ecoeficientes à luz do desenvolvimento de produto e entrega um modelo conceitual para desenvolvimento de produtos sustentáveis. Esse artigo apresenta a base conceitual para a construção do instrumento de avaliação, demonstrado no artigo 3 e responde ao objetivo específico “a”.

Figura 3 - Estrutura do trabalho

Estrutura	Objetivo do artigo	Método de Pesquisa	Artefato	Contribuição para a dissertação
<i>Artigo 1</i>	Desenvolver uma perspectiva histórica da formação das abordagens ecoeficientes e ecoefetivas para o DP	Bibliográfico	Mapa de influências da formação das abordagens ecoeficientes e ecoefetivas	Auxílio da compreensão taxonômica de ecoeficiência e ecoefetividade a partir dos contornos históricos propostos; subsidiar o desenvolvimento do artigo 2
<i>Artigo 2</i>	Apresentar uma análise comparativa entre as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas à luz do DP	Bibliográfico e entrevistas	Modelo conceitual	Entrega de uma proposta de modelo conceitual para o DP sustentáveis. Caracterização das abordagens e auxílio na compreensão das taxonomias existentes
<i>Artigo 3</i>	Propor um instrumento de avaliação de maturidade no uso de sustentabilidade no DP	<i>Design Research</i>	Instrumento de avaliação (modelo)	Proposta de um instrumento de avaliação, composto por escala de maturidade e matriz conceitual de maturidade em sustentabilidade; subsidiar o desenvolvimento do artigo 4
<i>Artigo 4</i>	Aplicar instrumento de avaliação de maturidade nas montadoras de veículo do Brasil	Censo	Instanciação (aplicação do artefato no campo)	Determinação do nível de maturidade no uso de sustentabilidade no DP e <i>insights</i> sobre o setor

Fonte: O autor (2014).

O artigo 3 propõe um instrumento de avaliação de maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produto, uma escala de maturidade e uma matriz conceitual de maturidade em sustentabilidade. O artigo subsidia a aplicação prática e coletas de dados de campo, apresentadas no artigo 4. Por fim, esse artigo responde ao objetivo específico “b”.

O artigo 4 refere-se à aplicação do instrumento nas montadoras de veículos de passeio do Brasil. O instrumento foi aplicado como roteiro de entrevistas, o qual permitiu a coleta de dados quantitativos, mas também explorar a percepção dos respondentes no que se refere à maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos. A abordagem empregada possibilitou identificar *insights* sobre o setor e com isso, esclarecer se as afirmações apontadas pela ANFAVEA (MOBILIDADE E SUSTENTABILIDADE, 2012) se confirmam.

Finalizando o volume da dissertação, o Capítulo 7 apresenta, na conclusão, reflexões sobre as descobertas e o atendimento da questão de pesquisa. Discorre-se sobre as contribuições e impactos identificados sobre os atores do processo, bem como sobre as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

As referências bibliográficas do trabalho estão dispostas somente ao final do trabalho, de forma unificada. Embora a pesquisa esteja estruturada em formato de artigos, entende-se ser mais adequado ao leitor que as mesmas sejam apresentadas na forma tradicional de uma dissertação, e não divididas em diferentes capítulos, evitando-se, assim, repetições. Por esta mesma razão, figuras, quadros, tabelas estão numerados sequencialmente; e alguns elementos gráficos que necessitariam ser repetidos em diferentes artigos serão dispostos como apêndices.

2 METODOLOGIA

Sem objetivar adentrar em detalhes semânticos, Demo (1985, p. 19) discorre: “Metodologia é uma preocupação instrumental. Trata das formas de fazer ciência. Cuida dos procedimentos, das ferramentas, dos caminhos. A finalidade da ciência é tratar a realidade teórica e prática”. Como parte dos instrumentos metodológicos, o método de pesquisa é discutido a seguir.

2.1 MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Lakatos e Marconi (1991), método pode ser a “ponte” entre a observação da realidade e a teoria científica, permitindo ao cientista, por meio da aplicação de técnicas racionais, verificar e encontrar explicações para a verdade e solução de problemas. Para tanto, aporta-se na análise dos aspectos lógicos e inferenciais dos fenômenos novos ou já conhecidos, estabelecendo regras, leis e relações passíveis de verificação.

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos, o método empregado foi o denominado *Design Research*. Essa abordagem busca desenvolver artefatos, a fim de promover de forma distinta, um projeto para solucionar um problema e aprofundar o entendimento de como as coisas deveriam ser. De característica prescritiva, seu dinamismo permite que os resultados das análises durante o processo retroalimentem o conhecimento sobre um problema, facilitando a consolidação de um artefato bem como a verificação de sua efetividade nas aplicações de campo. (MANSON, 2006).

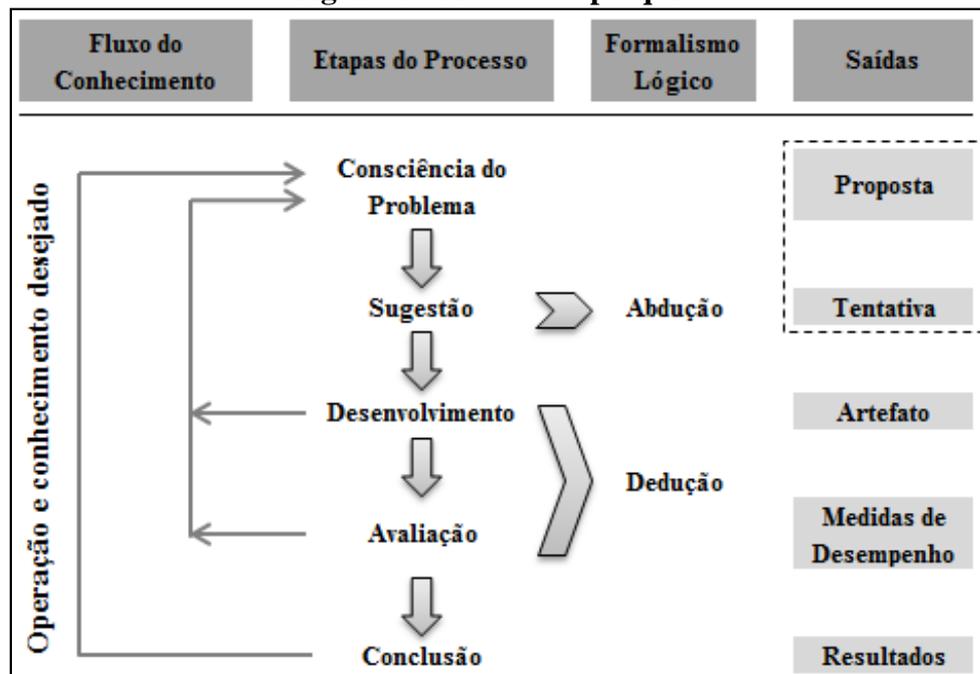
É importante fazer uma rápida asserção das distinções entre *Design Research* (DR) e *Design Sciences Research* (DSR) conforme apontado por Vaishnavi e Kuechler (2009). Enquanto DR está focada na pesquisa propriamente dita, com base conceitual, a DSR tem como propósito utilizar o “projeto” como um método ou técnica para o desenvolvimento de artefatos e construção de conhecimento aplicado.

Seguindo a mesma lógica, Simon (1996) aborda a perspectiva cuja construção de artefatos está remontada na “*Artificial Sciences*” (Ciências do Artificial), divergindo da “*Natural Sciences*” (Ciências do Natural). Ou seja, possibilita principalmente construir artefatos ou abordagens com base no conhecimento do mundo real voltado às soluções de problemas específicos e melhora do desempenho humano, além da intenção de eliminar as lacunas entre a teoria e prática. (VAN AKEN, 2005).

Manson (2006) descreve os passos para construção de um artefato, com base em Vaishnavi e Kuechler (2009), conforme apresentado pela Figura 4: (i) consciência do problema; (ii) sugestão; (iii) desenvolvimento; (iv) avaliação e; (v) conclusão. Tais passos são brevemente apresentados a seguir:

- a) **consciência do problema:** estágio no qual o pesquisador tem contato com a fonte do problema (indústria, governo, desenvolvimento de novas tecnologias, outras fontes), no qual uma ou mais entradas servem de subsídio para a construção do artefato. Simon (1996) complementa referindo-se ao vínculo entre o ambiente interno e externo – aplicação do artefato;
- b) **sugestão:** neste momento, o pesquisador fará tentativas de *design*, o qual será apresentado no mínimo uma vez. O processo é criativo, logo, as diferentes propostas sustentarão a busca por respostas ao problema em questão. É recomendado que as escolhas sejam explicitadas, para que seja possível rastrear o processo. Com base nas ciências naturais, diferentes propostas podem ser atribuídas a fim de explicar os eventos observados;
- c) **desenvolvimento:** nessa etapa, o artefato é construído com o intuito de solucionar problemas e gerar novos conhecimentos. O artefato deve conectar o ambiente interno ao ambiente externo, etapa apontada durante a conscientização do problema;
- d) **avaliação:** uma vez construído, o artefato deve ser avaliado frente aos critérios apresentados na fase de sugestão. Desvios devem ser registrados, seja quantitativos ou qualitativos, haja vista que as hipóteses sobre o comportamento do artefato será ou não falsificada, finalizando o processo da pesquisa;
- e) **conclusão:** mesmo com desvios dos resultados projetados do artefato, após revisões múltiplas, o resultado pode ser considerado bom o suficiente. O conhecimento é registrado como consolidado ou “aberto”. Conhecimento consolidado é o que foi aprendido e pode ser replicado e o conhecimento aberto não foi consolidado e por isso, estará sujeito a futuras pesquisas.

Figura 4 - Método de pesquisa



Fonte: Adaptado de Manson (2006).

Como resultado da conclusão, podem ser geradas cinco saídas do processo: constructos, modelos, métodos, instanciações e melhores teorias (MARCH; SMITH, 1995; VAISHNAVI; KUECHLER, 2009), os quais são conceituados, a saber:

- constructos:** vocabulário especializado do domínio do problema;
- modelos:** conjunto de proposições que apresentam as relações entre os constructos, permitindo aos pesquisadores de projetos manipulá-las durante as atividades de projetos, e são importantes no sentido de assegurar que os modelos representam solução ao problema estudado;
- método:** conjunto de passos, podendo ser um algoritmo, com intuito de permitir a realização de tarefas específicas. Estão sustentados na relação entre os constructos, esclarecendo qual o caminho para a busca da melhor solução;
- instanciações:** referem-se ao emprego dos artefatos no ambiente real, explicitando as relações entre os constructos, modelos e métodos. Nesse momento, o artefato é operacionalizado, demonstrando os resultados decorrentes do planejamento realizado *a priori*;
- melhores teorias:** sustenta, como contribuição do *design research*, a construção ou aprimoramento das teorias existentes.

Com base na Metodologia de *Design Research* descrita anteriormente, apresenta-se na Figura 5 uma perspectiva da estrutura do delineamento da pesquisa em questão:

Figura 5 – Delineamento do método de pesquisa

Paradigma de Pesquisa	Natureza da Pesquisa	Objetivo	Abordagem	Método de Pesquisa	Procedimentos
• Positivista	• Aplicada	• Prescritivo • Descritivo	• Quantitativa • Qualitativa	• <i>Design Research</i>	• Bibliográfico • <i>Survey</i> • Censo

Fonte: O autor (2014).

Quanto ao paradigma de pesquisa, além de ser voltada para a prescrição de problemas, está alicerçada na *Design Science*, a qual objetiva fornecer a base teórica para desenvolver artefatos e solucionar uma classe de problemas (VAN AKEN, 2004). Quanto ao emprego do método hipotético-dedutivo, Popper aponta para a solução de problemas com base em “tentativas e erros” (LAKATOS; MARCONI, 1991). São compostos por conhecimentos passados ou expectativas, estabelecimento de um problema e hipótese e testes de falseamento, formando um ciclo virtuoso com vistas à evolução científica.

Referente ao objetivo da pesquisa, o mesmo é prescritivo e descritivo. O trabalho propõe um modelo que tem por alvo solucionar para problemas de campo, por isso, enquadra-se como *Design Research*. Contudo, uma porção relevante da pesquisa permite o emprego do modelo, que por sua vez possibilita descrever o contexto do segmento estudado. Segundo Gil (2008), a pesquisa descritiva permite descrever as características de uma população e estabelecer a relação entre as variáveis, a partir do uso de técnica padronizada de coleta de dados.

Quanto ao método, enquadra-se conforme o *Design Research*, segundo Van Aken (2004), tem o propósito de construir uma “ponte” entre a teoria e a prática. Essa “ponte” no contexto desta pesquisa é atribuída ao modelo e instrumento proposto.

Finalmente, os procedimentos técnicos, bibliográfico e *survey*. Gil (2008) discursa sobre a origem dos trabalhos acadêmicos, cuja maioria é desenvolvida a partir de materiais e publicações científicas e a relação entre esse procedimento com boa parte dos trabalhos exploratórios. Já o *survey*, ou pesquisa levantamento, conforme Malhotra (2012) tem como objetivo a obtenção de informações específicas de uma população por meio da aplicação de questionários estruturados. Dentre as modalidades de *survey*, o censo foi empregado durante o desenvolvimento da pesquisa. Malhotra (2012) afirma que o censo é preferível à amostragem, quando a população é pequena e quando a variância é elevada.

2.2 MÉTODO DE TRABALHO

O tema desenvolvimento de produtos e sustentabilidade e as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas enquadram-se dentro de uma temática multifacetada e complexa. Pensando nisso, a Figura 6 foi desenvolvida com o intuito de proporcionar um entendimento sucinto dos passos adotados do método de trabalho.

2.2.1 Fase I – Consciência do Problema

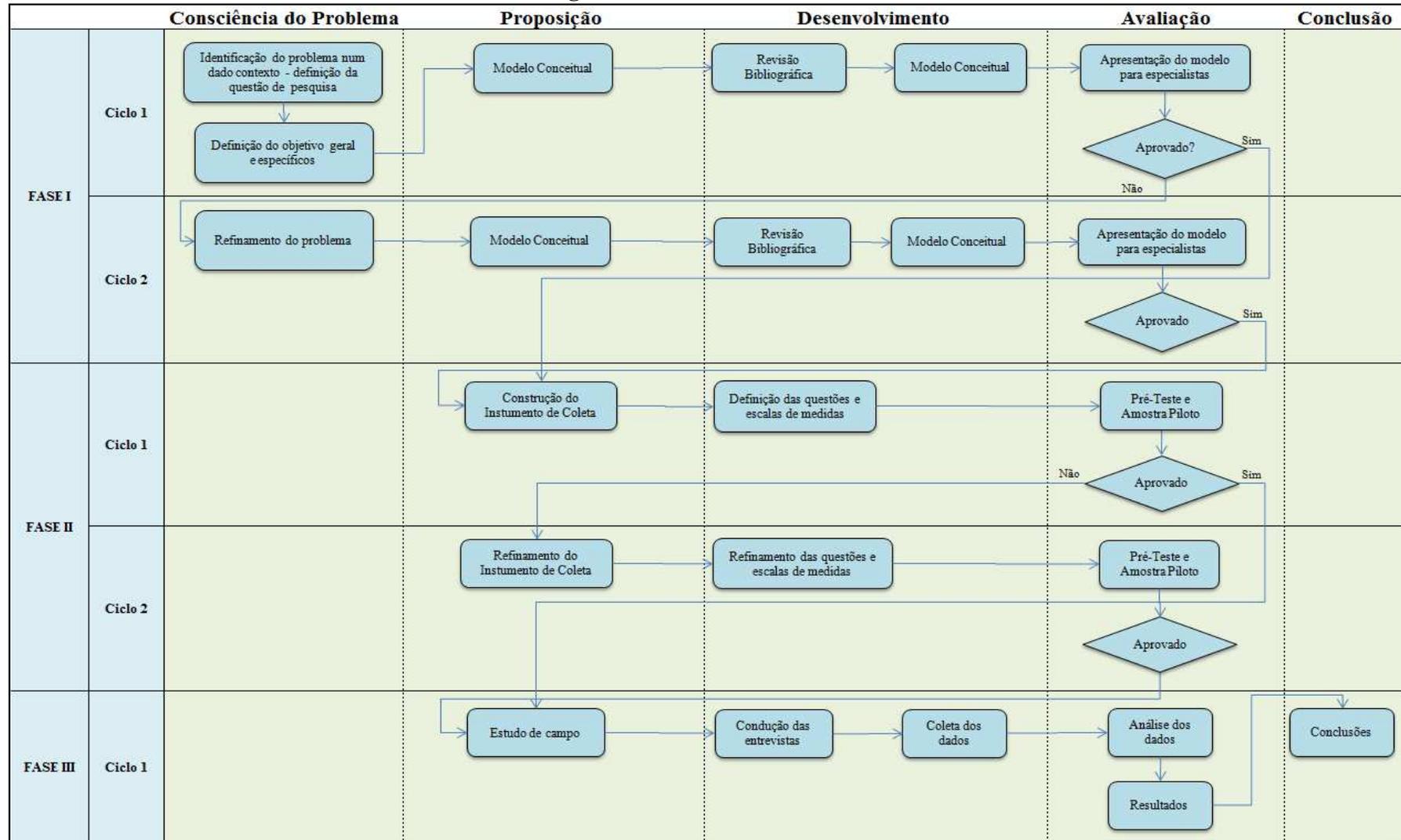
A etapa inicial consistiu na definição do problema a ser investigado. Num primeiro momento, ocorreu o contato inicial com livros, artigos e documentos gerais (sites da *internet*, revistas e outros) do campo de estudo. O intuito foi o de se apropriar dos principais temas e conceitos relativos ao assunto, identificar as lacunas e problemas ainda não resolvidos, além da construção do objetivo geral e específico.

Para tanto, o acesso às bases de dados *Science Direct*, *EbscoHost*, Periódicos Capes, *Scielo*, Biblioteca Nacional de Teses e Dissertações, Congressos Nacionais e Internacionais e outras bases de dados e acervos de universidades brasileiras serviram de aporte para avançar a na etapa. O resultado do trabalho nessa etapa, a definição do problema e os objetivos geral e específicos, foram a entrada da fase seguinte, na qual se propôs a primeira tentativa de artefato.

2.2.2 Fase I – Proposta de Artefato - Ciclo 1 / Ciclo 2

O intento da fase I – ciclo 1 foi a de propor um artefato, doravante *framework* conceitual, com base no referencial bibliográfico consultado. Durante esta etapa, o conhecimento adquirido sobre as abordagens estudadas serviram de subsídio para a proposição do mapa de influências, apresentado no artigo 1 e, por conseguinte, da proposta conceitual inicial.

Figura 6 - Método de trabalho



Fonte: O autor (2014).

Uma vez desenvolvida a proposta inicial, buscou-se identificar especialistas que se enquadrassem conforme o tipo de profissional especificado, quer fosse acadêmico, de centro tecnológico ou indústria. Ressalta-se que os critérios não foram excludentes. O perfil resumido de cada um está disposto no apêndice A. Também foi flexibilizada a escolha da quantidade de profissionais para cada um dos critérios, uma vez que identificar disponibilidade de agenda poderia ser uma restrição ao desenvolvimento da pesquisa.

A justificativa da escolha de **profissionais da área acadêmica** foi balizada na necessidade de obtenção de pluralidade de opiniões e visões de sustentabilidade. Como critério de escolha foi determinado inicialmente que o profissional tivesse cumprido no mínimo cinco anos de docência acadêmica e pesquisa científica. Para situações divergentes, foi considerada suficiente a experiência na implantação de dois projetos realizados com o tema sustentabilidade.

A escolha de **profissionais da indústria ou setores governamentais estratégicos** sustentou-se na necessidade de identificar entre dimensões e constructos propostos com a realidade ou estratégias do setor estudado. Para esses profissionais, foi determinado no mínimo a experiência de cinco anos na indústria ou relações com setores de gestão do governo e a implantação de dois novos projetos.

No que se refere aos **especialistas dos centros tecnológicos**, a escolha dessa categoria de profissional objetivou a identificação da aplicabilidade do instrumento sob um prisma visão setorial e da tríade governo – universidade – empresas. Nesse caso, sugeriu-se no mínimo a experiência de cinco anos e participação na implantação de dois projetos de sustentabilidade.

Para garantir a exequibilidade do planejamento, 15 profissionais foram contatados dentro dos campos de atuação determinados (acadêmico, empresarial/governamental e centros tecnológicos). A todos foi enviada uma carta convite da Unisinos, com a assinatura do mestrando, orientador e coorientador. Sempre que um convite para entrevista não era retornado, fosse positivo ou negativo, retomava-se o contato por email ou telefone, até que algum tipo de resposta fosse obtido. Ao longo dessa etapa de processo, foram totalizados 31 contatos, distribuídos entre email (24 contatos) e telefone (7 contatos).

Ao fim, foi obtido o aceite de 6 especialistas. A coleta de informações e validação do modelo conceitual junto aos especialistas ocorreu por meio de entrevistas qualitativas semiestruturadas. Segundo Flick (2004), esse tipo de entrevista busca agregar informação por meio de um processo narrativo e com isso, acessar o conhecimento conforme o norte estabelecido pelo modelo apresentado. As entrevistas ocorreram via meios virtuais de

comunicação ou de forma presencial. Dado o aceite dos especialistas, todas foram gravadas. No transcorrer do processo e durante a apresentação dos elementos expostos no modelo, foi possível identificar a espontaneidade do especialista em concordar ou discordar de algum ponto. No entanto, no sentido de manter a sistematização do processo, perguntas foram estruturadas no roteiro, conforme segue:

- a) você percebe a relação do constructo com as dimensões propostas?
- b) como você percebe a relação desse constructo no desenvolvimento de produtos?
- c) na sua opinião, esse constructo é essencial no contexto de desenvolvimento de produtos?
- d) quais são as dificuldades ou desafios para utilizá-lo?
- e) as empresas de um modo geral se preocupam em aplicá-lo?

Essa abordagem foi utilizada com todos os entrevistados nesta etapa do processo.

Cabe ressaltar que o modelo inicial exposto aos entrevistados foi utilizado como referência para o desenvolvimento do Artigo 1. Ao fim do processo das entrevistas, as contribuições foram transcritas e analisadas pormenorizadamente. As nuances relevantes, identificadas foram extraídas por meio das técnicas de análise de conteúdo. (BARDIN, 1977). Se não houvesse considerações, a fase II seria iniciada de imediato; caso contrário, o ciclo 2 iniciaria dentro da mesma fase.

Considerando que os entrevistados auferiram sugestões relevantes, o ciclo 2 foi iniciado dentro da fase I. As alterações realizadas no modelo ajustado foram submetidas para a avaliação dos mesmos especialistas anteriormente entrevistados. Porém, dentro do escopo temporal da dissertação, somente o especialista E4 se manifestou para contribuir com uma nova entrevista. Durante o processo, E4 julgou o modelo suficiente. As sugestões realizadas foram categorizadas como alterações pontuais para refinamento do instrumento e por isso, definiu-se como desnecessário realizar uma nova rodada de validação. Com base no exposto, a fase I foi aprovada.

2.2.3 Fase II - Desenvolvimento do Artefato – Ciclo 1 / Ciclo 2

Nesta fase, iniciou-se o desenvolvimento do instrumento de avaliação, doravante questionário. As dimensões e conceitos validados na fase anterior deram origem ao questionário, composto por questões e escalas de medida. A versão inicial do instrumento foi submetido para a avaliação de 5 profissionais do meio acadêmico, conforme descrito no apêndice B. Os especialistas diferem dos anteriormente consultados, pois o objetivo foi o de

obter de pontos de vistas e críticas para o instrumento em si (organização das questões, estrutura das perguntas, clareza e coesão, entre outros aspectos). As contribuições recebidas sustentaram a criação de uma nova versão de instrumento, que assumiu, *a priori*, estar ajustado para o pré-teste.

As escalas de medida determinadas foram categorizadas conforme o tipo multi-itens, composta por escala de 5 pontos denominados rótulos verbais. A escolha pela escala de 5 pontos ocorreu em função da complexidade do tema, apesar dos respondentes serem profissionais com nível educacional de pós-graduação, fato que justificaria uma escala com mais pontos. Os rótulos verbais proporcionam aos respondentes a condição de interpretar o que se pede (nesse caso, o nível de maturidade para o emprego da sustentabilidade em DP) (HAIR *et al.*, 2005). A escala proposta ao instrumento está baseada na literatura pesquisada, apresentada ao longo do artigo 3.

Quanto ao teste de confiabilidade, realizou-se as medições conforme o coeficiente Alfa de Cronbach. Dezoito questionários foram enviados para empresas do segmento automotivo e autopeças (áreas determinadas como foco de aplicação), seguido de contato telefônico com todos os gestores de desenvolvimento de produto. Ao fim, foram obtidas 10 respostas. Os resultados do teste Alfa de Cronbach indicaram os resultados, a saber: (i) orientação estratégica = 0,91; (iii) *design* = 0,92; (iv) processo de desenvolvimento = 0,89; (v) aspectos socioambientais = 0,92 e, (vi) resultado = 0,72. Questionários confiáveis indicam resultados de confiabilidade interna entre os valores Alfa 0,7 e 0,9. (HAIR *et al.*, 2005; MALHOTRA, 2012). Os resultados acima de 0,9 sugerem “inflação das respostas”, o que normalmente ocorre em questionários extensos. Para o presente caso, a proposta de instrumento apresentou 41 questões, o que é considerado um questionário extenso. Resultados acima de 0,95 não recomendam o uso do questionário. (HAIR *et al.*, 2005). Os dados do pré-teste viabilizaram a realização do teste de Friedman, no intuito de validar a escala de maturidade. Os resultados indicaram $\alpha < 0,10$, fato que sustenta a coerência entre os diferentes patamares fornecidos pelos 5 rótulos da escala proposta. Malhotra (2012) sugere que, embora o tipo validade do constructo seja complexo, o mesmo pode ser obtido a partir de resultados *alpha* próximos de 0,9, que determinam a relação entre validade e confiabilidade.

A partir dos resultados obtidos no pré-teste, considerou-se o questionário suficiente e aprovado para aplicação em campo, que será descrito a seguir.

2.2.4 Fase III – Estudo de Campo – Ciclo 1

Nessa etapa, iniciou-se as coletas de dados de campo. O método de coleta foi o censo. Todas as 10 empresas montadoras do setor automotivo do Brasil (com desenvolvimento e manufatura) foram contatadas para participar do processo de entrevistas.

Inicialmente, o perfil de gestores do DP das montadoras do Brasil foram identificados via informações veiculadas nos sites das organizações e por redes sociais, especificamente o LinkedIn, no sentido de reduzir o tempo de busca dos profissionais-alvo. Os telefones das montadoras foram obtidos no site da ANFAVEA. Os contatos iniciais com as 10 empresas foram conduzidos por telefone, objetivando encontrar um gestor disponível para participar da entrevista. Durante esta etapa de identificação dos contatos-alvo, foram realizadas 28 ligações. Quando um gestor era identificado, o mestrando se apresentava pessoalmente, explicava o propósito do contato e questionava se havia o interesse da organização em participar. Via de regra, nenhuma resposta assertiva era fornecida no momento da ligação, em virtude de políticas e restrições organizacionais. Uma mensagem eletrônica era enviada após o contato telefônico, com carta convite à pesquisa timbrada pela Universidade e instrumento de avaliação anexos, no sentido de formalizar o processo de entrevista com as montadoras e demonstrar transparência e ética no processo da pesquisa.

Em linhas gerais, se após 7 dias úteis do contato inicial não houvesse resposta, uma nova ligação era realizada. Na média, 5 ligações foram feitas para cada gestor até o recebimento de um posicionamento. Quando a resposta positiva era obtida, a reunião era agendada via Google Agenda e, explicado de antemão quais seriam as regras das entrevistas, que incluía o uso de sistemas de comunicação por *internet* e gravação.

Como resultado deste procedimento, 7 gestores de DP das empresas montadoras se dispuseram a colaborar com o processo e 3 gestores declinaram o convite. O perfil dos gestores participantes está disponível no apêndice C. O instrumento foi empregado como roteiro principal disposto no apêndice E, e questões de apoio dispostas no apêndice F. As respostas foram obtidas conforme a escala de maturidade proposta conforme disponível no apêndice G e, sobretudo, foi possível adquirir informações relevantes sobre a perspectiva de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos, a partir da percepção declarada dos gestores. As informações compiladas e organizadas possibilitaram a realização das análises e conclusões, dando-se fim à pesquisa proposta. O volume da dissertação foi então consolidado, conforme o método estabelecido.

3 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 1

O conteúdo do artigo a seguir foi aprovado no ICIEOM 2014 sob o título de “*A Historical Perspective of Sustainable Approaches for Product Development*”.

UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA DA FORMAÇÃO DAS ABORDAGENS ECOEFIICIENTES E ECOEFETIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Este artigo apresenta uma perspectiva dos antecedentes relevantes que contribuíram para a formação dos conceitos de ecoeficiência e ecoefetividade à luz da sustentabilidade e do desenvolvimento de produtos. Com base na revisão da literatura, foram compiladas publicações e referências obtidas a partir da leitura de livros e referências de bases de dados indexadas, as quais possibilitaram delinear um mapa de influências das abordagens. O intuito não é esgotar as possibilidades de formação histórica, mas exemplificar uma visão no intuito de auxiliar na compreensão dos aspectos históricos que vieram a contribuir com as perspectivas taxonômicas da ecoeficiência e ecoefetividade, bem com as similaridades e diferenças.

Palavras-Chave: Desenvolvimento de produtos. Sustentabilidade. Ecoeficiência. Ecoefetividade. Perspectiva Histórica.

3.1 INTRODUÇÃO

Sustentabilidade é um conceito sistêmico formulado a partir da integração das dimensões ambiental, social e econômica, ou *triple bottom line* (TBL). (ELKINGTON, 1997; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008). Muito antes da publicação do Relatório de Brundtland (WCED, 1987), a questão da demanda, consumo de energia e recursos naturais, seus impactos e consequências para o futuro da humanidade já eram discutidos. (SINGER, 1970; BROWN, 1970). Nesses termos, Meadows *et al.* (1972) enfatizam esse panorama insustentável, explicitando sua preocupação com a manutenção do ritmo de crescimento industrial, população e consumo dos recursos naturais, o qual poderá comprometer a equidade intergeracional se o padrão de crescimento atual não for alterado.

Apesar de fundamental para a perpetuação do ser humano no planeta, o debate sobre desenvolvimento, embora pareça recente, teve suas ideias iniciais baseadas em Robert Malthus. Em 1798, o economista discursou sobre uma de suas obras, “Ensaio sobre a População”, expressou suas ideias e pessimismo acerca do crescimento populacional, êxodo rural e concentração de pessoas nos grandes centros, além de frisar o crescimento populacional em progressão geométrica e os meios de subsistência em progressão aritmética. Resguardadas as questões temporais e populacionais, pode-se afirmar que o autor foi visionário em retratar o que acontece hoje.

Transcorrido um lapso temporal, no início da década de 70, tanto Alvin Toffler quanto Victor Papanek publicaram livros seminais que serviram de referência para as gerações vindouras. Em “*O choque do futuro*” Toffler (1970) explicita sua visão futurista dos impactos da industrialização sobre as mudanças na sociedade e Papanek no início de 70 e mais tarde na reedição de 1985 em “*Design for the real world*” (PAPANEK, 1985) enfatiza o objetivo inovador do *design*, a relação próxima entre o projetista e o consumidor e os impactos decorrentes desse processo quando conduzido de modo deturpado.

Em certo sentido, manter os negócios conforme padrão atual não contribuem para assegurar um futuro sustentável para as gerações vindouras. Esse fato é sustentado pelo aumento contínuo do consumo de recursos naturais, impactos ambientais e questões sociais resultantes do desequilíbrio entre os ecossistemas naturais e a economia (ASSADOURIAN, 2012; FIKSEL, 2009) e modelo industrial que sustentou a riqueza das grandes nações. (MEADOWS *et al.*, 1972; SPANGENBERG *et al.*, 2010). A causa primária desses problemas está relacionada com o *design* e o ciclo de vida dos produtos. Logo, reorientar o modelo mental de uma sociedade insustentável requer que as organizações contemplem os aspectos econômicos, sociais e ambientais integrados ao desenvolvimento de produtos (DP). (BYGGETH, BROMAN, ROBÈRT, 2006; KARLSSON; LUTTROP, 2006; SPANGENBERG *et al.*, 2010).

As atividades de *design* são parte dos estágios iniciais do DP. Decisões tomadas nesta fase afetam o custo, performance, estética e, sistemicamente, os fatores associados ao ciclo de vida do produto. (LAGERSTEDT, 2003). Ao considerar-se os impactos ambientais, Baumann, Boons e Bragd (2002) ressaltam que as decisões e influências exercidas sobre os DP das organizações devem ser avaliados sob o prisma interno dos processos. Outra opção seria avaliar as ações a partir do apoio e colaboração com processos externos. (CHERTOW, 2000; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

Dentro do contexto do *design*, DP e interrelacionamento com os ecossistemas naturais, existem abordagens classificadas como ecoeficientes ou ecoefetivas. Em linhas gerais, abordagens orientadas à ecoeficiência visam reduzir os impactos ambientais e aumentar a taxa de uso dos recursos (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; FIKSEL, 1996; WBSCD, 2000); por outro lado, abordagens orientadas à ecoefetividade visam operar mimicamente conforme os ciclos da natureza. (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; STAHEL, 2010).

Em razão da disponibilidade de uma gama de abordagens orientadas à sustentabilidade no *design* e DP, as organizações indicam dificuldades na identificação das ideias chave associados com esses conceitos, as quais se amplificam se o tema não for visto como prioritário aos negócios. Como contribuição deste trabalho, desenvolve-se uma perspectiva histórica acerca das influências das abordagens ecoeficientes e ecoefetivas, o que pode ser valioso para compreender os *trade-offs* associados com o DP e avaliar os elementos indutores de valor aos clientes. A perspectiva histórica está remontada em publicações seminais e implicam na sustentação do posicionamento organizacional frente às decisões de investir em produtos e processos sustentáveis.

3.2 ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE

O modelo econômico e industrial atual suportou o crescimento das grandes nações. O direcionamento das ações para a redução dos custos dos recursos naturais, em comparação ao preço da mão de obra, corroborou com os desperdícios percebidos. O *trade-off* econômico entre comprar matéria-prima barata ou investir em sistemas e tecnologias para reutilizar os resíduos e evitá-los, via de regra, tem sido determinante para a escolha da primeira opção. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; STAHEL, 2010; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Essa prática remonta fatos históricos associados à busca de soluções sustentáveis. Os grupos de debate, conferências, publicações realizadas e modelos criados, tais como a Clube de Roma (MEADOWS *et al.*, 1972), a ECO-92 (UN, 2013), a assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997 (UN, 2013) e outros eventos os quais possibilitaram a criação de novas técnicas, abordagens e o avanço científico no campo tecnológico, ambiental e social, no sentido de alterar o visão de futuro das disponibilidades naturais.

Desde a conferência Rio 92, no entanto, a temática sobre o desenvolvimento sustentável, ancorada no Relatório de Brundtland (WCED, 1987), tem recebido novos

contornos. Com isso, as discussões acerca de novos mecanismos e abordagens voltadas à limitação do uso de recursos, alternativas para fazer, utilizar, descartar produtos que sejam menos poluentes e ambientalmente agressivos tem ecoado globalmente. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2000; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007).

O termo ecoeficiência emergiu em decorrência de alguma dessas discussões. Para Fiksel (1996), baseado no manifesto do *Business Council on Sustainable Development* em 1992, aponta para a redução dos desperdícios e aumento da rentabilidade das organizações, o qual é atingido com a incorporação de três abordagens amplas: (i) processos mais limpos; (ii) produtos mais limpos e, (iii) uso sustentável dos recursos, com o emprego do *Design for Environment*.

Similarmente, o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) (2000) define ecoeficiência como uma filosofia de gestão que habilita a busca por melhorias no desempenho ambiental e, em paralelo, na rentabilidade dos negócios, composta por três grandes objetivos: (i) redução do consumo de recursos; (ii) redução do impacto na natureza e, (iii) aumento do valor do produto ou serviço. A obtenção de tais objetivos é suportada pela entrega de produtos que satisfaçam a necessidades humanas e melhorem a qualidade de vida, ao mesmo tempo em que demanda de recursos naturais é balanceada de acordo com a capacidade regenerativa do planeta.

Embora o enfoque da ecoeficiência apresente boa intenção e resultados no curto prazo, alguns autores rebatem os benefícios da redução do uso de recursos naturais, energia, emissões, geração de resíduos e desperdícios. Enfatiza-se que a redução, princípio central da ecoeficiência não muda o curso linear dos recursos bem como desconsidera a perpetuação dos ecossistemas naturais no longo prazo. Esse conceito atua em sistemas e abordagens existentes no intuito de torná-los “menos destrutivo”, o que atribui à indústria o processo de desaceleração do esgotamento dos recursos naturais. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2000; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

Dyllick e Hockerts (2002) conceituam ecoeficiência como o valor econômico adicionado pela empresa em relação ao impacto ecológico. Os mesmos autores reconhecem que a sustentabilidade ecológica não é relacionada com melhorias incrementais e por isso, as questões de meio ambiente devem ser conduzidas por meio de um olhar ecoefetivo, o que requer a implantação de inovação radical nos negócios.

Logo, considerando-se as expectativas da população mundial atingir nove bilhões em 2050 (WBCSD, 2012; WWF, 2012; ORDOÑES; RAHE, 2013) e as expectativas do aumento do uso de matérias-primas para as próximas décadas (BLEISCHWITZ, 2010; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012), infere-se a continuidade do desenvolvimento insustentável e as tendências das mudanças climáticas já estabelecidas. (CHEN; BOUDREAU ;WATSON, 2008; BLIZZARD; KLOTZ, 2012). Tal argumento que reforça a urgência em aumentar a utilização dos recursos em 5, 10 ou mais vezes. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; ASSADOURIAN, 2012; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Transitar da ecoeficiência para a ecoefetividade requer a *redesign* dos produtos e sistemas industriais onde os materiais circulam. A ecoefetividade é modelada na interdependência e regenerativa produtividade de sistemas naturais, onde as saídas de um processo tornam-se entradas para outros. Contanto que os materiais mantenham-se perpetuamente nos ciclos biológicos e técnicos, a unidade de serviço é irrelevante. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

A ecoefetividade procura proporcionar aos sistemas industriais “imitar” a abundância da natureza e organismos vivos. Essa abordagem contrasta a visão ecoeficiente (fazer as coisas atuais melhor), pois busca fazer o certo desde o início. Parte do princípio no qual a indústria é regenerativa e não destrutiva. Estimula e celebra o *design* em harmonia com os sistemas naturais, fluindo em ciclos fechados e possibilitando o fluxo metabólico de materiais de berço ao berço. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

3.3 ANTECEDENTES DA FORMACAO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE

Nesta seção, explora-se uma perspectiva dos contornos históricos acerca dos fatos aqui explicitados, sem ter a objeção de afirmar que as opções de conceitos, pensamentos e influências são totalmente exatas. Visa-se apenas esboçar algumas das vertentes que podem ter contribuído para a formação das abordagens.

O diagrama representado pela Figura 7 ilustra as influências associadas com as abordagens ecoeficientes ou ecoefetivas. A perspectiva ecoeficiente está esboçada em amarelo; a perspectiva ecoefetiva está destacada em azul; as influências históricas são

compostas pelos elementos da cor verde e os conceitos e ferramentas para avaliação dos impactos do ciclo de vida são ilustrados em cinza. As setas determinam o sentido das influências, bem como denotam a perspectiva temporal e as citações identificadas na literatura.

Robert Malthus, economista, publicou em 1798 a obra intitulada “Ensaio sobre a População”, na qual, inicialmente discordara de Adam Smith, escritor de “A Riqueza das Nações” ainda em 1776. Malthus acreditava que uma nação poderia ter trabalhado um ano inteiro sem que houvesse ganho real. No seu ponto de vista, a verdadeira fonte de renda, advinha da natureza e não do capital e bens manufaturados, conforme as ideias de Smith. (SMITH, 1981). A sua preocupação com a disponibilidade de recursos naturais para atender às necessidades da população futura converge ao que se presencia na atualidade. Suas ideias, no transcorrer do tempo, influenciaram, sob certo aspecto Meadows *et al.* (1972) em “Limites do Crescimento”, Timothy O’Riordan (1976) em “*Environmentalism*” e assume-se que Walter Stahel (1976) em “*Jobs for Tomorrow*” possa ter tido alguma influência de suas ideias.

As ideias de Malthus também serviram de influência para Rachel Carson, que publicou o livro “The Silent Spring” (CARSON, 1962). Por sua vez, Rachel forneceu ideias para James Lovelock (1968). Este último municiou tanto Victor Papanek quanto Robert Ayres. Papanek (1985) criticou o *design*, apontando como perniciosas as abordagens conduzidas, além de mal projetadas e prejudicar o meio ambiente, contaminava solo, rios, lagos e outros. Mais recentemente, John Elkinton aparece nesta corrente histórica, sendo influenciado pelo livro “A ecologia do amanhã”, publicada em 1980. Mais tarde, Elkinton viria a publicar a obra “Cannibal with Forks” (1997), ao apresentar o conceito de *triple bottom line*.

As ideologias Malthusianas, que outrora influenciaram Meadows e outros, também serviram de inspiração para Timothy O’Riordan publicar em 1976 a obra *Environmentalism*, cujo ponto de vista acerca de um mundo de incertezas fora apresentado. A incerteza enfatizada pelo autor está associada ao ser humano, seu modo de interagir com o ambiente biofísico, estabelecendo em função desse comportamento o dilema do crescimento. Estabeleceu também, as noções de ecocentrismo e tecnocentrismo, relacionados às questões sobre o *Green Design*. Logo, o termo “*green*” foi substituído por palavras denominadas “eco”, identificadas por John Button e finalmente, no início da década de 90 foi oficialmente instituído na Europa, no sentido de consolidar a preocupação ecológica no *design*. (MADGE, 1997).

Em linhas gerais, essa corrente influenciou a implantação da taxonomia ecoeficiente, a partir do *Ecodesign* na Europa e na Austrália. (RYAN; HOSKEN; GREENE, 1992). O termo *Design for Environment* (DfE) é o conceito empregado nos Estados Unidos, equivalente ao *Ecodesign* na Europa. (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002). Destaca-se que o ACV (análise do ciclo de vida), consolidado no final dos anos 80, é considerado pela comunidade acadêmica como o principal método para avaliação dos impactos ambientais ao longo da vida de um produto. (HUNT; SELLERS; FRANKLIN, 1992).

Na perspectiva ecoefetiva, Malthus influenciou Walter Stahel (1976), que publicou a obra “Jobs for Tomorrow” (THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013). O resumo de seu livro, por meio do relatório “*The product-life factor*”, remete à busca de uma sociedade sustentável a partir do aumento da utilidade dos produtos manufaturados, introduzindo uma lógica de pensar oposta aos conceitos atuais de produção até então. A ideia central proposta consistia em estender o ciclo de vida dos produtos, substituindo as atividades extrativas das grandes indústrias de manufatura por atividades integradas locais em pequenas e médias empresas, no sentido de reduzir a demanda por recursos naturais e materiais dentro de uma economia em “forma espiral e de ciclo fechado”, contribuindo para a redução da desigualdade social, pobreza e instabilidade econômica.

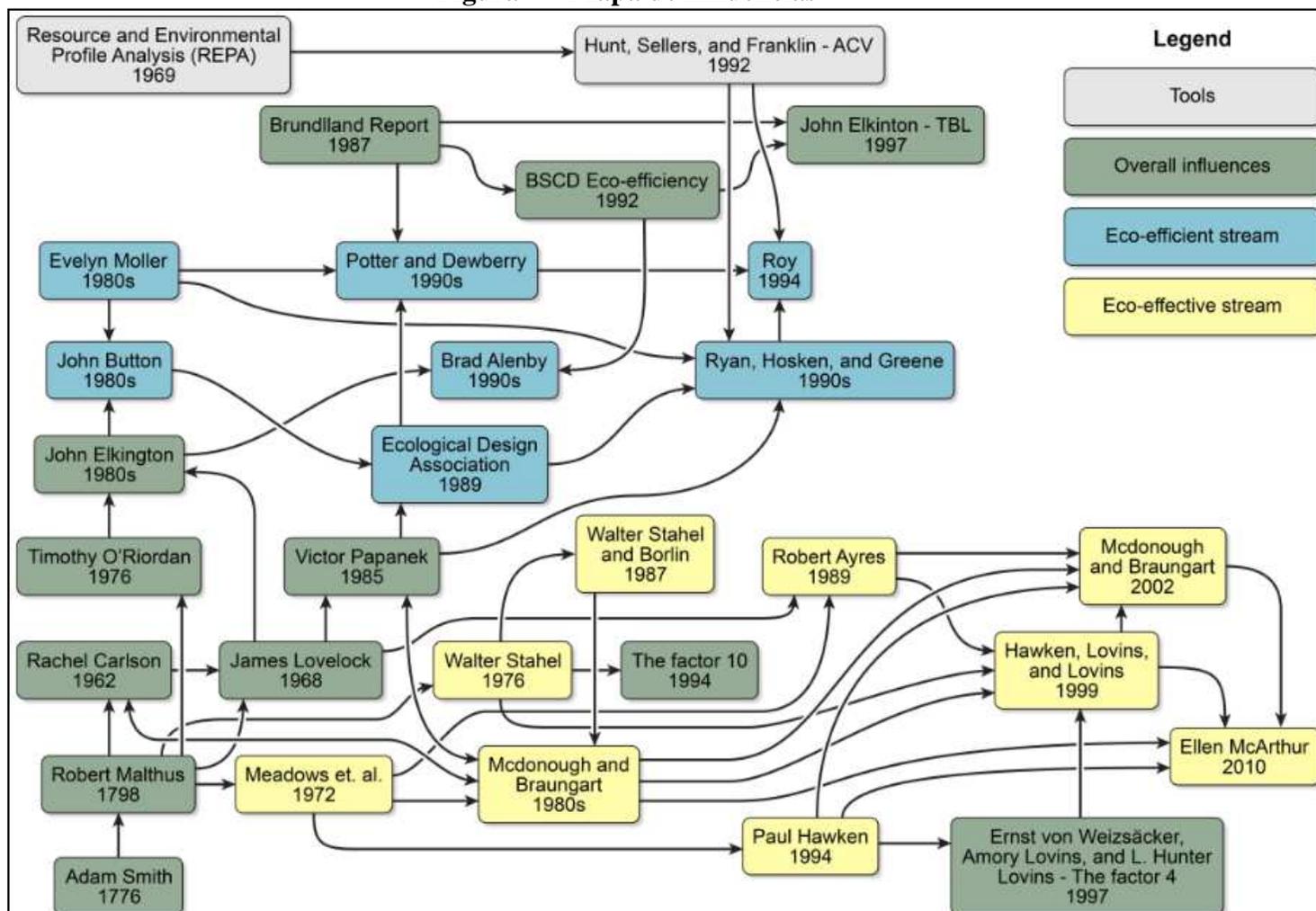
As ideias de Stahel também influenciaram a dupla Michael Braungart e William McDonough. Stahel, durante meados dos anos 80 não somente treinou Braungart, mas também se encontrou várias vezes com McDonough na Alemanha, onde o debate sobre a forma de “ir contra a fluxo” costumava ser o tema central. (THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2012). Põe-se aqui o termo “contra o fluxo”, no sentido metafórico referente às abordagens do tipo berço ao túmulo (*Cradle to Grave*).

No início do século XXI, a dupla considerou os alguns assuntos discutidos com Stahel, as ideias seminais de Meadows *et al.*, de Papanek, os conceitos de Ayres sobre Ecologia Industrial, as propostas de Paul Hawken, Amory Lovins e Hunter Lovins contidas nos conceitos acerca do capitalismo natural e o Relatório de Brundtland para consolidar a obra “Cradle to Cradle: Remaking the way we make things”.

Outra abordagem ecoefetiva, a Economia Circular, oriunda dos trabalhos de Stahel, também motivou Ellen MacArthur para fundar o The Ellen MacArthur Foundation em 2010, que dissemina os ideais inspiradores do repensar e reprojeter e construir um futuro sustentável por meio da visão da Economia Circular. Seus princípios estão alinhados com os princípios do C2C, introduzidos por Stahel e aperfeiçoadas por McDonough e Braungart. A

linha de pensamento explicitada nos parágrafos anteriores está representada pelas caixas destacadas em amarelo, na Figura 7.

Figura 7 – Mapa de influências



Fonte: O autor (2014).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma perspectiva histórica que conecta abordagens ecoeficientes e ecoefetivas, com sustentabilidade e DP. Construir uma perspectiva histórica objetiva auxiliar tanto academia quanto às organizações na compreensão das vertentes, que por sua vez, podem facilitar o processo de escolha das opções disponíveis e entregar valor sustentável à sociedade. A perspectiva histórica provê um entendimento dos fatores críticos que permitem ampliar as abordagens a serem adotadas com vistas ao desenvolvimento de produtos sustentáveis.

Identifica-se lacunas não exploradas, como por exemplo, discussões entre ecoeficiência e ecoefetividade à luz do desenvolvimento de produtos, fator que revela possibilidades do desdobramento de ações para melhorar a qualificação de projetistas e engenheiros sobre o tema, ainda pouco difundido nas organizações brasileiras. Como benefício, a consciência sobre o impacto de suas ações, a partir do uso das referências bibliográficas pontuadas.

Entretanto, um trabalho inicial revela limitações relacionadas com explicações lógicas e aprofundadas sobre as conexões entre os autores, influências no desenvolvimento de estratégias de sustentabilidade ao longo das décadas passadas e formação dos conceitos e abordagens empregadas em DP. É possível que haja um nível de assertividade maior ou menor em alguma das linhas de formação, visto que alguns pontos históricos foram apenas tangenciados.

Sob o ponto de vista prático, manter os processos e produtos conforme realizados hoje em nada contribui para alcançar uma sociedade sustentável. De fato, tanto acadêmicos, praticantes e as organizações devem decidir se adotar as abordagens existentes, empregadas em DP, tornam-se eficazes para atender o TBL. Estipula-se contemplar soluções que abordem ecoeficiência e ecoefetividade tendem a entregar soluções de valor ótimas, focadas no curto e longo prazos.

4 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 2

Uma versão deste artigo foi submetida ao *Journal of Cleaner Production*, submissão número JCLEPRO-D-13-01333 e aceito condicionalmente pelos revisores mediante “*major changes*”.

UMA ANÁLISE COMPARATIVA DAS ABORDAGENS ECOEFICIENTES E ECOEFETIVAS À LUZ DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

RESUMO: Embora abordagens indutoras de sustentabilidade tenham sido desenvolvidas nas últimas décadas, ainda se percebem lacunas e limitações quanto à adoção de sustentabilidade nos processos organizacionais. Neste artigo, apresenta-se uma análise comparativa relativa às abordagens ecoeficientes e ecoefetivas sob o prisma do desenvolvimento do produto. As abordagens propostas são *Design for Sustainability*, *Ecodesign*, *Cradle to Cradle*, *Ecologia Industrial*, *Performance Economy* e *Economia Circular*. A base de comparação é sustentada a partir das dimensões planejamento, processo, material, aspectos sociais, aspectos ambientais e aspectos econômicos e os constructos associados, a fim de identificar as relações cruzadas. O método empregado consiste em revisão bibliográfica. Como resultado final, é fornecido um modelo conceitual para desenvolvimento de produtos sustentáveis. Os resultados obtidos revelam que as abordagens ecoefetivas aderem mais aos constructos propostos do que as abordagens ecoeficientes, em virtude da tendência das organizações visarem os resultados de curto prazo. Conclui-se que ambas abordagens podem ser complementares e necessárias para sustentar a transição para sustentabilidade. Estudos futuros são recomendados para a avaliação de trabalhos aplicados e coletas de dados de campo, no intuito de estimular a cultura e o conhecimento de sustentabilidade no desenvolvimento de produto nas organizações.

Palavras-Chave: Desenvolvimento de produtos. Ecoeficiência. Ecoefetividade. Sustentabilidade.

4.1 INTRODUÇÃO

Desenvolvimento sustentável é um conceito sistêmico, focado na integração dos aspectos ambientais, sociais e econômicos (CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008; DESPEISSE *et al.*, 2012; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007), também conhecido

como *Triple Bottom Line* (TBL) (ELKINGTON, 1997). Mesmo cientes de que a interpretação do conceito pode gerar diferentes entendimentos e ações, setores da indústria e serviços são constantemente pressionados pelos atores (leis, políticas, clientes, governo, e outros) no sentido de integrar essas três dimensões em seus processos. (BRENT; LABUSCHAGNE, 2005; BRENT; LABUSCHAGNE, 2007).

Ao longo dos séculos passados, os impactos causados na natureza, relacionados às atividades antropogênicas foram comumente negligenciados. No entanto, a agenda começou a mudar à medida que a percepção sobre a disponibilidade dos recursos e limitações para as futuras gerações passou a ser considerada. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007). As ideias visionárias de Robert Malthus em 1798 (MALTHUS, 1970) motivaram a publicação seminal de Meadows *et al.* (1972). O entendimento sobre a relação entre a humanidade e os recursos naturais, desde aquela época, vem sendo debatido. Seus pontos de vista consistiram em criticar, cada qual em seu momento, a tendência de crescimento populacional, bem como as demandas por recursos naturais. Resguardadas as questões específicas dos modelos sugeridos, pode-se afirmar que Malthus foi visionário ao retratar as implicações das suas ideias até o momento atual, que por sua vez, motivaram discussões acadêmicas e possíveis soluções para os modelos de produção e consumo contemporâneos.

A relação entre o aumento da demanda por recursos naturais e o conceito de crescimento econômico como a solução para os problemas sociais resultou em um desequilíbrio entre os ecossistemas e a economia. (ASSADOURIAN, 2012). Do mesmo modo, Fiksel (2012) reconheceu que este modelo de produção industrial, consumo e estilo de vida atribui desafios severos para a implantação de estratégias sustentáveis. Tem sido argumentado que este cenário representa o tradicional modelo econômico e industrial que sustenta o crescimento de várias nações. O foco estrito em ações para reduzir os custos de transformação dos materiais tem contribuído para os níveis de poluição irreversíveis (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007) e o desenvolvimento insustentável que pode ser observado. (HALLSTEDT *et al.*, 2010; MEADOWS *et al.*, 1972; SPANGENBERG *et al.*, 2010).

Argumenta-se que uma causa desses problemas está relacionada com a concepção de produtos e seus ciclos de vida (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002; PAPANЕК, 1985; SPANGENBERG *et al.*, 2010) apoiada pelo modelo mental voltado à otimização das entradas dos processos e não em métodos focados nas saídas. (WAGNER; ENZLER, 2006). Esse pensamento reflete a urgência para reorientar os modelos de produção contemporâneos e requer a integração de estratégias inovadoras no desenvolvimento de produto no sentido de

atenuar os impactos ambientais e sociais e incorporar valor ao negócio. (KARLSSON; LUTTROPP, 2006; SPANGERBERG *et al.*, 2010; BOCKEN *et al.*, 2014). Em certo sentido, o que era antes chamado resíduo deveria ser considerado como uma matéria-prima de outro processo, assumindo que o fluxo de materiais pudesse ser mantido em um sistema fechado. (FROSCH; GALLOPOULOS, 1989).

Desenvolvimento de Produto (DP) é uma abordagem ampla, associada com escopo e duração, que engloba uma série de atividades e escolhas ao longo de um projeto. (LAGERSTEDT, 2003; ULRICHT; EPPINGER, 2008). As escolhas realizadas impactam atividades e decisões no processo de DP, as quais são determinantes para o nível de pegada ecológica ao longo do ciclo de vida do produto. (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002; EL-HAGGAR, 2007; ASHBY, 2009).

No entanto, a consciência e o papel integrador dos gestores organizacionais são fundamentais para assegurar o desempenho sustentável numa empresa. A pressão crescente advinda dos atores externos (clientes, governos e outros) demanda das organizações a orientação ao desenvolvimento de produtos sustentáveis. (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2007). Portanto, as decisões organizacionais sugeridas são normalmente relacionadas com as restrições e regras internas e externas, o que demandam soluções criativas e inovadoras. (GMELIN; SEURING, 2014). Para assegurar um futuro sustentável, é necessário contemplar modelos de negócios inovadores ao invés de remediar os problemas. (BOCKEN *et al.*, 2014). Percebe-se, a partir da literatura pesquisada, a carência de trabalhos que explorem as relações entre elementos externos e internos sob o prisma do desenvolvimento de produto.

Nesse contexto, no que tange ao *design* e ao desenvolvimento de produtos e sua relação com a natureza, pode-se classificar as abordagens existentes, em ecoeficientes ou ecoefetivas. Sob um prisma geral, as abordagens orientadas à ecoeficiência, ou ecoeficientes, visam reduzir os impactos ambientais e melhorar o resultado econômico. (WBSCD, 2000; DYLLICK; HOCKERTS, 2002), enquanto as abordagens orientadas à ecoefetividade, ou ecoefetivas, buscam imitar o ciclo biológico da natureza (fluxo cíclico). (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). Dentre as perspectivas de ecoeficiência e ecoefetividade, Abukhader (2007) apresentou uma discussão taxonômica sobre ambas. O autor alegou que a ecoeficiência é adequada para os processos internos e a ecoefetividade é apropriada para nível de sistemas.

Karlsson e Luttrupp (2006) apresentaram uma discussão sobre *Ecodesign* e DP, enfatizando maneiras de fazer sustentabilidade acontecer, apesar de todas as complexidades envolvidas. Eles resumem seu trabalho apontando que a sustentabilidade é uma questão de ir além da ecoeficiência e, por conseguinte, ecoefetividade é necessário. Hallstedt *et al.* (2010) revelou que nenhum método sistemático ou ferramentas tem sido focada em perspectivas socioeconômicas e ambientais, à luz do DP. Spangenberg, Fuad-Luke e Blincoe (2010) concluíram sua investigação, afirmando que o *design* é essencial para revelar o pleno potencial de sustentabilidade. Além disso, Birch, Hon e Short (2012) investigaram tipos diferentes tipos de ferramentas de Projeto para o Meio Ambiente (DfE), e os tipos de ações estruturantes e mecanismos entregues de apoio aos projetistas, a partir dos impactos nas saídas dos processos.

No que tange às diferenças e semelhanças, vários debates têm sido realizados na academia quanto às funções da ecoeficiência (foco interno) e ecoefetividade (foco externo). Roy (1994), Baumann, Boons e Bragd (2002), Karlsson e Luttrupp (2006), Luttrupp e Lagerstedt (2006) e Fiksel (2009) são exemplos de autores que demonstram estar alinhados com um pensamento orientado à ecoeficiência. Por outro lado, o Ayres, R. e Ayres, L. (2002), Braungart e McDonough (2002), Dyllick e Hockerts (2002), Ehrenfeld (2004), Stahel (2010), e The Ellen MacArthur Foundation (2012) apresentam-se comprometidos com a mentalidade ecoefetiva. Não obstante, esta miríade de autores traz externalidades, pontos de vistas controversos, no entanto, é reconhecido que ambas as abordagens podem ser utilizados no desenvolvimento de produtos.

Com base no contexto apresentado, a principal contribuição desta pesquisa é comparar as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas a partir da perspectiva do DP. Para tanto, propõe-se um modelo conceitual, estruturado a partir das dimensões planejamento, processos, materiais, aspectos sociais, aspectos ambientais e aspectos econômicos e construído a partir do exame das abordagens mencionadas. Essas dimensões são divididas em constructos a fim de identificar relações funcionais cruzadas. Como o resultado final, apresenta-se uma análise comparativa das abordagens para desenvolvimento de produtos sustentáveis.

O artigo está estruturado da seguinte forma: a seguir, apresenta-se a fundamentação teórica, seguido pelo método de pesquisa; após será apresentado as discussões e finalmente, as considerações finais.

4.2 ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE NA PERSPECTIVA DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O DP consiste em conjunto de atividades que se inicia com uma oportunidade de mercado e termina com um produto entregue ao cliente. (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2007). Segundo Uhricht e Eppinger (2008), o DP é composto por equipes multidisciplinares, processos estruturados, complexos e sistemáticos, a saber: (i) planejamento do produto; (ii) desenvolvimento conceitual; (iii) *design* em nível de sistema; (iv) detalhamento do projeto; (v) realização de testes e refinamento; e (iv) produção e *ramp-up*. Outro ponto de vista é proposto por Cooper e Edgett (2005), denominado Stage-Gate. Essa técnica é empregada com o intuito de avaliar os estágios de desenvolvimento do produto, desde a concepção até o lançamento no mercado. E para lançar produtos as organizações lidam com desafios que envolvem as equipes de desenvolvimento, como *trade-offs*, pressão, ideias e interesses conflitantes. (ULRICHT; EPPINGER, 2008).

As fases do planejamento de desenvolvimento de produto e inovação são essenciais para o emprego de métodos para: (i) avaliar os impactos; (ii) reduzir a demanda por matérias-primas; e (iii) reduzir o consumo de energia, produção de resíduos e a degradação ambiental. (LAGERSTEDT, 2003; LUTTROP E LAGERSTEDT, 2006, FIKSEL, 2009). O sucesso para empregar os métodos apontados carece de times integrados e aprendizagem organizacional constante, desde que suportado pelos gestores.

Contudo, a pressão financeira é um elemento influenciador dos níveis de sustentabilidade, que impõe restrições ao posicionamento competitivo das organizações em virtude de interesses de conflito, dentro de mercados globais e demandantes de produtos complexos. (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2007). Como consequência, os resultados sob o ponto de vista ambiental e social podem não ser alcançados. (MANZINI; VEZOLLI, 2008).

Nas últimas décadas, autores como Papanek (1985) começaram a revelar ao mundo a lacuna entre o homem e a natureza e a relevância do DP nesse contexto. O autor afirmou que o *design* é um dos principais contribuintes da instabilidade social e ambiental, ao esclarecer que o processo tem sido conduzido a partir de uma ótica “míope e pobre” e que, em hipótese alguma, contribui com a justiça social ou a equidade. Consequentemente, a geração de resíduos a partir dos meios de produção e consumo são desserviços à sociedade. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007). Ayres e Kneese (1996) argumentaram que essa estrutura de fluxo de materiais causa desequilíbrios ao longo do sistema econômico. Por conseguinte,

os problemas historicamente ocorridos no cerne ambiental e social demandam mudanças estruturais dentro dos limites da sociedade industrial, para a transição em direção a uma sociedade sustentável. (MANZINI; VEZOLLI, 2008).

A partir da consciência sobre os problemas ambientais históricos, o termo ecoeficiência emergiu no intuito de alterar os padrões mentais. (SCHMIDHEINY, 1992). Segundo o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2000), ecoeficiência é uma filosofia de gestão que possibilita melhoria do desempenho ambiental e intensidade de recursos redução ao longo do ciclo de vida. O conceito abarca três objetivos principais, tais como: (i) redução do consumo de recursos; (ii) redução do impacto sobre a natureza; e (iii) o aumento do valor do produto ou serviço, caracterizada como abordagem do tipo berço ao túmulo. (HUNT; SELLERS; FRANKLIN, 1992; MONT; BLEISCHWITZ, 2007). Adicionalmente, está associado com o *Triple Bottom Line* (TBL). (ELKINGTON, 1997).

Se o conceito de ecoeficiência fosse convincente, então estaria clarividente para as empresas moverem-se da teoria para a o campo prático. No entanto, as empresas reduzem a geração dos resíduos e emissões, no intuito de cumprir com os requisitos mínimos das normas e leis normas e implantar mudanças incrementais, de curto prazo. (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; PLOUFFE *et al.*, 2011). É enfatizado que a redução, um dos elementos centrais da ecoeficiência, não altera o fluxo linear do consumo de recursos e ignora os efeitos de longo prazo sobre os ecossistemas naturais. O conceito de redução demonstra ser apropriado para sistemas produtivos tornar-se “menos destrutivos”, pois permitem desacelerar o esgotamento dos recursos naturais. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

A visão de ecoefetividade, de outro modo, procura proporcionar aos sistemas industriais a manutenção dos fluxos de materiais em ciclo fechado. (MCDONOUGH, BRAUNGART; 2002; BENYUS, 2006; MCDONOUGH, BRAUNGART; 2013). Essa abordagem contrasta a visão ecoeficiente, pois estabelece uma restrição adicional sobre o processo de *design* e desenvolvimento de produto. Parte do princípio de que a indústria seja regenerativa e não destrutiva. Portanto, o pressuposto é que, a partir de uma lógica de desenvolvimento de produtos sustentáveis, sistemas de produção operem por meio de ciclos fechados de materiais. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). Para os mesmos autores, ecoefetividade sustenta o *Triple Top Line* (TTL), formado pelas mesmas dimensões econômica, social e ambiental.

4.3 ABORDAGENS ECOEFICIENTES

As abordagens de fluxo linear são as abordagens categorizadas como ecoeficientes. Esse é o modelo no qual o sistema industrial corrente opera: extrai, transforma, produz e descarta. As ações existentes minimizam, reduzem, mas não eliminam a geração da poluição e resíduos. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

4.3.1 Design for Sustainability (DfS)

Uma discussão histórica sobre as origens do *Design for Sustainability* (DfS) é remetida para décadas passadas e conectadas por fatos que indicam conexão com as abordagens do tipo berço ao túmulo. (DEWBERRY, 1996; MADGE, 1997). O DfS foi inicialmente chamado de *Sustainable Design* (Projeto Sustentável) por Dewberry e Grogin (1995). Os autores afirmaram que o *design* sustentável deveria ir além da abordagem focada no produto. Com isso, incluir uma perspectiva de sistemas, serviços, desmaterialização, contrato de uso e incorporar as práticas do *Ecodesign*. (CHICK; CHARTER, 1995). Short *et al.* (2012) reforçam que o conceito de *design* sustentável de produto pode ser compreendido como similar ao DfS.

O DfS é uma maneira globalmente reconhecida das organizações trabalharem para melhorar eficiência, estender a longevidade do produto, e incrementar oportunidades de mercado, além de abarcar o desempenho ambiental e social no desenvolvimento de produtos e serviços. (CRUL; DIEHL, 2006; SPANGENBERG, FUAD-LUKE, BLINCOE, 2010; SHORT *et al.*, 2012). Madge (1997) e Short *et al.* (2012) afirmam que o DfS transcende os conceitos do *Ecodesign*. Crul e Diehl (2006) mencionam que o DfS contempla os fatores econômicos, sociais e ambientais de modo integrado, por isso, incorpora estratégias de inovação para mudar a cultura da produção e consumo por meio do pensamento do tipo “berço ao berço”.

Ao esboçar uma proposta de pensamento sobre o DfS, Chick e Charter (1995) determinaram a estrutura, na ordem de importância, composta por: i) *repair* (fim de tudo); ii) refinar (ecoeficiência); iii) *redesign*; e iv) *rethink*. Os autores enfatizaram que *redesign* e *rethink* seriam soluções que deveriam ultrapassar os contornos da ecoeficiência. Similarmente, Crul e Diehl (2006) posicionam o conceito de DfS acerca dos desafios para implantação de processos inovadores de produtos e serviços, pois assemelham-se à proposta

de Chick e Charter. Explicitam que *redesign* e *benchmarking* são estratégias compatíveis com inovação incremental. Por outro lado, o *design* de novos produtos e *Product-Service System* (PSS) aparentam adequar-se conforme modelos de inovação radical. Ressaltam ainda que os dois últimos oferecem potencial de aplicação em mercados emergentes, no sentido de reordenar a lógica de produção e consumo.

Nesse sentido, Spangenberg, Fuad-Luke e Blincoe (2010) sugerem que o DfS deveria ser o caminho de sustento da transição para a meta de emissão zero, por meio da aplicação de tecnologias, materiais e processos, resultando em impactos negativos mínimos enquanto maximiza os impactos positivos na natureza e sociedade. Por sua vez, Braungart, McDonough e Bollinger (2007) consideram a emissão zero inapropriada para a construção de sistemas ecoefetivos. Logo, no âmbito deste trabalho, DfS é relacionada como abordagem ecoeficiente, embora possa não haver unânime convergência deste posicionamento.

4.3.2 Ecodesign

Com a evolução da consciência ambiental dos governos e da sociedade, as empresas começaram a incorporar o *design* verde em produtos e processos. Porém, por algum tempo, houve a percepção do uso do termo como forma de promoção política. Durante a década de 1980, o termo *Ecodesign* surgiu a partir da Ecological *Design* Association (EDA) em 1989. (MADGE, 1997). Para os efeitos da presente pesquisa, adota-se argumentos de Baumann, Boons e Bragd (2002), ao sugerirem que o *Design for Environment* (DFE) e *Ecodesign* são semelhantes. O primeiro é a abordagem empregada nos Estados Unidos; a segunda, utilizada na Europa. O mesmo posicionamento é reforçado por Lagerstedt (2003).

Como consequência da problemática da degradação ambiental, o *Ecodesign*, introduzido posteriormente ao *design* verde, foi desenhado para considerar os aspectos econômicos e ambientais no desenvolvimento de novos produtos. (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002). A abordagem rompe os limites do *design* verde e *design* sustentável, a fim de empregar estratégias para redução dos impactos ambientais decorrentes dos processos produtivos no sentido de reduzir os impactos ambientais e traduzi-los em impacto financeiro positivo nos negócios. (DEWBERRY, 1996; KARLSSON; LUTTROPP, 2006; PLOUFEE *et al.*, 2011). Por fim, o *ecodesign* está inserido entre o *design* de produtos verdes e *design* de produtos sustentáveis. (DEWBERRY; GROGIN, 1995).

A aplicação do *ecodesign* normalmente ocorre em desenvolvimento de produtos, o que contribui para promover a imagem da empresa e a reputação da marca no mercado.

(KARLSSON; LUTTROP, 2006). Como consequência, suporta a redução dos custos variáveis e o aumento da rentabilidade dos produtos. (PLOUFFE *et al.*, 2011). Embora não haja consentimento quanto ao uso das ferramentas de *Ecodesign*, associados principalmente à complexidade e despreparo dos projetistas (MAY; TAISCH; KERGA, 2012), uma das principais ferramentas utilizadas no aporte à abordagem é a Análise de Ciclo de Vida (ACV). (KARLSSON; LUTTROP, 2006; BORCHARDT *et al.*, 2011; PLOUFFE *et al.*, 2011).

Johansson (2002) destaca fatores de sucesso que empresas ambientalmente conscientes podem empregar na implantação de *ecodesign* no desenvolvimento do produto, a saber: (i) gestão; (ii) relação com o cliente; (iii) relação com o fornecedor; (iv) desenvolvimento de processos; (v) competências; e, (vi) motivação. Esses elementos permitem aos *designers* uma visão clara dos elementos necessários para o uso do *ecodesign* e DP e identificar os impactos ambientais a partir da perspectiva interna da organização. (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; KARLSSON; LUTTROP, 2006).

O intuito da aplicação da abordagem é utilizá-la em processos de negócio, facilitar a tomada de decisão, sempre em consonância com os objetivos das empresas e aspectos legais. (KARLSSON; LUTTROP, 2006; BORCHARDT *et al.*, 2011; PLOUFFE *et al.*, 2011; SHORT *et al.*, 2012). Os maiores desafios impostos às organizações estão relacionados com a mudança dos padrões de produção e consumo, os quais devem ser direcionados ao mercado a partir das ações do DP. (SHORT *et al.*, 2012; SPANGERBERG *et al.*, 2010).

4.4 ABORDAGENS ECOEFETIVAS

As abordagens ecoefetivas, no âmbito deste trabalho, são categorizadas como abordagens de ciclo fechado à medida que visam manter os materiais em ciclos contínuos nos sistemas industriais. (EHRENFELD, 1997; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; EL-HAGGAR, 2007). Inicialmente, a ideia seminal deste conceito havia sido discutida por Frosch e Gallopoulos (1989), propondo que sistemas industriais deveriam se comportar de forma semelhante aos ecossistemas naturais. Porém, divergências quanto à data original de exposição desse conceito podem ocorrer, o que amplia o campo para investigações futuras. Os conceitos trabalhados na pesquisa são explorados na sequência do trabalho.

4.4.1 Cradle to Cradle (C2C)

A abordagem *Cradle to Cradle* (C2C) tem como meta possibilitar que sistemas industriais operem em ciclos fechados e desafia as abordagens baseadas em ecoeficiência no sentido de criar uma visão de futuro sustentável. (BJORN; HAUSCHILD, 2012). Em seus princípios, reconhece os valores do capital natural e social no sentido de estabelecer o crescimento do *triple top line* (TTL). (BRAUNGART E MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). O TTL sintoniza os aspectos ambientais, sociais e econômicos, através da produção de produtos com qualidade e criação de valor.

O C2C parte do princípio de que a indústria é eficaz. É assumido que materiais biodegradáveis tornam-se nutrientes ao serem absorvidos pelo meio ambiente. Por outro lado, assume que materiais sintéticos ou minerais podem ser continuamente mantidos em ciclo fechado, causando impacto positivo e de longo prazo. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). Nesse sentido, o C2C sugere que produtos concebidos a partir da linha biológica são categorizados como consumíveis e os produtos técnicos são categorizados como produtos para uso, projetados com materiais para serem mantidos nos ciclos de reuso, remanufatura e recuperação. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). Validadas essas premissas, a pegada ecológica de produtos gera valor e não se torna um fardo para a sociedade, pois se extingue o conceito de geração de resíduo. Essa visão de longo prazo sobrepe a visão do TBL. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013).

Nesse sentido, é necessário desenvolver materiais inteligentes para suportar o *upcycling* e não o *downcycling*. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; GANPAT POL, 2010; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013), eliminar componentes tóxicos que possam ameaçar a saúde humana e o meio ambiente, e promover a rentabilidade e competitividade dos negócios. Apesar do conceito ser relativamente novo, o olhar em sistemas cíclicos não é recente, pois são derivados de uma visão de “metabolismo industrial”, conforme Frosch e Gallopoulos (1989).

Ao planejar novos processos, produtos e modelos de negócio com o aporte das novas tecnologias e inovação no intuito de eliminar os resíduos, a C2C baseia-se em três princípios. (BRAUNGART; MCDODOUGH, 2002):

- a) utilizar ciclos fechados: o resíduo não existe, pois cada processo deve contribuir para a saúde do ecossistema, gerando recursos para outros processos. Em outras

palavras, projetar produtos e processos que mantenham os materiais em fluxos cíclicos e fechados;

- b) assegurar balanço zero: o que é consumido é retornado à natureza e o uso de energias limpas e renováveis ao invés de meios produtivos poluentes;
- c) maximizar diversidade: cada problema requer uma solução própria, inspirada na natureza, da mesma forma que, metaforicamente, árvores são semelhantes, mas não idênticas.

Para viabilizar sua intenção, o C2C fundamenta-se no conceito de *upcycling*, que significa a manutenção da qualidade do material ao longo dos ciclos de uso, de modo que o aterro industrial não seja o destino final. Esse conceito se mostra possível se a composição dos materiais e tecnologias dos processos ao longo da cadeia de consumo estiverem integrados. (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; GANPAT POL, 2010; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013).

Cabe frisar que o Capitalismo Natural apresenta algumas nuances que se assemelham com o C2C. Dentre os princípios identificados está a lógica da oferta de serviços ao invés da venda de produtos; a alteração dos sistemas industriais e redesenho dos modelos de negócio conforme o comportamento dos ciclos biológicos. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007).

Nesse sentido, contribuir com o processo de transição entre a lógica linear de produção e consumo para a lógica de ciclos fechados torna-se uma necessidade frente à previsão de escassez de alguns elementos. Logo, a problemática dos desperdícios e geração de resíduos dos produtos e materiais torna-se um desafio de escala global, pois implantar o ciclo fechado em cadeias produtivas requer inovação de processos (BLEISCHWITZ, 2010) e de produtos.

Apesar da perspectiva futurista e de mudança radical no paradigma de condução de negócios, o C2C é percebido com ceticismo pela academia. Ainda não está provado que a abordagem contribui com vantagens ambientais, ao ser analisada sob o prisma do ACV. (BJORN; HAUSCHILD, 2012). Outro argumento que sustenta as limitações do C2C refere-se à segunda lei da termodinâmica, conforme discorrido por Ayres (2001).

4.4.2 Ecologia Industrial

A Ecologia Industrial (EI) é um campo interdisciplinar que introduziu um novo paradigma de processos industriais. É visto como um conjunto de ideias e práticas para alcançar a sustentabilidade, a partir da manutenção do fluxo de materiais em ciclos fechados,

também conhecido como balanço de massas em processos produtivos e reestruturação dos processos de produção e consumo. (EHRENFELD, 1997; AYRES, R; AYRES, L., 2002). A EI considera a integração entre as empresas, a fim de manter os materiais no âmbito da intra-firma, sistemas inter-firma e, em nível regional ou mundial, em uma relação simbiótica que emula o comportamento dos sistemas naturais. Ao manter o controle do fluxo das entradas e saídas dos sistemas industriais de forma sistemática, é possível obter níveis de relacionamentos compatíveis com os ecossistemas naturais. (CHERTOW, 2000).

Korhonen e Snäkin (2005) apresentaram o conceito de *roundput*, em oposição aos materiais empregados em sistemas industriais operantes sob a lógica do modelo linear. O conceito permite estabelecer conexão com o termo *upcycling* e identificar a sua relação com sustentabilidade. Entretanto, Marinho e Kiperstook (2001) criticam e consideram utópica a lógica dos ciclos industriais fechados. Os autores são taxativos ao afirmar que os sistemas industriais podem somente aproximar-se da ecoefetividade, pois, num sentido positivo, buscam o máximo reaproveitamento e recuperação dos produtos e rejeitos dos processos industriais. Complementam e apontam que resíduos e impactos sempre irão existir.

Embora seja consenso na academia a Ecologia Industrial é campo disciplinar voltado aos processos, no ponto de vista do autor, a abordagem é compatível com o desenvolvimento de produto. Se as ações estruturais forem discutidas e analisadas desde o início do processo de desenvolvimento, readequar os processos produtivos na cadeia de valor e promover a cooperação entre empresas pode ser benéfico tanto para as organizações, sociedade e meio ambiente.

4.4.3 Performance Economy

A Performance Economy (PE) é derivada dos trabalhos de Stahel na década de 70. Entende-se que existe uma similaridade forte com os conceitos propostos por Braungart e McDonough, Ellen MacArthur e ainda, conexões com os conceitos do Capitalismo Natural, de Hawken, Lovins, A. e Lovins, H. (2007). Para Stahel (2010), o conhecimento, a ciência e a tecnologia devem os indutores do desenvolvimento de produtos e soluções inteligentes, aumentar a produtividade dos materiais bem como desacoplar crescimento da utilização de recursos naturais.

O objetivo da PE consiste em impulsionar a economia em direção à sustentabilidade, por meio de três metas: aumento da riqueza; mais empregos; e redução do consumo de materiais e energia. (STAHHEL, 2010; THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013).

Redesenhar e introduzir negócios inovadores facilitaria a transição de uma economia industrial para a economia de serviços e, posicionaria as organizações dentro da perspectiva de sustentabilidade de negócios. Introduzir modelos de negócios inovadores contribui para lidar com as pressões do mercado e tornar o negócio sustentável, equalizando os benefícios sociais e ambientais com os resultados econômicos. (BOCKEN *et al.*, 2014).

Stahel (2010) questiona os modelos econômico e industrial atuais, visto que o resultado econômico está ancorado no consumo de recursos e resultados financeiros crescentes. As riquezas e aparentes melhorias do padrão de vida em função do conforto proporcionado pelos produtos industriais são, na visão do autor, uma perspectiva reducionista de avaliar o contexto global. O autor sustenta que o desenvolvimento dos padrões de vida em países industrializados está alicerçado no alto consumo de recursos naturais não renováveis (20% população consome 80% dos recursos). Com isso, a globalização dos modelos de negócio da economia industrial não é viável e os resultados atuais não são compatíveis com as necessidades futuras. Como resultado, emerge a necessidade da implantação de novos modelos de negócio em substituição ao atual.

4.4.4 Economia Circular

A Economia Circular (EC) está sustentada em princípios no qual a economia é regenerativa pelo *design*, no sentido de manter os fluxos de materiais e longevidade do uso dos produtos em linha com a capacidade de absorção da natureza. (THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Não é clara a verdadeira origem do termo Economia Circular. The Ellen MacArthur Foundation (2012) atesta que a formação do conceito não está associada com um único autor, mas salienta que esse conceito foi desenvolvido e aperfeiçoado com base na *Performance Economy*, Ecologia Industrial e no *Cradle to Cradle* (C2C). Uma linha a ser assumida é que Walter Stahel introduziu o termo na década de 1980 (THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013). A outra é que a Economia Circular foi originada a partir dos conceitos da Simbiose Industrial. (GENG *et al.*, 2012). Atualmente, o conceito de CE é amplamente promovido na Ásia (ANDERSEN, 2007) e se tornou um tema contemporâneo de pesquisa na China. (GENG *et al.*, 2012; LIU *et al.*, 2008).

Segundo Stahel (2010) e Scott (2013), o conceito de CE está atrelado ao uso dos materiais no final de vida, no qual o termo “resíduo” não existe. Em outras palavras, esse entendimento difere daqueles que visualizam o fluxo linear dos materiais, ou seja, os

materiais estão sempre em estado transitório para se tornarem matéria-prima de outro processo. Liu *et al.* (2008) complementam ao afirmar que a CE visa minimizar resíduos, conservar os recursos naturais não renováveis e desenvolver a eficiência energética e econômica simultaneamente. Abarca, ainda, os princípios 3R – redução, reuso e reciclagem – de materiais e controle dos níveis energéticos. (ANDERSEN, 2007).

A partir do resultado da utilização de energias renováveis, do pensamento sistêmico e materiais e processos de negócios adequados, espera-se a adequação com os limites de absorção da natureza. Os benefícios econômicos compreendem mitigação da volatilidade dos preços e riscos de fornecimento, potencial crescimento da oferta de empregos e resiliência econômica no longo prazo. (THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

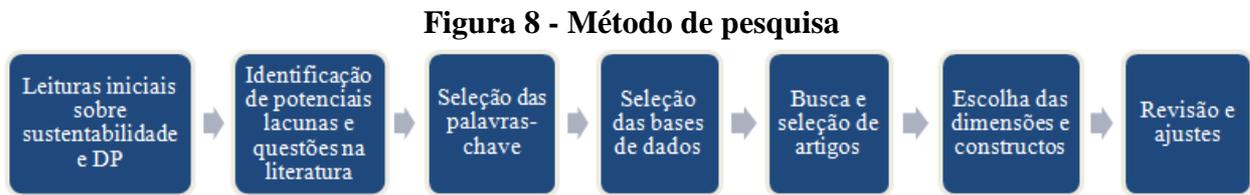
As semelhanças entre CE e C2C são evidentes: as duas perspectivas destacam os ciclos biológicos e tecnológicos, produtos para consumo e para o uso, eliminação da toxidade dos materiais, agregação de valor aos resíduos, diversidade, benefícios de longo prazo, inovação e outros. Todavia, sutis diferenças são percebidas. Enquanto The Ellen MacArthur Foundation (2012) frisa os benefícios decorrentes da longevidade e durabilidade dos materiais e produtos ao longo do ciclo de vida, Braungart, McDonough e Bollinger (2007) enfatizam que a ecoefetividade não se importa com a minimização dos materiais ou longevidade dos produtos, contanto que a premissa do ciclo fechado de materiais seja empregada.

Cabe frisar que o uso da abordagem de CE está associado ao alinhamento e adaptação às demandas regulatórias locais, além dos aspectos culturais os quais se relacionam com a eco-equidade e o acesso aos recursos naturais não renováveis para as futuras gerações. (STAHEL, 2010; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013).

4.5 MÉTODO DE PESQUISA

O método utilizado para a realização desta pesquisa foi a revisão bibliográfica. Os principais indutores para construção da presente proposta foram publicações associados ao desenvolvimento de produtos, mas não limitada ao Ashby (2009), Braungart e McDonough (2002), Byggeth *et al.* (2007), Dangelico e Pujari (2010), Fiksel (2009); Jawahir *et al.* (2005), Johansson (2002), Karlsson e Luttrupp (2006), Luttrupp e Lagerstedt (2006); May, Taisch e Kerga (2012), Rozenfeld *et al.* (2010), Uhricht e Eppinger (2008), UNEP (2007), Waage, (2007), Bocken *et al.* (2014) e Gmelin e Seuring (2014). A fim de garantir um processo

sistemático e estruturado, passou-se por os passos de acordo com a Figura 8, que fornece uma compreensão geral do processo de construção conceitual.



Fonte: O autor (2014).

Inicialmente, uma leitura flutuante foi conduzida, com base em livros de referência e artigos tangentes ao desenvolvimento de produtos e sustentabilidade. O intuito foi o de compreender o contexto e as principais preocupações relacionadas com o objeto de estudo. A leitura flutuante possibilitou determinar as palavras-chave de pesquisa, a saber: (i) desenvolvimento de produtos; (ii) sustentabilidade; (iii) desenvolvimento sustentável; (iv) ecoeficiência; (v) ecoefetividade; (vi) projeto para a sustentabilidade (DfS) (vii) *Ecodesign*; (viii) Cradle-to-Cradle (C2C); (ix) Economia Circular (EC); (x) Performance Economy (PE); e (xi) Ecologia Industrial (EI).

As fontes de dados consultados compreenderam as bases de dados internacionais, tais como *EBSCO Host*, *Science Direct* e *Engineering Village*. As bases de dados da CAPES, a Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações (EBDT), a Scielo Brasil e a Biblioteca Digital de Teses e Dissertação da Universidade de São Paulo também foram consultadas.

Seleção inicial revelou 90 artigos potenciais. Os resumos dos trabalhos foram lidos no intuito de avaliar a sua pertinência com o objeto de estudo. Um segundo filtro foi conduzido pela leitura das conclusões, ao longo das seções dos artigos selecionados. A seleção final revelou 19 artigos relevantes. Quanto aos demais documentos, cada qual foi examinado em termos de identificação de conteúdos relevantes para a pesquisa. Adicionalmente, as semelhanças, diferenças, taxonomias e os resultados desses estudos foram utilizados para caracterizar as diferentes abordagens. Os dados foram compilados e os resultados foram discutidos a fim de produzir a análise resumida neste documento.

Uma vez que o modelo conceitual inicial foi construído, foi submetido para avaliação de 6 especialistas. Os especialistas enquadram-se na categoria de doutores, pesquisadores e professores acadêmicos (possuem pesquisa e publicações na área), além de um consultor com ampla experiência no tema de sustentabilidade e desenvolvimento de produtos. Por conseguinte, foram classificados como especialistas pertencentes aos seguintes países: (i) Brasil – 3 especialistas; (ii) Inglaterra – 1 especialista; (iii) Itália – 1 especialista, e (iv)

Bélgica – 1 especialista. As suas contribuições suportaram melhorias e ajustes no modelo conceitual inicial apresentado, que possibilitou o desenvolvimento de trabalhos futuros. Para esse caso, o resultado será apresentado no artigo 3.

4.6 MODELO CONCEITUAL PROPOSTO PARA SUSTENTABILIDADE EM DP

A escolha das dimensões para este trabalho teve como ponto de partida os conceitos de DP, sustentabilidade e as abordagens discutidas. Seis dimensões foram incluídas no modelo, conforme segue: planejamento, processos, material, responsabilidade social, aspecto ambiental, aspecto econômico. As dimensões são contextualizadas na sequência.

4.6.1 Planejamento

A escolha da dimensão planejamento é relevante para a concepção e definição do escopo de um novo produto, o que inclui as características, funcionalidades, desempenho projetado e as tecnologias e inovações necessárias para implantá-los. (JOHANSSON, 2002; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006; ULRICHT; EPPINGER, 2008). Considerar metas para minimizar e reduzir os impactos ambientais no DP, a partir desenvolvimento sustentável aos processos apresenta benefícios às organizações. (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002; DANGELICO; PUJARI, 2010). Os benefícios em agir com consciência ambiental remontam à criação de novas demandas e mercados, estimulando a inovação na cadeia de valor, reduzindo e internalização dos riscos e custos e melhorar a imagem da empresa. (NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009; SIEGEL, 2009, STAHEL, 2010).

As decisões tomadas nas fases iniciais do DP aumentam as chances de sucesso na implantação. Nesse sentido, não somente as escolhas relacionadas ao custo e investimentos, desempenho, mercados-alvo devem ser avaliadas na fase de planejamento (JOHANSSON, 2002; UHRICHT; EPPINGER, 2008) sendo responsáveis por 70% dos custos de manufatura e uso e grande parcela dos impactos no ciclo de vida. (WAAGE, 2007). Os constructos propostos para a dimensão são:

- a) Engenharia simultânea: o desempenho das atividades no DP impactam a duração, custo e *time to market* dos produtos. A inclusão dos requisitos de sustentabilidade nas fases iniciais pode ser determinante para a competitividade organizacional. (JOHANSSON, 2002; ROZENFELD *et al.*, 2010; MAY; TAISCH; KERGA, 2012);

- b) Gestão do desenvolvimento tecnológico: refere-se à aplicação de tecnologias e uso da gestão das informações do ciclo de produto para a produção de produtos e processos sustentáveis. (GMEULIN, SEURING, 2014). O uso de novas tecnologias permite a ampliação do foco restrito ao produto e ambiente interno para uma perspectiva de sistemas. (BOCKEN *et al.*, 2014). No entanto, o desafio das organizações consiste em se tornar sustentável de forma viável, uma vez que investimentos são necessários. A dependência de decisões gerenciais alinha-se ao planejamento estratégico organizacional e a capacidade da empresa em inovar. (UNEP, 2007; ULRICHT; EPPINGER, 2008; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; WBCSD, 2013);
- c) Análise de ciclo de vida (ACV): refere-se aos métodos quantitativos para avaliação dos impactos do produto ou serviço ao longo do ciclo de vida. (HUNT; SELLERS; FRANKLIN, 1992; UNEP, 2007; HÖJER *et al.*, 2008; BJORN; HAUSCHILD, 2012).

4.6.2 Processos

Orientar a cultura de sustentabilidade no DP requer discussões não somente em nível interno (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002), mas também os processos associados ao uso e pós-uso. (ORSATO; WELLS, 2006; GEHIN, ZWOLINSKI; BRISSAUD, 2008). Nesse sentido, a dimensão processo é essencial para que as atividades estejam desenhadas no desenvolvimento de produtos, a fim de evitar a geração de resíduos e a poluição durante o ciclo de vida. (EHRENFELD, 1997; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; STAHEL, 2010). Produtos devem ser projetados para serem mantidos em ciclos fechados sem a perda de qualidade dos materiais. (BYGGETH, BROMAN, ROBÈRT, 2006; KARLSSON; LUTTROPP, 2006; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). É considerada a perspectiva de cadeia produtiva, bem como a logística e processos de ciclo reverso. Para esta dimensão, propõem-se os seguintes construtos:

- a) *Upcycling*: produtos devem ser projetados considerando materiais e resíduos como itens valiosos, sem perdas e degradação da qualidade à medida que os materiais passam por ciclos de uso consecutivos. (CHERTOW, 2000; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; BRAUNGART; MCDONOUGH; 2013);
- b) Reusar, remanufaturar e reciclar (3R): responsável pela extensão do ciclo de vida de um material, desde que concebido para esse propósito. O 3R está normalmente

associadas aos aspectos regulatórios, tais como o "*take-back responsibility*" ou responsabilidade estendida ao fabricante" ou ao fim de vida dos produtos. (KARLSSON; LUTTROPP, 2006; GEHIN, ZWOLINSKI; BRISSAUD, 2008; DANGELICO; PUJARI, 2010; KRIKKE 2010; STAHEL, 2010). Em termos de Brasil, está aportado pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010);

- c) Elevar a produtividade e reduzir as perdas dos recursos: visa evitar que materiais e produtos sejam descartados durante ou após o uso. Nesse sentido, alinhar as atividades do DP para garantir aumento da taxa de uso de materiais e reduzir a demanda de matérias-primas virgens (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; BRASIL, 2010; STAHEL, 2010; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). Sob o prisma do negócio, contribui para a redução de custos e a competitividade no longo prazo (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; JOHANSSON, 2002; DESPEISSE *et al.*, 2012).

4.6.3 Material

Selecionar materiais adequados para o desenvolvimento de produtos caracteriza-se como fator essencial para a organização entregar produtos sustentáveis e comunicar a imagem de consciência e responsabilidade ao mercado. (LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006). Materiais adequados determinam tanto o desempenho do produto quanto das fontes energéticas requeridas para funcionamento durante o uso. (MANZINI; VEZOLLI, 2008; FIKSEL, 2009). A qualidade do material escolhido para uma determinada aplicação influencia a capacidade em mantê-los em ciclos perpétuos, embora nem sempre seja possível recapturar materiais nas fases de uso e pós-uso. Se isso ocorre, então, os resíduos gerados devem causar impacto positivo ao meio ambiente, depois de superada a toxicidade e as limitações e impactos negativos decorrentes dos métodos de produção atuais. (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013). Para a dimensão material, os constructos propostos são:

- a) Toxicidade: refere-se à seleção de materiais e elementos da composição química, que minimize a dispersão de produtos tóxicos, compatíveis com a saúde humana e meio ambiente, determinados por regulamentação e normas legais. (EHRENFELD, 1997; WBSCD, 2000; JAWAHIR *et al.*, 2005; STAHEL, 2010; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; MDBC, 2013);

- b) Ciclo Fechado: significa que os materiais devem ser projetados para circular nos ciclos técnicos ou biológicos de valor precisam trabalhar em sinergia para valorar o que seria normalmente considerado resíduo. (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; GIBBS; DEUTZ, 2007; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013; MBDC, 2013).

4.6.4 Responsabilidade Social

As práticas de responsabilidade social, quando alinhadas com as estratégias determinadas pelas organizações visam a obtenção do desenvolvimento sustentável. (BOCKEN *et al.*, 2014). As decisões tomadas pela direção das organizações refletem-se nos processos internos e representam os resultados de sustentabilidade social, bem como sustentam o nível de comunicação e transparência com os *stakeholders*. (CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008; ELKINGTON, 2006; NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008). Sob a perspectiva de DP, são sugeridos os seguintes constructos:

- a) Eco-equidade: a noção de sustentabilidade requer a compreensão de que as futuras gerações não devem ser ameaçadas pela indisponibilidade de recursos naturais. Por isso, as ações das organizações e a visão de longo prazo são fundamentais assegurar eco-equidade. (WCED, 1987; MADGE, 1997; AYRES, R.; AYRES, L., 2002; DYLLICK; HOCKERTS, 2002; HART; MILSTEIN, 2003; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008);
- b) Qualidade de vida, saúde, segurança e bem estar: acesso ao trabalho, redução das desigualdades sociais, acesso aos produtos que não causem impactos à saúde e meio ambiente. E a visão pela qual as organizações buscam romper o terreno entre a saúde da organização, redução do consumo de recursos naturais e produção de bens e serviços. (JOHANSSON, 2002; HART; MILSTEIN, 2003; MANZINI; VEZOLLI, 2008; FIKSEL, 2009; STAHEL, 2010; THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013);
- c) Engajamento dos *stakeholders*: os *stakeholders* são atores sociais que demandam das organizações ações contínuas em busca de negócios sustentáveis. Em certo sentido, os processos de governança corporativa permitem participação ativa em algum nível de decisão, o que influencia as decisões dos processos. (CHICK; CHARTER, 1995; KARLSSON; LUTTROPP, 2006; AMBEC; LANOIE, 2008; FIKSEL, 2009);

- d) Cultura e ética: consiste em estimular práticas sustentáveis nos diversos níveis da organização, com fornecedores e clientes. Desdobrar essas práticas e encorajar participação ativa no desenvolvimento sustentável com vistas à reeducação dos modelos de produção e consumo, refletidas em processos. (EHRENFELD, 1997; DYLLICK; HOCKERTS, 2002; ELKINGTON, 2006; THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013; BOCKEN et al., 2014).

4.6.5 Aspecto Ambiental

Discutir sustentabilidade a partir da visão do desenvolvimento de produtos aparenta ser viável se houver condições favoráveis e estimulantes à competitividade. Nesse sentido, a questão ambiental é um dos elementos do tripé da sustentabilidade (ELKINGTON, 1997) e demanda cumprimento das normas legais e perspectiva de longo prazo. O aspecto ambiental significa reduzir o consumo de recursos naturais, não somente em função das leis, mas também para o desenvolvimento de produtos e processos responsáveis e menos poluentes. (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009; PORTER; VAN DER LINDE, 1995a). Para a presente dimensão, os seguintes constructos são sugeridos:

- a) Ecoefetividade: abordagem relacionada à produção de bens e serviços em linha com a capacidade de absorção dos ecossistemas, a partir da manutenção do fluxo de materiais em ciclo fechado. (CHERTOW, 2000; DYLLICK; HOCKERTS, 2002; ABUKHADER, 2007; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; BJORN; HAUSCHILD, 2012). Fiksel (2009) complementa sobre sistemas ecoeficientes ao mencionar a resiliência, ou seja, a condição de se adaptar a condições desfavoráveis.
- b) Aspectos regulatórios: relacionado com as regras e procedimentos impostos por lei a serem adotados como práticas de negócio pelas organizações. Consecutivamente, leis maduras possibilitam a redução do consumo de recursos naturais, geração de resíduos, custos e oportunidade de adicionar valor ao negócio pela implantação de processos inovadores. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; EHRENFELD, 1997; AYRES, R.; AYRES, L., 2002; BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008; NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009; UNEP, 2013).

4.6.6 Aspecto Econômico

O aspecto econômico é o elemento de continuidade das operações das organizações. Em certo sentido, a sustentabilidade econômica, a partir da perspectiva do negócio e do desenvolvimento de produto, estimula o processo de inovação, lucratividade e competitividade. O desafio consiste em visualizar o longo prazo, mantendo os níveis de competição ao mesmo tempo em que existe uma forte demanda para a redução de consumo dos recursos naturais. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; HART; MILSTEIN, 2003; AMBEC; LANOIE, 2008; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008). Os constructos propostos para a dimensão aspectos econômicos são:

- a) Ecoeficiência: calculada como o valor econômico adicionado pela organização em relação ao impacto ecológico causado. (WBCSD, 2000; DYLLICK; HOCKERTS, 2002; HART; MILSTEIN, 2003; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; UNEP, 2013);
- b) Lucratividade: é o resultado do esforço investido em novos produtos, tecnologias, uso eficiente dos recursos empregados, redução dos custos e desperdícios e atração de novos clientes a partir da visão de empresa sustentável. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; FINSTER; EAGAN; HUSSEY, 2002; HART; MILSTEIN, 2003; UNEP, 2007; AMBEC; LANOIE, 2008; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008; FIKSEL, 2009);
- c) Desacoplar economia e ecologia: o objetivo é a redução da taxa de uso de recursos naturais por atividade econômica. Por um lado, visa atenuar a previsão de esgotamento dos recursos naturais; por outro, contribui para o resultado do negócio. (STAHEL, 1997; WBCSD, 2000; STAHEL, 2010; UNEP, 2011).

O resultado da apresentação das dimensões e conceitos aderentes às abordagens ecoeficientes e ecoefetivas estão apresentadas no Quadro 2, no intuito de sintetizar e possibilitar a comparação entre as abordagens aqui discutidas.

Quadro 2 - Quadro conceitual comparativo entre as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas

Dimensão	Constructo	Ecoeficiência		Ecoefetividade				Definições	Referências
		<i>Design for Sustainability</i>	<i>Ecodesign</i>	<i>Cradle to Cradle</i>	<i>Ecologia Industrial</i>	<i>Performance Economy</i>	<i>Economia Circular</i>		
Planejamento	Engenharia Simultânea	•	•					É uma filosofia voltada ao planejamento e execução de atividades simultâneas no desenvolvimento de novos produtos.	Baumann, Boons e Bragd (2002); Johansson (2002); Jawahir <i>et al.</i> (2005); Rozenfeld <i>et al.</i> (2010); May, Taisch e Kerga (2012).
	Gestão do desenvolvimento tecnológico	•		•	•	•	•	Associado à estratégia e capacidade de inovação no desenvolvimento do produto e redesenho dos processos de negócios. Ao final, busca entregar os resultados econômicos e ambientais delineados no escopo do projeto.	Braungart e McDonough (2002); Pujari (2006); UNEP (2007); Ulrich e Eppinger (2008); Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009); Bleischwitz (2010); Dangelico e Pujari (2010); Krikke (2010); The Ellen MacArthur Foundation (2012); WBCSD (2013); Bocken <i>et al.</i> (2014); Gmein e Seuring (2014).
	Análise do Ciclo de Vida	•	•	•	•	•		Ferramenta utilizada para avaliar os impactos ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço. Por meio de uma abordagem quantitativa, provê uma compreensão dos aspectos ambientais no ciclo de vida do produto e por isso, permite a escolha dos materiais, processos e produtos que reduzam/minimizem os impactos ambientais.	Hunt, Sellers e Franklin (1992); Ehrenfeld (1997); Baumann, Boons e Bragd (2002); Crul e Diehl (2006); Bevilacqua, Ciarapica e Giacchetta (2007); UNEP (2007); Höjer <i>et al.</i> (2008); Heijungs <i>et al.</i> (2010); Birch <i>et al.</i> (2012); Bjorn e Hauschild (2012).
Processos	Upcycling			•	•			Produtos e materiais deveriam ser projetados itens e componentes reutilizáveis, sem perda de qualidade e mínimo impacto ambiental. Para tanto, o produto precisa estar projetado com essa finalidade.	Ehrenfeld (1997); Chertow (2000); Braungart e McDonough (2002); Byggeth; Broman; Robert (2006); Hawken, Lovins, A., Lovins, H. (2007); McDonough, Braungart e Bollinger (2007); Ganpat Pol (2010); Braungart e McDonough (2013).
	Reusar, remanufaturar, reciclar	•	•	•	•	•	•	Aumentar a eficiência dos materiais e energia utilizado nos produtos ao longo do ciclo de vida. Estão normalmente associadas com o efeito de substituição, regulatórios do tipo "take back", "extended producer responsibility" ou "end of life".	Braungart e McDonough (2002); Jawahir <i>et al.</i> (2005); Karlsson e Luttrupp (2006); Andersen (2007); Gehin, Zwolinski e Brissaud (2008); Bleischwitz (2010); Dangelico e Pujari (2010); Krikke (2010); Stahel (2010).
	Elevar a produtividade e reduzir as perdas dos recursos	•	•		•	•	•	Manter os recursos naturais em ciclo fechado, com o objetivo de evitar o esgotamento dos materiais e poluição. Sob o ponto de vista dos negócios, contribui para a redução de custos e despesas e competitividade no longo prazo.	Porter e Van der Linde (1995a); Johansson (2002); Jawahir <i>et al.</i> (2005); Hawken, Lovins, A., Lovins, H. (2007); Bleischwitz (2010); Stahel (2010); The Ellen MacArthur Foundation (2012); Despeisse <i>et al.</i> (2012).
Material	Toxicidade	•	•	•	•	•	•	Consiste na caracterização e seleção de materiais livres de substâncias tóxicas perniciosas ao meio ambiente e saúde humana.	Fiksel (1996); Ehrenfeld (1997); WBCSD (2000); Jawahir <i>et al.</i> (2005); Crul e Diehl (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Ashby (2009); Braungart e McDonough (2013); MBDC (2013).
	Fluxo ciclico			•	•	•	•	Projetar materiais para circular nos ciclos técnicos e biológicos. Para serem utilizados no ciclo biológico, os materiais devem ser biodegradáveis, sem afetar o meio ambiente e saúde humana. Para utilizar os materiais no ciclo técnico de forma segura num sistema de remanufatura, recuperação e reuso, sem perder a qualidade ao longos dos ciclos de uso.	Ehrenfeld (1997); Gibbs e Deutz (2007); Hawken, Lovins, A., Lovins, H. (2007); McDonough, Braungart e Bollinger (2007); Stahel (2010); Braungart and McDonough (2013); MBDC (2013).
Responsabilidade Social	Eco-Equidade	•		•	•			A noção de sustentabilidade atribui o entendimento temporal no qual o ser humano não deve ser ameaçado pelo acesso ao recursos do meio ambiente e sim, assegurar o acesso aos recursos naturais tanto hoje quanto no futuro.	Madge (1997); Ayres e Ayres (2002); Dyllick e Hockerts (2002); Braungart and McDonough (2002); Hart e Milstein (2003); Chen, Boudreau e Watson (2008).
	Qualidade de vida, saúde, segurança e bem estar	•	•	•	•	•		Acesso aos empregos, oportunidades e redução da desigualdade social.	Johansson (2002); Hart and Milstein (2004); Manzini e Vezolli (2008); Fiksel (2009); Stahel (2010); The Product-Life Institute (2013).
	Engajamento stakeholders	•	•		•			Atores sociais impõem às organizações alternativas para tornarem-se sustentáveis bem como possibilitar aos <i>stakeholders</i> participarem em certos níveis decisórios.	Chick and Charter (1995); Crul e Diehl (2006); Karlsson e Luttrupp (2006); Ambec e Lanoie (2008); Fiksel (2009).
	Cultura e ética	•		•	•	•	•	Promover e estimular práticas sustentáveis no dia-a-dia; envolver fornecedores e clientes com a cultura de sustentabilidade; respeitar as leis e diretrizes norteadoras.	Ehrenfeld (1997); Dyllick e Hockerts (2002); Braungart e McDonough (2002); Elkington (2006); The Product-Life Institute (2013).
Aspecto Ambiental	Ecoefetividade			•	•	•	•	Produção e consumo de bens e serviços que ultrapassa os limites das consequências negativas implícitas na ecoeficiência. Sistemas ecoefetivos celebram a abundância dos sistemas naturais e biológicos. Os materiais não capturados podem ser absorvidos pelo compartilhamento ou colaboração de organizações.	Braungart and McDonough (2000); Chertow (2000); Dyllick e Hockerts (2002); Braungart e McDonough (2002); Abukhader (2007); McDonough, Braungart e Bollinger (2007); Fiksel (2009); Bjorn e Hauschild (2012); MBDC (2013).
	Aspectos regulatórios	•	•		•	•	•	Objetiva sinalizar para as companhias as regras e procedimentos ambientais a serem adotadas bem como apresentar oportunidades para a redução do consumo de recursos naturais, riscos, desperdícios, custos e motivar a implementação de processo inovadores.	Porter e Van der Linde (1995a); Ehrenfeld (1997); Ayres e Ayres (2002); Hart e Milstein (2003); Byggeth e Hochschorner (2006); Nascimento; Lemos e Mello (2008); Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009); Dangelico and Pujari (2010); Stahel (2010); UNEP (2013).
Aspecto Econômico	Ecoeficiência	•	•		•			Usualmente calculada como o valor econômico adicionado pela empresa em relação ao impacto ecológico.	WBCSD (2000); Dyllick e Hockerts (2002); Hart e Milstein (2003); Crul e Diehl (2006); Bevilacqua, Ciarapica e Giacchetta (2007); Chen, Boudreau e Watson (2008); Ellen MacArthur Foundation (2012); UNEP (2013).
	Lucratividade	•	•	•	•	•	•	Investir em estratégias sustentáveis e tecnologias limpas é vista como uma oportunidade de aumentar a competitividade, reduzir custos, conquistar novos clientes mercados e a lucratividade.	Porter e Van der Linde (1995a); Ehrenfeld (1997); Braungart e McDonough (2002); Finster, Eagan e Hussey (2002); Hart e Milstein (2003); UNEP (2007); Ambec e Lanoie (2008); Chen, Boudreau e Watson (2008); Fiksel (2009).
	Desacoplar economia e ecologia	•	•		•	•	•	Visa reduzir a taxa de recursos naturais utilizados por unidade de atividade econômica. Por um lado, atenua a previsão de escassez de recursos naturais, por outro lado, melhora o resultado econômico, por meio da redução de custos e aumento da produtividade dos recursos.	Stahel (1997); WBCSD (2000); Karlsson e Luttrupp (2006); Stahel (2010); UNEP (2013).

Fonte: O autor (2014).

4.7 DISCUSSÃO

O impacto ambiental causado por processos, produtos e o consumo descontrolado resultou na pressão crescente de atores civis e políticos na seara dos mecanismos reguladores de produção sustentável. (SPANGENBERG, FUAD-LUKE E BLINCOE, 2010). As organizações, por sua vez, precisam direcionar atenção para a reestruturação dos seus processos de negócio, dentre eles o DP, no sentido de construir o caminho para a sustentabilidade. (MANZINI; VEZOLLI, 2008). A adoção de práticas sustentáveis requer mudanças nos paradigmas e modelos mentais dos atores envolvidos, no sentido de perceber os possíveis benefícios. (FIKSEL, 2009; PLOUFFE *et al.*, 2011).

As organizações estão inseridas num ambiente de constante mutação demandado por clientes e mercados exigentes demandam a adoção de processos sustentáveis como meio de obtenção de cumprimento das leis e normas, diferenciação de produtos, acesso à mercados restritos. (AMBEC; LANOIE, 2008; FIKSEL, 2009; BOCKEN *et al.*, 2014). Sob o ponto de vista do DP, ainda existem lacunas a serem preenchidas. Os argumentos assertivos de Karlsson e Luttropp (2006), Hallstedt *et al.* (2010) e Spangenberg, Fuad-Luke e Blincoe (2010) oferecem evidências para serem discutidas e avaliadas. Do mesmo modo, Bocken *et al.* (2014) ressaltam que o entendimento sobre sustentabilidade é complexo e fragmentado. Logo, o cenário de insustentabilidade futuro tende a continuar em ritmo progressivo. Portanto, é mister destacar a importância das organizações distinguirem as diferenças e similaridades entre ecoeficiência e ecoefetividade e as abordagens aderentes à luz do DP.

Conforme disposto no Quadro 2, as abordagens foram classificadas e analisadas, o que permite auferir considerações relacionadas ao DP de modo sistemático. Com base na revisão da literatura, três dos constructos propostos estão relacionados com as abordagens estudadas: “reusar, remanufaturar e reciclar”, “toxicidade” e “lucratividade”. É possível inferir que todas as abordagens visam estender a vida útil dos produtos, atender leis e regulamentações, e gerar lucro a partir do desenvolvimento de produtos. A análise da gestão do desenvolvimento tecnológico ampara a relação com os aspectos do tripé da sustentabilidade, mesmo que configure relação indireta com a rentabilidade e produtividade dos recursos. Nesse sentido, observa-se associação com a Hipótese de Porter (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a) e as oportunidades tangíveis destacadas por Bleischwitz (2010).

Com base no quadro proposto, verifica-se que, enquanto “engenharia simultânea” relaciona-se somente com abordagens ecoeficientes, os constructos “*upcycling*”, “fluxo

cíclico” e “eco-efetividade” relacionam-se com as abordagens ecoefetivas. Essa análise permite apreciar a importância da engenharia simultânea para entregar produtos focados nos resultados imediatos. Como consequência, conflitos e *trade-offs* emergem para desenvolver produtos sustentáveis. (ULRICHT AND EPPINGER, 2008; ROZENFELD *et al*, 2010; MAY; TAISCH E KERGA, 2012). Portanto, a decisão em adotar processos sustentáveis e desdobrados no DP (JOHANSSON, 2002) pode ser influenciada pela pressão e fatores limitantes internos e externos à organização. (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2007).

Para a dimensão Planejamento, avalia-se similaridades entre ecoeficiência e ecoefetividade. As abordagens ecoeficientes apresentam-se aderentes ao constructo gestão do desenvolvimento tecnológico, as quais ultrapassam as fronteiras dos aspectos regulatórios (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007), e suportam a gestão do processo de comunicação e uso de dados e informação ao longo do ciclo de vida do produto. (GMEULIN; SEURING, 2007). Ainda há evidências limitadas do uso do ACV na operacionalização do C2C (BJORN; HAUSCHILD, 2012), embora o método possa ser aplicada na seleção de materiais para abordagens de ciclo fechado. Uma visão similar é identificada nas abordagens ecoeficientes, exceto o *ecodesign*, para o qual não foi identificado evidências relacionadas com a gestão do desenvolvimento tecnológico. Sem ter a intenção de considerar como definitivo ou absoluto, mas as análises evidenciam que o *Ecodesign* adere aos resultados de curto prazo. (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008; PLOUFFE *et al.*, 2011).

No que tange à dimensão Processos, as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas demonstram similaridades. Conforme apontamentos anteriores, as evidências indicam que o constructo “reusar, remanufaturar e reciclar” converge para ambas abordagens. O constructo “elevar a produtividade e reduzir as perdas dos recursos” é referenciado em todas as abordagens propostas, exceto para o C2C. Assume-se que essa diferença é percebida em virtude dos princípios conceituais, que desconsideram as taxas de uso dos materiais contanto que os mesmos mantenham-se em ciclos fechados. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002, BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

Com relação ao constructo “*upcycling*”, somente os conceitos C2C e Ecologia Industrial apresentam aderência. Essa descoberta evidencia a visão de sistemas e fluxo de materiais a partir da visão da firma. (EHRENFELD, 1997; CHERTOW, 2000; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002, BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

Para a dimensão Materiais, as abordagens são similares em termos de eliminação da toxicidade das matérias-primas desde a escolha dos componentes dos produtos. Com relação ao constructo “fluxo cíclico”, as referências relacionadas com abordagens ecoefetivas demonstram plena aderência, apesar das taxonomias e discussões da academia. O C2C, Economia Circular, Ecologia Industrial e *Performance Economy* demonstram ser congruentes pois há evidências da linha de formação de conceitos advindos de décadas passadas. Por conseguinte, corroboram com a relevância da influência entre Stahel e Braungart e McDonough. (AYRES, R.; AYRES, L. 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; STAHEL, 2010).

Com relação à dimensão Aspecto Social, as abordagens propostas apresentam similaridades para os constructos “qualidade de vida, saúde, segurança e bem estar” e “cultura e ética”. O DfS, C2C e a Ecologia Industrial sustentam uma posição de similaridade, com pequenas diferenças. Cabe ressaltar que, à luz da literatura pesquisada, que o DfS é uma versão evoluída do *Ecodesign*. (SHORT *et al.*, 2012; UNEP, 2012).

As linhas ecoeficientes e ecoefetivas, por assim dizer, distinguem-se no âmbito da dimensão Aspecto Ambiental. O constructo ecoefetividade almeja produzir ciclos fechados de materiais, conforme citado anteriormente. Para a *Performance Economy*, oferecer novas formas de negócio por meio de ciclos fechados caracteriza-se como um meio de mitigar as pressões sociais e ambientais. (STAHEL, 2010). Com relação ao C2C, é assumido que nenhuma legislação ou mecanismo de controle seria necessário se as organizações fossem responsáveis o suficiente para não poluir o meio ambiente e prejudicar a saúde humana. As outras abordagens, em contrapartida, julgam que as considerações legais são necessárias para determinar as responsabilidades para lidar com as ineficiências e impactos gerados pelos negócios. Em certo sentido, a visão de Hipótese de Porter não é suficiente para alcançar sustentabilidade ambiental, conforme indicado por Ambec e Lanoie (2008).

No que tange à dimensão Aspecto Econômico, as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas apresentam-se aderentes ao constructo lucratividade. Todas as dimensões de ecoeficiência são essencialmente similares ao serem analisadas sob o prisma do constructo “desacoplar economia e ecologia”. A exceção fica por conta do C2C, que objetiva reacoplar economia e ecologia, ao invés de separá-los. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). Como relação ao exame do constructo “ecoeficiência” tanto o DfS quanto o *Ecodesign* demonstram aderência. Para a análise das abordagens ecoefetivas, identifica-se que somente a Ecologia Industrial é aderente.

Infere-se, a partir dos resultados obtidos, conexão com os processos internos e externos. (EHRENFELD, 1997; CHERTOW, 2000).

Outro ponto a ser destacado a partir da análise comparativa realizada refere-se ao maior nível de aderência das abordagens ecoeficientes aos constructos propostos. As exceções identificadas relacionam-se com a “gestão do desenvolvimento tecnológico”, ”*upcycling*”, “fluxo cíclico”, “cultura e ética” e “ecoefetividade”. A “gestão de desenvolvimento tecnológico” condiz com a implantação de processos inovadores que rompem os limites da visão de curto prazo (PUJARI, 2006; WBCSD, 2013). “*Upcycling*” é um conceito relacionado ao resíduo zero, proposição de valor e colaboração nos processos de negócios. (EHRENFELD, 1997; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013). Para o “fluxo cíclico”, identifica-se a predominante aderência das abordagens ecoefetivas. (EHRENFELD, 1997; GIBBS; DEUTZ, 2007; HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013; MBDC, 2013). Os resultados obtidos para o constructo “cultura e ética” sustentam-se no relato de Karlsson e Luttrupp (2006) ao afirmarem que, em função da redução da visão do horizonte dos negócios (curto prazo), a inclusão de questões socioambientais deve ser suportada pela alta direção das organizações e não somente recair sobre a responsabilidade de projetistas e engenheiros. Nesse sentido, os achados remetem associação com as abordagens ecoefetivas.

Com base nos resultados analisados, destacam-se os seguintes elementos: (i) proposta de uma estrutura funcional cruzada, composta por dimensões, constructos e abordagens para o desenvolvimento de produtos; e (ii) a aderência das abordagens aos constructos propostos, indicando que nenhum deles adere plenamente aos constructos.

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma comparação conceitual, ilustrada por um modelo conceitual, baseada em uma revisão da literatura, das abordagens aderentes às perspectivas ecoeficientes e ecoefetivas à luz do desenvolvimento de produto. O DP foi escolhido como indutor da discussão devido aos impactos e relação com vários aspectos do processo de desenvolvimento, tais como a demanda de materiais, o consumo energético, os impactos ambientais, sociais e econômicos. Mais do que apresentar uma visão estrita da relação destes elementos, a intenção foi proporcionar o entendimento da relação entre as abordagens e constructos.

Atualmente, existem várias abordagens associadas ao DP. Similares em seus propósitos e orientações gerais, essas abordagens apresentam diferenças em termos de paradigmas, pressupostos e orientações específicas, ocasionando dúvidas, especialmente no entorno produtivo, sobre qual o potencial ou adequabilidade das mesmas. Avaliaram-se, em diferentes aspectos, as abordagens DfS, *Ecodesign*, C2C, EI, PE e EC, por meio da observação de um conjunto de dimensões que envolvem o ciclo de projeto e desenvolvimento do produto.

Em virtude dos aspectos taxonômicos, destaca-se consensualmente que todas as abordagens visam a contribuir com a transição para a sustentabilidade. Nesse sentido, foram delineados elementos que atribuem características à ecoeficiência e ecoefetividade, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Características distintas entre ecoeficiência e ecoefetividade

	Ecoeficiente	Ecoefetivo
Orientação	Tende a promover ações com resultados de curto prazo	Tende a promover ações com resultados de longo prazo
Meta	<i>Triple bottom line</i>	<i>Triple top line</i>
Paradigma	Redução e minimização (Berço ao túmulo)	Resíduo = nutriente (Berço ao berço)
Pressupostos	Fluxo linear de materiais	Fluxo cíclico de materiais
Inovação	Tende a ser incremental	Tende a ser radical
Visão de Negócios	Aumentar a longevidade do uso dos produtos (reparo, reuso, remanufatura, reciclagem)	Venda de atributos de desempenho e utilidade ao invés da simples venda do produto; novos modelos de negócio

Fonte: Os autores (2014).

O debate acerca da perspectiva dicotômica de ecoefetividade e ecoeficiência permite estimar que existem diferenças tangentes à perspectiva temporal. A ecoefetividade avança sobre a ecoeficiência, pois sustentabilidade ocorre quando a visão não está somente centrada tão somente na sustentabilidade econômica, ou visão de curto prazo. (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008).

No entanto, para implantar e sustentar a visão de longo prazo, o paradigma deve alterar o padrão de redução e minimização para a perspectiva da utilização dos materiais em fluxos cíclicos, contemplados desde o DP, produção e cadeia de suprimentos. Também, é preciso atribuir que a implantação de novos negócios e processos requer ações inovadoras diferenciadas às melhorias incrementais (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007) que

possibilitem entregar benefícios ambientais e sociais, não meramente resultados econômicos. (BOCKEN *et al.*, 2014).

Quanto à visão de negócios, enquanto a ecoefetividade visa aumentar a longevidade dos materiais e produtos, minimizando os desperdícios, a ecoefetividade não se preocupa com a quantidade de materiais e produtos utilizados se os mesmos estiverem projetados e com processos desenhados para transitarem em ciclos fechados. Além disso, procura vender utilidade ao invés do produto propriamente dito por meio de modelos de negócios inovadores.

Outra contribuição resultante deste trabalho refere-se à identificação de abordagens aderentes à ecoeficiência ou ecoefetividade, o que não estava proposto pela literatura pesquisada. O exame dos resultados obtidos permite esclarecer e direcionar os esforços para o desafio de adoção de processos e produtos sustentáveis por engenheiros e projetistas, conforme lacunas apontadas (FINSTER; EAGAN; HUSSEY, 2002), assumindo-se que há o apoio da organização. Além disso, comunicar sustentabilidade ao longo da cadeia de valor é um desafio às organizações. (KARLSSON; LUTTROPP, 2006). Com base nestes argumentos, acredita-se que a proposta em questão contribui com o esclarecimento da literatura em relação à compreensão de sustentabilidade a partir do DP.

Outra constatação comparativa entre ecoeficiência e ecoefetividade está relacionada com o sentido complementar de ambas abordagens. Adicionalmente, quando confrontadas as similaridades entre o DfS e *Ecodesign* e as 4 abordagens categorizadas ecoefetivas, chega-se a conclusão que há consonância e tons de complementaridade, conforme afirmado por Bjorn e Hauschild (2012). Os debates sobre as abordagens ecoeficientes aparentam maior frequência em relação àquelas associadas com ecoefetividade. Nesse sentido, compreende-se os motivos por detrás desta constatação, uma vez que as organizações, via de regra, são pressionadas para entregar os resultados imediatos, especialmente com relação à comunicação aos atores envolvidos.

No que tange ao nível de transferência de conhecimento acadêmico para o mercado, há uma necessidade emergente no sentido de traduzir conceitos e abordagens em mecanismos que facilitem a operacionalização do desenvolvimento sustentável nas organizações, a partir do DP. Os benefícios e os resultados a serem alcançados ainda são negligenciados ou vistos com certo ceticismo, uma vez que o imediatismo e resultados de curto prazo são uma constatação no mundo corporativo.

A presente proposta é uma visão possível de sustentabilidade a partir da ótica do DP. No âmbito da ciência, está sujeita às limitações decorrentes do processo de pesquisa. Nesse sentido, recomenda-se pesquisas e investigações acerca da predisposição para adoção do

modelo apresentado, no sentido de evoluir com pesquisa aplicada sobre sustentabilidade, o que está configurado como uma lacuna sistêmica.

Tanto as abordagens que possuem foco para o curto prazo quanto para o longo prazo são relevantes e possuem seu lócus específico no contexto de desenvolvimento sustentável. Como afirmado anteriormente, parece ser possível iniciar com abordagens de cunho ecoeficiente, como uma etapa para a implantação de abordagens de cunho ecoefetivo, seguindo-se uma lógica evolutiva e de aculturação da organização. No entanto, é preciso existir um caminho de transição entre essas duas esferas. Atualmente, as abordagens estudadas não apresentam essa distinção ou foco nessa discussão, o que pode ser uma oportunidade de desenvolvimento e contribuição acadêmica aplicada.

Por fim, tanto ecoeficiência quanto ecoefetividade exercitam papéis tangentes ao curto e longo prazo no contexto de sustentabilidade. Conforme citado anteriormente, uma abordagem de natureza ecoeficiente pode ser o ponto de partida para a implantação de processos ecoefetivos, seguindo a lógica de evolução da cultura de sustentabilidade nas organizações. No entanto, essa transição deve ser estimulada entre as duas esferas, para evitar que a organização fique restrita à visão de curto prazo. Atualmente, este caminho não parece não estar consolidado dentro do contexto pesquisado, e pode ser uma oportunidade de investigação futura estudantes e pesquisadores.

5 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 3

Este artigo se propõe a responder ao objetivo específico “b” desta dissertação.

PROPOSTA DE UM INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE NO USO DE SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

RESUMO: Este artigo propõe um instrumento de avaliação de maturidade em sustentabilidade no desenvolvimento de produtos. O método empregado para o desenvolvimento do instrumento foi o *Design Research*. Um modelo conceitual inicial foi construído a partir da combinação entre teoria e avaliações práticas. Como resultado deste processo iterativo, é proposto o instrumento, composto por 41 questões distribuídas entre as dimensões orientação estratégica, *design*, processo de desenvolvimento, aspectos socioambientais e resultado. O artigo também propõe uma escala de maturidade que suporta a aplicação e interpretação do instrumento de coleta. Ambos foram desenvolvidos, validados com especialistas de diferentes países, e pré-testados. Adicionalmente, uma matriz conceitual de maturidade em sustentabilidade (MCMS) é apresentada, a qual permite qualificar o posicionamento do setor para as dimensões propostas.

Palavras-chave: Instrumento de avaliação. Desenvolvimento de produtos. Nível de maturidade. Setor automotivo.

5.1 INTRODUÇÃO

Promover sustentabilidade nos processos de negócio requer um processo de autoconscientização interno e externo à organização, que restringe e influencia o processo decisório e promovem o amadurecimento da percepção de valor ao *shareholder* e aos *stakeholders*. (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002; NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009; GMELIN; SEURING, 2014). O desenvolvimento de operações, produtos e serviços sustentáveis, requer, portanto, compreensão dos impactos de sua existência em termos de processos, materiais, recursos, e orientação estratégica. (UNEP, 2007; MONT; BLEISCHWITZ, 2007; FIKSEL, 2009). Assim, pode ser identificado alternativas à visão dialética entre competitividade (visão de curto prazo) (DYLLICK;

HOCKERTS, 2002; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008; PLOUFFE *et al.*, 2011) e sustentabilidade (visão de longo prazo). (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; WAAGE, 2007).

As evidências identificadas permitem inferir que a assim denominada Hipótese de Porter (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a) ainda não se apresenta como parte determinante do sistema de equações socioeconômicas que regem a estratégia das corporações. Segundo os mesmos autores, partindo das premissas de que toda a poluição é uma perda (uso incompleto de recursos), os benefícios declarados das ações inovadoras e a equalização dos investimentos com relação ao aumento da produtividade dos recursos ao longo da cadeia de valor ainda é percebida com ceticismo. O uso de leis ambientais adequadas permitiria criar novos produtos, processos e com isso, compatibilizar a proteção ambiental e aumento da competitividade.

Trabalhos passados propuseram guias para integrar sustentabilidade e Desenvolvimento de Produtos (DP). Dangelico e Pujari (2010) apresentaram um *framework* com as dimensões ambientais para o desenvolvimento de produtos verdes. Hallstedt *et al.* (2010) exploraram abordagem para avaliação do nível de integração de sistemas de decisão em DP. May, Taisch e Kerga (2012) investigaram a integração de sustentabilidade em DP sob o prisma dos requisitos ambientais. Despeisse *et al.* (2012) desenvolveram um modelo que simula as fronteiras internas da fábrica como um ecossistema. Hart e Milstein (2003), Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009) e Siegel (2009) defenderam a importância de investir em produtos e negócios sustentáveis. Gmelin e Seuring (2014) propuseram um *framework* de conexão da sustentabilidade e DP a partir da visão de ciclo de vida e gestão ciclo de vida do produto. Bocken *et al.* (2014) propuseram um arquétipo de modelos de negócios sustentáveis. Por fim, Hynds *et al.* (2014) propuseram um modelo de maturidade para PD, com foco em sustentabilidade ambiental. Porém, nenhum dos trabalhos identificados explorou o diagnóstico situacional que tange ao nível de maturidade em sustentabilidade sob o ponto de vista de DP, com base nas noções de eco-eficiência e eco-efetividade.

Por ecoeficiência entende-se como uma filosofia de gestão que busca a melhoria no desempenho ambiental por meio da redução da intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida (WBCSD, 2000); por ecoefetividade, a capacidade de manter os materiais de sistemas industriais em fluxo cíclico e fechado, similar ao comportamento dos ecossistemas naturais. (CHERTOW, 2000; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; DYLLICK; HOCKERTS, 2002).

A própria análise comparativa sobre ecoeficiência e ecoefetividade é recente e ainda limitada na literatura. Trabalhos passados exploraram as diferenças sobre o prisma do comércio eletrônico (ABUKHADER, 2007), apresentaram uma discussão sobre os conceitos

ecoeficientes e ecoefetivos. Nesse sentido, entende-se que os conceitos de eco-eficiência e de eco-efetividade podem aprender um do outro. (BJORN; HAUSCHILD, 2012). Outros elementos reforçadores dessa visão referem-se à baixa capacitação dos projetistas e engenheiros no que se refere ao projeto sustentável de produtos (MAY; TAISCH; KERGA, 2012), ao baixo nível de atenção prestado pelos projetistas nos requisitos de sustentabilidade no projeto de produtos (FINSTER; EAGAN; HUSSEY, 2002) e as discussões propostas por Short *et al.* (2012), ao apontarem para as limitações relacionadas com a implantação de sustentabilidade nos processos das empresas do Reino Unido e Suécia.

Entende-se, portanto, que o principal ator no processo de desenvolvimento sustentável é a firma, ainda que outros *stakeholders* – governo, sociedade civil – possam ser determinantes ou orientadores das ações em prol da sustentabilidade por elas tomadas. E que esse papel se dá diretamente sobre o processo de DP.

Considerando os argumentos anteriores, sustenta-se a importância em diagnosticar o nível de maturidade de uma empresa com relação aos conceitos de produção sustentável. A principal contribuição deste artigo, portanto, é a de propor um instrumento de avaliação da maturidade em relação ao uso de sustentabilidade em DP. A construção do modelo inicia a partir do modelo conceitual proposto por Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014b), referente a uma análise comparativa de abordagens ecoeficientes e ecoefetivas à luz do DP. Esse modelo foi empregado como ancoramento da proposta em virtude da necessidade ressaltada pelos autores, em aprofundar o tema e o modelo.

A proposta de modelo é baseada em SEI (2010) e Rozenfeld *et al.* (2010), por serem modelos de maturidade consolidados para o processo de DP e expandida a partir da visão dos trabalhos de Willard (2005) e Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009). Optou-se por criar o instrumento baseado em uma escala de maturidade e não de concordância devido à complexidade dos constructos e por se entender que escalas do tipo Likert podem ser inefetivas em contextos de multitudine de interpretações para um mesmo termo (MALMBRANDT; AHLSTRÖM, 2012). Com a escala de maturidade, propõe-se também a Matriz Conceitual de Maturidade e Sustentabilidade (MCMS), a qual foi construída à luz da literatura e tem a intenção de qualificar o posicionamento das organizações para as dimensões sugeridas. Por fim, realiza-se uma análise comparativa com o modelo de maturidade de Hynds *et al.* (2014), em virtude da escassez de modelos de maturidade para avaliação de sustentabilidade no DP disponíveis na literatura.

O trabalho é de caráter exploratório e prescritivo. Exploratório porque tem como intuito apresentar um uma conexão semântica entre diferentes aspectos não identificados

previamente dessa forma na literatura. Prescritivo porque apresenta uma proposta de modelo de mensuração que foi construído e ancorado na literatura, avaliado e aprovado por um painel de especialistas, tendo por base construtiva as etapas estabelecidas na *Design Research*. (MANSON, 2006).

O restante do artigo é assim organizado: as próximas seções apresentam o referencial teórico sobre desenvolvimento de produtos, orientação estratégica, *design*, processo de desenvolvimento, aspectos socioambientais e resultado. Em seguida, são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa. O artigo segue com a proposição do instrumento de avaliação, os resultados das análises realizadas pelos especialistas e as considerações finais.

5.2 SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O DP é um processo de negócio estratégico, central para o sucesso econômico de uma organização e consiste numa série de passos para conceber, desenvolver e comercializar um bem. Busca conectar as necessidades de clientes e mercados, entregar produtos antes da concorrência (*time-to-market*), incorporar as tecnologias adequadas a um custo otimizado. (ULRICHT; EPPINGER, 2008; ROZENFELD *et al.*, 2010; GMELIN; SEURING, 2014). É um desafio que engloba não somente as decisões estratégicas da empresa, mas a integração de grupos multifuncionais que permitam explorar as melhores opções e decisões conforme definição estratégica do escopo do planejamento do produto desdobrada em processos de negócio. (ROZENFELD *et al.*, 2010).

Para Luttrupp e Lagerstedt (2006) e Karlsson e Luttrupp (2006), produzir e vender produtos propõe atender necessidades, construir imagem e desejos nos clientes. Os mesmos autores afirmam que no longo prazo, a criação de novas demandas tem maior relevância do que o próprio desenvolvimento e produção de produtos.

Em linha com o exposto, as opções e escolhas realizadas como critérios de decisão na fase de *design* sobre materiais, desempenho, funcionalidade, durabilidade, facilidade de manutenção, custo, desempenho ambiental, são normalmente conflitantes entre os atores envolvidos na firma. (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2005; SHORT *et al.*, 2012; MAYYAS *et al.*, 2013). O processo decisório das organizações está consolidado em modelos mentais focados na manufatura, venda e averiguação de lucros, sem considerar holisticamente os impactos aos sistemas naturais oriundos dos processos de negócio. (WAAGE, 2007; SPANGENBERG, FUAD-LUKE E BLINCOE, 2010; FIKSEL, 2012). Gehin, Zwolinski e

Brissaud (2008), em trabalho realizado, concluíram que a competição global e as complexidades requerem mudanças no modelo mental dos projetistas para pensar nos impactos em toda a cadeia de valor bem como, os fatores críticos no negócio no sentido de facilitar a integração da perspectiva de fim de vida no DP.

Nesse sentido, o processo de desenvolvimento é crucial em termos da determinação dos impactos do produto ao longo do ciclo de vida (manufatura, uso e pós-uso do produto) (DANGELICO; PUJARI, 2010). Delinear as atividades do processo de desenvolvimento sob o ponto de vista dos impactos de ciclo de vida remete aos princípios de desenvolvimento sustentável. Esse conceito, segundo o WCED (1987), consiste em “atender as necessidades das gerações atuais, sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras” (p. 3). Está diretamente conectado com a sustentabilidade econômica, social e ambiental. (CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008).

Um sistema dinâmico balanceado de produção e consumo seria aquele que permitisse que os processos de geração de bens e de absorção dos impactos decorrentes fossem compatíveis com a dinâmica dos ciclos da natureza. (STAHEL, 1997; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013; LARKIN, 2013).

Atingir esse balanço dinâmico pode ser obtido por meio da substituição de materiais, ou pela demarcação de processos de reciclagem, reuso, *upcycling*, e outros. Os níveis crescentes de desperdícios podem ser contornados se as organizações repensarem o modo de fazer negócios e produtos, principalmente em função de leis, podendo-se citar a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). (BRASIL, 2010). A pesquisa proposta por Diniz Júnior (2012) aborda estes temas, inclusive a responsabilidade estendida ao produtor, denominada *take back responsibility*, e difundida na Europa e nos Estados Unidos. Em certo senso, essa ideia também remete à Hipótese de Porter (Porter; Van der Linde, 1995b) e ao trabalho de Siegel (2009), ao ressaltar que empresas adotam políticas e práticas sustentáveis se essas gerarem negócios rentáveis e estimulem o processo competitivo.

Investimentos em processos limpos geram retornos econômicos, mas também contribuem com elementos intangíveis, como acesso à novos mercados consumidores, redução dos riscos e maiores níveis de competitividade. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995b; AMBEC; LANOIE, 2008; BLEISCHWITZ, 2010). O pressuposto dessa inferência é de que os custos serão reduzidos em função do aumento da produtividade sobre os custos de extração de recursos naturais, redução dos desperdícios dos processos e transformação do que antes era considerado um resíduo, em algo com valor e comercializável. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; WBCSD, 2000; FIKSEL, 2009). A realização desse intento, no entanto,

requer o amadurecimento das organizações em diversos aspectos do desenvolvimento de produtos sustentáveis.

Considerando os argumentos previamente apresentados, foram identificados cinco constructos principais, denominados: orientação estratégica, *design*, processo de desenvolvimento, aspectos socioambientais e resultado. Esses constructos são derivados de uma proposta conceitual inicial, que sustenta as dimensões que serão apresentadas nas seções a seguir.

5.2.1 Orientação Estratégica

Em virtude da complexidade do processo de DP, admite-se que processos estruturados e sistemáticos devam estar desdobrados conforme a orientação estratégica da organização. (ROZENFELD *et al.*, 2010; GMELIN; SEURING, 2014). Para Labuschagne, Brent e Van Erck (2005) e Brent e Labuschagne (2007), as organizações, principalmente as multinacionais, são pressionadas pelos *stakeholders*, no sentido de implantar ações para atender os aspectos econômicos, sociais e ambientais nas políticas e processos de negócios. Por isso, o papel dos gestores e diretores nas organizações é fundamental para o desempenho sustentável. (GMELIN; SEURING, 2014).

Mont e Bleischwitz (2007) argumentam que as organizações europeias estão paulatinamente introduzindo a perspectiva de ciclo de vida e ecoeficiência nos processos decisórios. Estratégias voltadas para a ecoeficiência atraem valor à organização (DYLLICK; HOCKERTS, 2002), porém, podem criar uma falsa ilusão de que melhorias de curto prazo sejam suficientes no longo prazo. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2000; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002).

Em 1995, Porter e Van der Linde (1995a) discutiram sobre as oportunidades existentes ao investir maciçamente na redução do consumo de recursos naturais. As oportunidades competitivas para subverter o modelo mental de consumo linear de recursos naturais devem ser estimuladas e promovidas para garantir aderência operacional nas empresas (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007), o que demanda ações para a redução do consumo de produtos (CHICK; CHARTER, 1995) e foco no uso e não somente na venda. (STAHEL, 1997; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; BOCKEN *et al.*, 2014).

Para sustentar esse ponto de vista, alocar competências técnicas para desenvolver produtos e processos sustentáveis é fundamental. (JOHANSSON, 2002; JAWAHIR *et al.*,

2005; MAY; TAISCH E KERGA, 2012). Johansson (2002), Jawahir *et al.* (2005) e Manzini e Vezolli (2008) enfatizam que a mudança do paradigma vigente requer que produtos sejam desenvolvidos com base em sistemas mais amplos comparados as atuais. Os mesmos autores argumentam que ampliar a visão restrita aos impactos ocorridos na manufatura e processos internos demanda a coexistência de competências em aspectos técnicos, ambientais e sociais. E, por isso, recomendam que os currículos profissionais de engenharia contemplem os aspectos de sustentabilidade. Kerga *et al.* (2012) reconhecem que a competência técnica é fundamental para desenvolver e integrar sustentabilidade à luz do DP. Ao fim, revelam lacunas sob a ótica das organizações Italianas.

A inovação e novas tecnologias são influenciados pelo desenho de modelos de negócio sustentáveis em nível de sistemas, pois adicionam valor ao cliente e à organização, reduzem significativamente a demanda por recursos naturais e entregam benefícios sociais. Possibilitam um rearranjo dos processos de negócio para contra-atacar os impactos negativos resultantes gerados. (BOCKEN *et al.*, 2014). Assim, os estágios iniciais de um processo de desenvolvimento, ou *design*, são cruciais para as escolhas dos requerimentos ambientais. As escolhas, portanto, decorrem não somente em função da visão estratégica do negócio, mas também em função do conhecimento de técnicas e métodos que contribuam para o desenvolvimento de produtos sustentáveis. (LAGERSTEDT, 2003).

Em virtude da importância da orientação estratégica nos processos de negócios organizacionais, principalmente no âmbito do desenvolvimento de novos produtos, sugere-se a seguinte proposição:

P1: *Organizações sustentavelmente maduras possuem orientação estratégica alinhada com o desenvolvimento de produtos.*

5.2.2 Design

Em linhas gerais, o *design* e o desenvolvimento de novos produtos estão intimamente conectados. (LAGERSTEDT, 2003). O *design* é observado como parte do estágio inicial do desenvolvimento de um produto. (ULRICH; EPPINGER, 2008) e crucial para a determinação da pegada ecológica dos produtos. Nas fases iniciais do DP há maior liberdade para determinar as características do produto, advinda das necessidades de mercados e clientes, os quais são convertidos em parâmetros de engenharia. (LAGERSTEDT, 2003; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006; FIKSEL, 2009).

Decisões tomadas nessa fase selam os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto, em torno de 80% (DEWBERRY, 1996; LAGERSTEDT, 2003), consolidam 70% dos custos da fase de manufatura, uso e pós-uso do produto (WAAGE, 2007) e são o resultado dos impactos causados pelo fluxo de materiais (consumo de materiais, entropia e emissões) resultantes das três fases citadas acima. (WAGNER; ENZLER, 2006). Para os fins deste estudo, adota-se a perspectiva de *design* apontada por Fiksel (2009), ou seja, minimizar a intensidade do uso de materiais e energia ao longo do ciclo de vida. Como consequência, é fundamental limitar a geração de entropia. (SPANGENBERG; FUAD-LUKE; BLINCOE, 2012).

Uma das técnicas utilizadas para avaliar os impactos ambientais é a análise do ciclo de vida (ACV) (HUNT; SELLERS; FRANKLIN, 1992; HÖJER *et al.*, 2008; BIRCH; HON; SHORT, 2012). A metodologia, consolidada no início dos anos 90, foi adotada e padronizada conforme as normas ISO 14040:2006 e 14044:2006. Em virtude da complexidade e tempo demandado para aplicação, a abordagem apresenta-se controversa aos olhos das organizações, que buscam utilizar a ACV simplificada a fim acelerar o desenvolvimento de informações para tomada de decisão nas fases iniciais do *design*. (FISKEL, 2009).

Para que seja viável atingir desenvolvimento sustentável, as escolhas da fase de *design* são essenciais para determinar a longevidade e produtividade dos recursos naturais e materiais e minimizar a necessidade de matérias-primas virgens (ANDERSEN, 2007; ASBHY, 2009; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012) bem como assegurar a exequibilidade de materiais em ciclo fechado. (JACQUES, 2011; THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Para Braungart e McDonough (2002), McDonough *et al.* (2003) e Braungart, McDonough e Bollinger (2007), os materiais devem ser projetados para estarem livres de substâncias tóxicas e perigosas à saúde humana e ao meio ambiente. Os mesmos autores argumentam que os materiais poderão ser mantidos em ciclos fechados de uso por múltiplos ciclos de vida, caso tais premissas sejam válidas. Quanto ao elemento energia, sua relação com materiais é intrínseca e direta. A quantidade de energia disponível em um recurso material, em termos de produtos, é denominada exergia. Quanto maior a energia extraída dos materiais por meio de processos, melhor. (AYRES, 2001). Baseado nesse fundamento, Ayres (2001) e Fiksel (2009) atribuem a eficiência energética de materiais e processos como um dos vetores para reduzir a pegada ecológica.

Se for tomada como base a geração de energia contida em materiais, em constante crescimento, assume-se que os níveis energéticos desperdiçados em função dos resíduos

gerados também são crescentes, os quais corroboram com o aumento dos níveis de CO₂, aquecimento global, impactos ambientais e sociais decorrentes das atividades industriais. (ANDERSEN, 2007).

A disponibilidade energética cresce à medida que matérias-primas e recursos naturais são transformados em volumes de escala. (MACKAY, 2009). Ações para aumentar a eficiência energética pelo *design* de produtos e de processos tornam-se relevantes, ainda que levado em conta as limitações teóricas e práticas para que esse incremento ocorra. (KIPERSTOOK *et al.*, 2002). Tal ponto de vista acentua a perspectiva de Luttropp e Lagerstedt (2006), ao apontarem para a relevância em aumentar a eficiência energética nas fases de manufatura, uso e pós-uso, sob o prisma do *Ecodesign*.

Outro elemento destacado na fase de *design* é a engenharia simultânea. Segundo May, Taish e Kerga (2012), a gestão das atividades por meio dessa abordagem influencia o tempo de entrega dos produtos ao mercado. Quanto ao desenvolvimento de produtos sustentáveis, tende a proporcionar maior liberdade nas fases iniciais do processo, em que é possível avaliar, medir e alterar as especificações de engenharia. (MAY; TAISH; KERGA, 2012; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006).

Na mesma linha, Morgan e Liker (2008) afirmam que o uso da engenharia simultânea reduz o desenvolvimento na fase inicial (*design*), fundamental na determinação das características do produto. Um paralelo é desenhado com as afirmações de Luttropp e Lagerstedt (2006), pelo qual os requerimentos ambientais devem estar claros e balanceados com os requisitos funcionais, no sentido de possibilitar a entrega de produtos que atendam requisitos técnicos, ambientais e assegurem lucratividade.

Em função da lacuna destacada por May, Taish e Kerga (2012) e as afirmações da eficácia do processo de desenvolvimento baseado em escolhas. (LAGERSTEDT, 2003; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006), utiliza-se esse constructo como forma de avaliar o nível de aderência das organizações observadas. Assim, na tentativa de explicar a realidade organizacional dentro dos limites demarcados, atribui-se a seguinte proposição:

P2: *Organizações sustentavelmente maduras apresentam forte alinhamento entre os conceitos de sustentabilidade e as decisões da fase de design.*

5.2.3 Processo de Desenvolvimento

Um processo de desenvolvimento inicia com necessidades de clientes, as quais são traduzidas em especificações de engenharia, e por sua vez, são produzidos e entregues ao

mercado, com o emprego de atividades estruturadas e sistemáticas. (ULRICHT; EPPINGER, 2008). Para Baumann; Boons e Bragd (2002), o processo de desenvolvimento está relacionado com os processos organizacionais internos, mas também no sentido de colaboração e competição com os atores da cadeia.

Segundo Morgan e Liker (2008), o processo de desenvolvimento de produto pode se tornar eficiente caso reduza os desperdícios, não somente no ambiente de manufatura. Assim, explorar os impactos do ciclo de vida de produtos, desde a extração, manufatura, uso e pós-uso é um tema recentemente investigado. (BRENT; LABUSCHAGNE, 2007; ORSATO; WELLS, 2006; FIKSEL, 2009; DANGELICO; PUJARI, 2010).

Normalmente, dentre as avaliações dos aspectos econômico, social e ambiental, pouco rigor é empregado para avaliar as oportunidades e ganhos decorrentes da recuperação e reuso de materiais com os múltiplos ciclos de uso. (JAWAHIR *et al.*, 2005; DINIZ JÚNIOR, 2012). Tal evidência implica em riscos aos negócios e finanças globais, em virtude das previsões de indisponibilidade dos recursos naturais. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; STAHEL, 2010; UNEP, 2012). Essa abordagem tradicional concerne aos resultados econômicos, os quais atendem uma das dimensões do desenvolvimento sustentável: a de curto prazo (CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008).

Para Hart e Milstein (2003), as organizações precisam ser orientadas por 4 motivadores básicos, caso queiram implantar processos de negócios rentáveis e ambientalmente corretos, a saber: (i) redução do consumo de matérias-primas; (ii) transparência nos negócios frente aos *stakeholders*; (iii) uso intensivo de tecnologias limpas; e (iv) tornar processos e produtos menos poluidores e demandantes de recursos naturais. Por isso, investir na prevenção da geração de resíduos e poluição, em vez de gastar com tratamento é uma das opções de atuação das empresas, sociedade, consumidores e governos. (KIPERSTOOK *et al.*, 2002; BLEISCHWITZ, 2010; STAHEL, 2010).

Nesse sentido, o *upcycling* visa a permitir que produtos antes vistos como resíduos sejam reincorporados na cadeia produtiva e adicionem valor e retorno aos negócios e sociedade. Para permitir que os materiais e produtos se mantenham em ciclos fechados é mister haver um processo colaborativo e sinérgico entre os atores da cadeia. As informações sobre características do produto, processos de disposição adequada após o uso deveria estar disponível ao nível de cliente. (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; BRAUNGART; MCDONOUGH, 2013). Contudo, as limitações do *upcycling* não são apontadas por seus autores. Por outro lado, Bleischwitz (2010), Reuter (2011) e Reh (2013)

discutem os impactos da segunda lei da termodinâmica e limitações sobre a reciclabilidade dos materiais.

Pujari (2006) afirma que as barreiras para implantar o desenvolvimento de produtos sustentáveis não estão somente relacionadas com o produto, mas também com a superação de paradigmas técnicos, por exemplo, a visão de processos no âmbito interno da organização.

Um olhar sobre a questão do processo de desenvolvimento está sustentado por Luttrupp e Lagerstedt (2006), ao apresentarem as “10 regras de ouro”, conforme o Quadro 4. Segundo os próprios autores, são guias genéricos baseados em trabalhos passados que podem ser implantados por projetistas e engenheiros nas fases de manufatura, uso e pós-uso. O objetivo das 10 regras de ouro é estabelecer as metas de sustentabilidade no processo de desenvolvimento do produto, sob a ótica do *Ecodesign*.

Quadro 4 - As 10 regras de ouro

Manufatura	1) Não utilizar materiais tóxicos. Se utilizado, mantê-los em ciclo fechado; 2) Minimizar o uso de materiais e energia; 3) Utilizar aparato tecnológico para determinar a quantidade de material necessária para os produtos, sem impactar a resistência ou características funcionais;
Uso	4) Minimizar energia e consumo de recursos, principalmente se as características do produto impactam essa fase; 5) Promover reparabilidade e <i>upgrade</i> dos produtos; 6) Promover a longevidade dos produtos;
Pós-Uso	7) Investir em materiais de qualidade superior, para assegurar confiabilidade, facilidade de manutenção, a longevidade do produto; 8) Disponibilizar informação para atualização dos produtos, reparabilidade, reuso e reciclagem por meio de informação em decalques e manuais técnicos; 9) Possibilitar a atualização, reuso e reciclagem dos produtos, evitando a mistura de materiais e ligas metálicas; 10) Usar a menor quantidade de elementos de fixação possíveis; quando utilizado, aplicar conforme a perspectiva do ciclo de vida do produto.

Fonte: Adaptado de Luttrupp e Lagerstedt (2006).

Conectar as práticas de processo de desenvolvimento sob a ótica do ciclo fechado bem como manter as relações de interdependência da cadeia produtiva e os atores sociais envolvidos pode ser vista avaliada a partir da perspectiva da Ecologia Industrial. Os três tipos de relacionamento entre sistemas industriais e naturais são apresentados por Ayres, R. e Ayres, L. (2002) e Chertow (2000), estão representados no Quadro 5:

Quadro 5 - Tipologia da ecologia industrial

Modelos de Ecologia Industrial	
Tipo de Fluxo	Conceito
I (Linear)	Forte dependência de recursos naturais. É assumido que há capacidade ilimitada de fornecer matérias-primas aos sistemas industriais e absorver resíduos
II (Quase Cíclico)	Há um certo grau de circulação dos recursos, o que reduz a necessidade de materias primas
III (Cíclico)	Possui alto grau de circulação, baixa dependência de recursos e nível mínimo de descartes
Níveis de atuação	Significado
Firma	Uso do <i>Design for Environment</i> ; abordagens ecoeficientes
Entre firmas	Perspectiva de ciclo de vida, sinergia entre empresas e relação de interdependência
Regional / Global	Desmaterialização, fluxos de materiais e energia, ciclos

Fonte: Adaptado de Ayres, R. e Ayres, L. (2002) e Chertow (2000).

No intuito de operacionalizar o processo de desenvolvimento de produto com a sustentabilidade, pode ser empregada a regra dos 3R's (reduzir, reusar e reciclar). A abordagem permite não somente propiciar o uso e quantia adequada dos materiais nos processos de desenvolvimento, mas também aumentar as taxas de reuso e reciclagem ao longo do ciclo de vida. (KARLSSON; LUTTROPP, 2006; BLEISCHWITZ, 2010; KRIKKE, 2010). Jackson (2009) enfatiza que o reuso, o reparo e a remanufatura são preferidos à reciclagem, pois procrastinam o destino de resíduos aos aterros bem como reduzem a demanda de matérias-primas virgens.

Evidências apontam para a implantação dos 3R's nos processos de desenvolvimento, se induzidas por legislações. No Brasil, ao ser traçado um paralelo com a Europa, as organizações precisam se adequar conforme a PNRS (BRASIL, 2010) para atender aos requisitos legais estabelecidos, os quais refletem objetivos de minimização, redução e manutenção dos materiais em ciclos fechados, além da responsabilidade compartilhada do fabricante. Há um agravante no que tange à preparação, cultura e consciência das organizações para identificar valor em algo que hoje é enviado aos aterros e descartado.

Esse cenário configura desafios para as organizações redesenharem seus processos e produtos, com base nas tecnologias disponíveis, no intuito de holisticamente orientar as organizações ao desenvolvimento sustentável. (HART; MILSTEIN, 2003; NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008). Kautto (2006) sustenta essa afirmação e aponta lacunas entre pesquisas empíricas que relacionem políticas e normativas com a orientação no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

Com base na discussão apresentada, no âmbito da sustentabilidade, o processo de desenvolvimento é um elemento chave. Percebe-se que as discussões da literatura, normativas e chamamentos para a redução do consumo de recursos naturais e geração de resíduos são

oportunidades para as organizações. Contudo, não determinam se o contexto apresentado é determinante para a implantação de processos cíclicos e criação de uma cultura voltada ao desenvolvimento sustentável em DP. No intuito de revelar a relação entre os elementos expostos, a seguinte proposição é apresentada:

P3: *Organizações sustentavelmente maduras apresentam processos de desenvolvimento que promovem o ciclo fechado de materiais.*

5.2.4 Aspectos Socioambientais

Os aspectos socioambientais, conforme conceito proposto pelo *World Business Council of Sustainable Development* (WBCSD, 2000), objetivam integrar as questões éticas às práticas corporativas e, em paralelo, melhorar a qualidade de vida dos empregados, comunidade e conservar os recursos ambientais disponíveis. Algumas décadas antes, em *Limites do Crescimento* (MEADOWS *et al.*, 1972), já eram discutidas as perspectivas futuras de crescimento populacional, consumo de recursos naturais e poluição, associados com a estimativa de que o planeta estaria em colapso 100 anos mais tarde. Apesar do ceticismo inicial da comunidade acadêmica, há compreensão de que é preciso reduzir os níveis de consumo e poluição com a capacidade de absorção do planeta. Em virtude do consumo desenfreado dos recursos naturais, surge a preocupação em distribuir de forma igualitária o acesso para tais recursos bem como mitigar os possíveis impactos, introduzidos segundo o conceito de eco-equidade. (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002; DYLLICK; HOCKERTS, 2002; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008).

Nesse sentido, os sistemas industriais estão interligados com a geração de novas demandas e mercados consumidores, os quais impactam diretamente a extração das matérias-primas, curtos ciclos de vida de produtos, obsolescência e retorno dos materiais à eco esfera. (ASHBY, 2009). Como tratar o que é gerado e como evitar a geração de poluição, comprometimento à saúde humana e impacto ao meio ambiente? Essa discussão é apresentada por Lifset e Graedel (2002) ao sinalizarem o fluxo e o volume de materiais circulantes na tecnosfera. Os sistemas industriais não estão isolados, mas em consonância com os sistemas ambientais e sociais, e são diretamente responsáveis pelos efeitos resultantes. (CHERTOW, 2000). Para Manzini e Vezzoli (2008), a proposição de sistemas sustentáveis requer a combinação de produtos e serviços, doravante sistema produto-serviço, abarcado por diferentes graus de inovação no plano técnico e sociocultural. Assim, reduzir o fluxo e volume de materiais e energia tenderá a contribuir com a eco-equidade.

O princípio de eco-equidade está relacionado com o acesso aos recursos naturais. O modo pelo qual as organizações conduzem seus negócios hoje determinam qual será o nível de acesso das pessoas, aos recursos naturais no futuro. Nesse sentido, as organizações precisam atuar com responsabilidade para amadurecer o padrão de consumo dos recursos e garantir que as próximas gerações possam usufruir dos serviços ofertados pela natureza. (HART; MILSTEIN, 2003; WILLARD, 2005; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008). Cabe as empresas fazerem o uso adequado das matérias-primas, aumentar a produtividade dos recursos, mas também minimizar os manter os níveis de emissões e descartes em níveis mínimos. (HART; MILSTEIN, 2003).

Para fazer com que as organizações atuem responsavelmente, regulamentações e políticas têm se tornado mais rígidas para forçar a adaptação conforme os preceitos da governança e responsabilidade socioambiental. A adoção de padrões éticos é mais complexa à medida que as organizações globais precisam adequar o seu modo de atuação em regiões geográfica com diferentes culturas; como resultado, os padrões de comportamento, quando percebidos pela sociedade, tendem a melhorar a competitividade. (NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008). Tais padrões de atuação estão normalmente alinhados com as práticas de Responsabilidade Social e Corporativa (RSC), a partir de padrões éticos da organização e denota o processo de comunicação aos *stakeholders*, por meio dos princípios morais e de atuação transparente. (WILLARD, 2005; NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008; LARKIN, 2013).

Para Porter e Van der Linde (1995b), leis mais rígidas tendem a fomentar o processo de inovação para cumprir com questões do tipo emissões e despejo de resíduos. Demandam, portanto, a reconfiguração de processos e produtos, que podem inicialmente apresentar aumento de custos devido ao desencadeamento do processo de inovação. Os mesmos autores sugerem que, os investimentos e o cumprimento da legislação reduzem-se à medida que ocorre um *trade-off* com o potencial de inovação e impacto positivo nos resultados financeiros.

A visão de sustentabilidade requer a compreensão de que a continuidade das operações dependa da manutenção dos recursos naturais. Os fluxos de materiais e serviços prestados pela natureza bem como os desperdícios decorrentes da exploração desenfreada não são contabilizados nos resultados dos balanços contábeis das empresas. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007). No entanto, Larkin (2013) cita que governos e sociedades estão em ampla discussão para mudar os modelos financeiros atuais. Campbell, Fischer e Stuart (2012) reforçam esse ponto de vista, afirmando que as organizações rumam no sentido de alterar a

forma de reportar e comunicar aos *stakeholders* os resultados econômicos, sociais e ambientais.

Em pesquisa realizada sobre a integração de sustentabilidade no desenvolvimento de novos produtos com empresas italianas, Kerga, Taisch e Terzi (2011) constataram que os investimentos em sustentabilidade no desenvolvimento de novos produtos ocorrem somente em função das exigências das leis e normas nacionais, além da descrença dos benefícios financeiros decorrentes dos investimentos. Essa evidência reforça as afirmações de Hallstedt *et al.* (2010), ao apontarem que as metas de curto prazo são priorizadas em relação ao longo prazo devido à falta de visão de sustentabilidade e apoio dos gestores. Também reforça a visão dos críticos à Hipótese de Porter, de que a obtenção de vantagem competitiva por meio da sustentabilidade não é facilmente obtida. A queda de braço entre investir em inovação e a incredulidade na melhoria dos níveis de competitividade com os resultados ambientais é considerada um dos grandes desafios a serem superados pelas organizações. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a).

É argumentado que o aumento produtividade dos recursos através de investimentos em inovação produz benefícios sistêmicos. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; NIDUMOLU; PRAHALAD E RANGASWAMI, 2009). Esse posicionamento subverte ao modelo mental atual, pelo qual os custos são normalmente alocados para manter recursos ineficientes e subutilizados, gerados em função de processos e produtos não otimizados. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a). Pensar diferente pode requerer novas práticas futuras de sustentabilidade, apesar da descrença em atender mercados onde os clientes não estejam dispostos a pagar por melhorias em tempos de crise. (NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009). Para que seja viável compreender a relação entre o paradigma bem como os benefícios socioambientais, apresenta-se a seguinte proposição:

P4: *Organizações sustentavelmente maduras associam fortemente o desenvolvimento de produto aos aspectos socioambientais.*

5.2.5 Resultado

As organizações produzem conforme o modelo mental oriundo da era industrial, ou seja, a geração de lucro e capital dentro de condições mercadológicas de concorrência. O resultado econômico é o mote que sustenta o aumento da lucratividade, participação de mercado e competitividade das organizações. O foco estrito na sustentabilidade econômica somente abrange a perspectiva de curto prazo. (DYLLICK; HOCKERTS, 2002).

Como resposta às necessidades de mudança e percepção para a melhoria do uso e disponibilidade de recursos naturais para as futuras gerações, o conceito de ecoeficiência foi apresentado pela WBCSD (2000). A entidade aponta, sob o prisma do negócio, que a ecoeficiência é fundamental para a obtenção de resultados positivos, pois busca maximizar o valor adicionado por meio da utilização eficiente dos recursos e a potencialização dos benefícios econômicos. Pode ser empregada em qualquer área organizacional, desde o marketing até a manufatura.

A adição de valor aos negócios tende a ser concebida com o aumento da produtividade dos recursos naturais. A redução dos desperdícios representa oportunidades de atingir lucratividade (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; PORTER; VAN DER LINDE, 1995b), uma vez que o potencial de lucratividade, escondido por detrás dos desperdícios é revelado. (STAHEL, 2010).

O controle do uso dos recursos pode ser desdobrado por indicadores apontados pelo WBCSD (2000), a saber: (i) redução da intensidade dos materiais em produtos e serviços; (ii) redução da quantidade de energia em produtos e serviços; (iii) redução da dispersão de compostos tóxicos; (iv) promoção da reciclagem; (v) maximização do uso dos recursos renováveis; (vi) extensão da durabilidade dos produtos; e (vii) aumento da intensidade do uso dos produtos e serviços. Tais indicadores contemplam uma forma de monitoramento dos impactos das atividades no negócio e influência no resultado financeiro, no âmbito organizacional.

Para Porter e Van der Linde (1995b), a lucratividade é consequência da superação do paradigma estático no qual o investimento em tecnologias limpas aumenta os custos operacionais. Pelo contrário, reduz os custos de tratamento dos desperdícios e poluição e desencadeia benefícios tais como oportunidades para investir mais em inovação, tecnologias e redução dos riscos aos negócios. (AMBEC; LANOIE, 2008; NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009). No entanto, ainda há o dilema entre investir com vistas ao longo prazo e impactar os benefícios financeiros no curto prazo (ganha-ganha), o qual se configura como uma barreira a ser superada. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; HAHN *et al.*, 2010). Uma possível contrapartida em se tornar uma empresa “verde” seria o acesso a mercados mais restritos, por meio da oferta de produtos sustentáveis. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008; NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009).

Tendo em vista que o processo ganha-ganha no que tange ao desenvolvimento sustentável nas organizações ainda não está consolidado e que o resultado está centrado num padrão de comportamento restrito ao curto prazo, expõe-se a seguinte proposição:

P5: *Organizações sustentavelmente maduras associam o resultado com o desenvolvimento de produtos sustentáveis e redução de desperdícios.*

5.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método de pesquisa utilizado é baseado na *Design Research*. Segundo Manson (2006) e Vaishnavi e Kuechler (2009), esta abordagem permite desenvolver artefatos que visam compreender melhor uma determinada realidade. Como artefato final desse processo, é apresentada a proposta de modelo de avaliação da aderência no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos.

No sentido de viabilizar a estratégia para o desenvolvimento do instrumento de avaliação de maturidade, foi construída a sequência de passos delineados na Figura 9:

Figura 9 - Passos para construção e validação do processo



Fonte: O autor (2014).

No intuito de refinar o modelo conceitual proposto por Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014b), 6 especialistas foram entrevistados (4 acadêmicos, 1 profissional de centro tecnológico e 1 associado com setor estratégico do governo). Os profissionais entrevistados são do Brasil (3), Bélgica (1), Inglaterra (1) e Itália (1). Todos possuem vasta experiência no tema, dividindo-se essa em: acadêmica e de pesquisa; consultoria; ou projetos governamentais, conforme detalhado no apêndice A. O papel dos especialistas foi o de avaliar o modelo, identificar pontos de melhoria que justificassem a construção de uma versão refinada e, em uma segunda rodada, validar ou refutar a proposta. A abordagem aos entrevistados ocorreu mediante entrevistas semiestruturadas (FLICK, 2004), as quais ocorreram via sistemas de comunicação por *internet* ou modo presencial, e foram gravadas. As contribuições foram transcritas e analisadas por meio das técnicas de análise de conteúdo (BARDIN, 1995) e permitiram revisitarem a literatura, remover, relocar e adicionar novos elementos que originaram a segunda versão do modelo. Por sua vez, a segunda versão foi

submetida para apreciação dos 6 especialistas anteriores e validada pelo especialista E4, não tendo sido obtidas respostas dos outros cinco especialistas para a segunda rodada de avaliação, mesmo após 2 tentativas.

No passo seguinte foi gerada uma versão inicial do instrumento de avaliação, composto pelas dimensões orientação estratégica, *design*, processo de desenvolvimento, aspectos socioambientais e resultado. O instrumento foi desenhado com 16 constructos (conforme apêndice D) e 41 questões (conforme apêndice E) que visam operacionalizá-los e sustentar as proposições sugeridas. As escalas são do tipo multi-itens ou rótulos verbais, adequado para níveis de maturidade, pois permitem interpretar o que se pede. (HAIR *et al.*, 2005). Segundo Godson (2002 *apud* MALMBRANDT; ALSTRÖM, 2012), níveis de maturidade são orientados aos praticantes e descrevem os níveis distintos e patamares progressivos de uma determinada aplicação. Malmbrandt e Alström (2012), avaliando o contexto de adoção de Pensamento Enxuto, abordam que a escala Likert possui vantagens e desvantagens em contextos onde conceitos complexos ou de multitudine de interpretações. A desvantagem principal apontada é que essa escala torna complexo o processo de avaliação do nível de maturidade, pois a falta de referências para um dos extremos dificulta a escolha de níveis intermediários. Para a presente proposta, assume-se essa ser a decisão adequada. Por questões de análises descritivas, os rótulos são substituídos por uma escada de 1 a 5 (HAIR *et al.*, 2005), visando representar resultados agregados.

Quanto à validação do instrumento, foram considerados os critérios de especificação, confiabilidade e validade. (HAIR *et al.*, 2005). Um dos elementos que assegura a especificação é a teoria, que sustentou a criação do instrumento. Além disso, o instrumento de avaliação foi submetido para avaliação e revisão de 5 especialistas do meio acadêmico, conforme apresentado no apêndice B. As sugestões e críticas foram incorporadas numa nova versão, ajustada e aprimorada, não sendo identificadas alterações sobre o modelo conceitual, o que viabilizou a condução do processo de validação do instrumento.

Com relação à validade da escala, aplicou-se o teste de Friedman sobre os dados do pré-teste. Os resultados indicaram significância calculada inferior a 0,10, fato que indica a capacidade da escala em discriminar respostas entre seus itens. A validade da escala também é refletida pela avaliação de especialistas, os quais contribuíram com a melhoria do instrumento proposto. Malhotra (2012) destaca que a validade do constructo é complexa e difícil de estabelecer (composto pela validade convergente, discriminante e nomológica), logo, a obtenção de um alto resultado de confiabilidade indica a relação entre confiabilidade e validade.

5.4 RESULTADOS E ANÁLISE

A integração entre os elementos ao longo do referencial teórico suporta a construção do modelo conceitual proposto, que visa a avaliar a maturidade em relação ao uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos. Embora o processo genérico de desenvolvimento de produto seja composto por planejamento, projeto conceitual, projeto de sistemas, detalhamento do projeto, teste e refinamento e produção e lançamento, subdividido por pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento, o objetivo é capturar se o foco em sustentabilidade no DP está voltado para a manufatura, uso, pós-uso, todas as opções integradas ou não, sempre discutidas à luz da ecoeficiência e ecoefetividade.

O DP é um processo de negócio vital para as organizações, no sentido de as manter competitivas. (ULRICHT; EPPINGER, 2008; ROZENFELD *et al.*, 2010). Contudo, as organizações, principalmente as multinacionais, são pressionadas a alinhar seus processos com os três pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental. (BRENT; LABUSCHAGNE, 2005). Em países desenvolvidos, as empresas produzem produtos verdes em virtude da consciência ambiental dos clientes, fato que direciona os estudos da academia. (TAISCH *et al.*, 2010). Entretanto, avaliar e implantar ações de cunho social sob o ponto de vista de desenvolvimento do produto ainda é um desafio não somente para academia, mas também para as empresas.

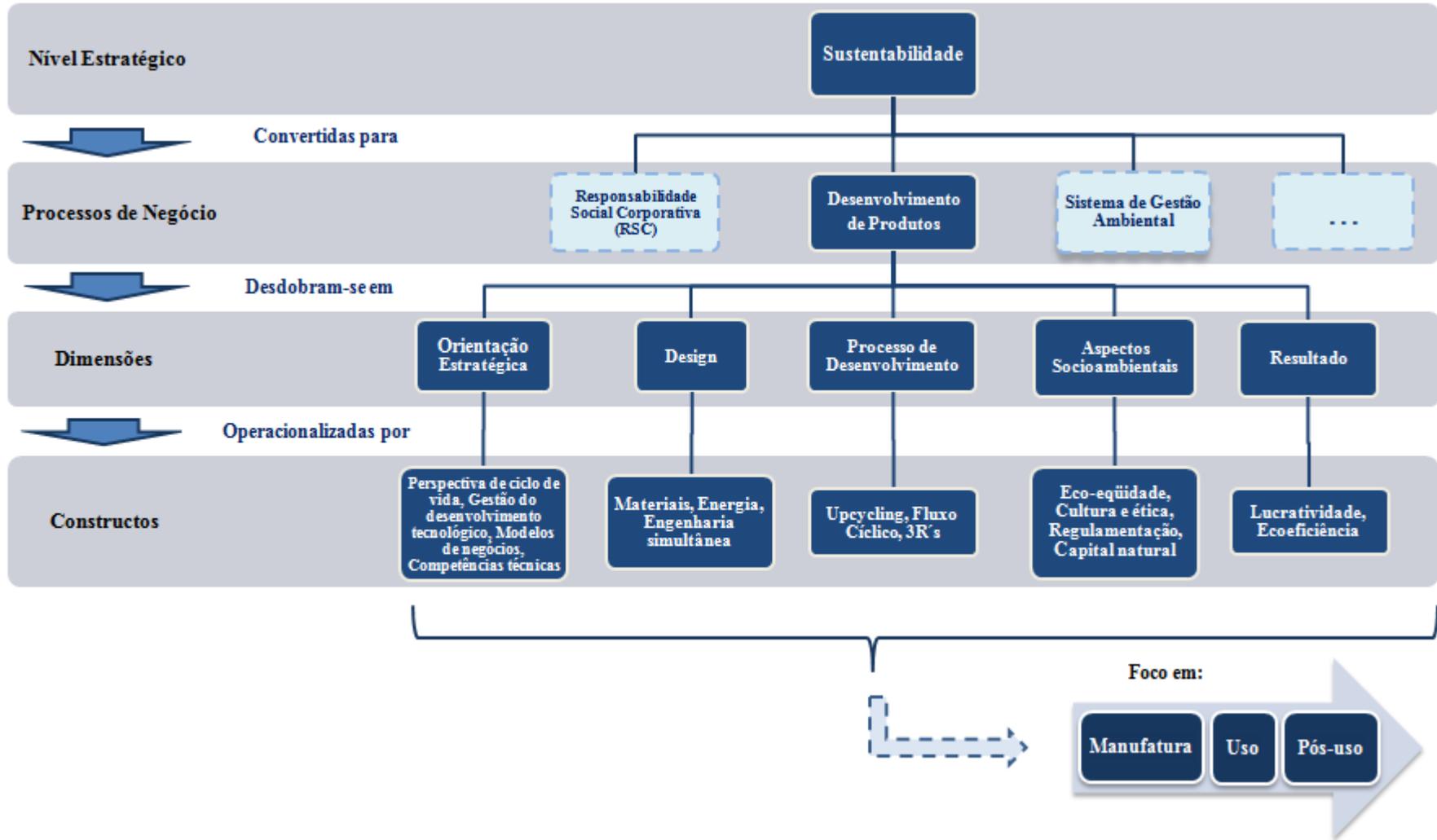
Design e processo de desenvolvimento são apresentados de forma sintética. Ambos abrangem os passos realizados para a inclusão das questões de sustentabilidade no desenvolvimento de produto. Para o *design*, materiais e energia são elementos essenciais. O processo de desenvolvimento é observado sob o prisma da agregação de valor e manutenção de materiais em ciclo fechado. Os aspectos socioambientais abordam os elementos social e ambiental, como parte do processo de desenvolvimento sustentável. Neste sentido, busca-se identificar a preocupação organizacional tangente aos impactos das atividades com as pessoas e disponibilidade futura de recursos. Já a dimensão resultado é responsável por incluir algumas das nuances de ordem econômica decorrente do processo sustentável de desenvolvimento de produtos.

Cabe ressaltar que existem processos adicionais ao desenvolvimento de produto, como por exemplo, áreas relacionadas com Responsabilidade Social Corporativa e Gestão Ambiental, os quais abrangem seus desdobramentos, controles, ações e indicadores voltados à sustentabilidade. A articulação dos elementos tangentes à sustentabilidade do modelo

conceitual, desde o nível estratégico ao desenvolvimento de produtos, está desdobrada em dimensões e constructos propostos, ilustrado pela Figura 10.

.

Figura 10 - Modelo pictorial



Fonte: O autor (2014).

Por fim, as discussões acerca das dimensões e constructos originaram o instrumento disposto no apêndice E.

Com relação à proposta de escala de maturidade no desenvolvimento de produtos, salienta-se que os estágios estão arrançados em níveis contínuos e sucessivos, desde o estágio inicial até o estágio de maturidade maior. A escala de maturidade foi construída a partir do IPD-CMMI – *Integrated Product Development Maturity Model* – Software Engineering Institute (SEI, 2010) e o Modelo de Maturidade para o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), de Rozenfeld *et al.* (2010), conforme ilustra o Quadro 6.

Quadro 6 - Modelos de maturidade

SEI (2010)	Rozenfeld <i>et al.</i> (2010)
Nível 1: Inicial	Nível 1: Básico
Nível 2: Gerenciado	Nível 2: Intermediário
Nível 3: Definido	Nível 3: Resultados são medidos
Nível 4: Quantitativamente gerenciado	Nível 4: Existe controle de correções
Nível 5: Otimizado	Nível 5: Melhoria contínua

Fonte: Adaptado de SEI (2010) e Rozenfeld *et al.* (2010).

Entretanto, os modelos apontados estão restritos à visão do desenvolvimento de produto e processos, sem abordar sustentabilidade. Por isso, os trabalhos sobre sustentabilidade organizacional publicados por Willard (2005) e Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009) foram referências escolhidas para dar sustento à proposta, pois apresentam visões sobre sustentabilidade organizacional em níveis evolutivos, conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Estágios de sustentabilidade organizacional

Willard (2005)	Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009)
Estágio 1: Pré-cumprimento das leis	Estágio 1: Perceber cumprimento das obrigações legais como oportunidade
Estágio 2: Cumprimento das leis	Estágio 2: Tornar a cadeia de suprimento sustentável
Estágio 3: Além do cumprimento das leis	Estágio 3: Desenvolver produtos e serviços sustentáveis
Estágio 4: Estratégia integrada	Estágio 4: Desenvolver novos modelos de negócios
Estágio 5: Propósito e paixão	Estágio 5: Criar patamar de próximas práticas

Fonte: Adaptado de Willard (2005) e Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009).

Para os fins deste trabalho, os níveis de escala propostos são os seguintes: (i) a organização não conhece e não usa essa ideia; (ii) a organização conhece, mas não aplica essa ideia; (iii) a organização possui projetos iniciais / piloto envolvendo essa ideia; (iv) a organização implantou essa ideia parcialmente ou em algumas áreas; e (v) a organização implantou essa ideia completamente e em todas as áreas. A escala de maturidade está apresentada no apêndice G.

A proposta da matriz conceitual de maturidade em sustentabilidade (MCMS), disposta no apêndice G com a escala de maturidade, foi motivada a partir da necessidade de traduzir qualitativamente o significado do nível de maturidade após a aplicação do instrumento. A matriz é autoexplicativa e relaciona os rótulos da escala (barra horizontal superior) com as dimensões do modelo (barras verticais do lado direito). A parte central da matriz, portanto, conduz o diálogo entre o resultado da maturidade à luz da literatura, a partir dos critérios distintos para cada uma das dimensões e rótulos da escala.

No que tange à análise comparativa entre Hynds *et al.* (2014) e a presente proposta, ambas buscam identificar maturidade em sustentabilidade na visão de DP. Discute-se, preliminarmente, as similaridades e diferenças. A primeira delas consiste na estrutura dos instrumentos de avaliação. A proposta de Hynds *et al.* (2014) está assentada em 14 dimensões e foco em dois grandes blocos: estratégia e ferramentas de *design* enquanto a proposta do trabalho ora discutido, está estruturada com 5 dimensões, segmentadas em 16 constructos.

A análise comparativa é composta por uma matriz, conforme Quadro 8. Dispõe-se na horizontal as dimensões e constructos da presente pesquisa e ao lado esquerdo, na vertical, as dimensões propostas por Hynds *et al.* (2014). Para facilitar a comparação, indica-se com o caractere “●” as semelhanças identificadas entre os constructos do modelo ora apresentado e os do modelo de Hynds *et al.* (2014). A comparação é baseada nas evidências identificadas, dado que Hynds *et al.* (2014) não explicitam detalhadamente o significado de cada uma das dimensões por eles apresentadas, embora salientem que as dimensões são originados em *frameworks* de sustentabilidade previamente estabelecidos.

Quadro 8 - Matriz comparativa entre os modelos de maturidade de Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014) e Hynds *et. al* (2014)
 Modelo de maturidade proposto



		Dimensões															
		Orientação Estratégica				Design			Processo de Desenvolvimento			Aspectos Socioambientais			Resultado		
		Perspectiva do ciclo de vida	Gestão do desenvolvimento	Modelos de Negócio	Competências Técnicas	Materiais	Energia	Engenharia simultânea	Upcycling	Fluxo Cíclico	Reduzir, reusar e reciclar	Eco-equidade	Cultura e ética	Regulamentação	Capital Natural	Lucratividade	Ecoeficiência
Modelo de maturidade - Hynds <i>et al.</i> (2014)	Dimensões Estratégicas	Política de Sustentabilidade Corporativa	•	•		•										•	•
	Estratégia geral de sustentabilidade	•										•				•	•
	Regulamentação governamental e política	•		•									•				
	Impacto das tendências	•		•		•	•		•	•	•	•	•		•		
	Cadeia de suprimentos (CSR)	•		•										•			
	Selos verdes												•				•
	Sustentabilidade projeto para o meio ambiente (DfE)	•	•	•	•	•	•					•	•			•	•
Dimensões ferramentas para projeto (design)	Especificações / desejos dos clientes		•	•	•	•	•	•			•						
	Análise do ciclo de vida					•	•	•	•		•			•			
	Seleção dos materiais e componentes (DfE)					•	•	•	•	•	•		•	•			
	Cadeia de suprimentos (DfE)					•	•			•	•	•	•	•			
	Impacto da manufatura (DfE)						•			•	•	•	•	•			
	Impacto da fase de uso (DfE)					•	•	•	•	•	•	•	•	•			
	Impacto do fim de vida (DfE)						•		•	•	•	•	•	•			

Fonte: O autor (2014).

Em linhas gerais, a partir de uma análise vertical dos elementos dispostos na matriz, é possível identificar aderência entre os constructos propostos com as dimensões com o modelo de Hynds *et al.* (2014). O mesmo é válido para a análise horizontal. Entretanto, os constructos das dimensões orientação estratégica, aspectos socioambientais e resultados demonstram consonância com as dimensões estratégicas de Hynds *et al.* (2014). Para as dimensões *design*, processo de desenvolvimento e aspectos socioambientais, estabelece-se relacionamentos com a dimensão ferramentas de projeto (DfE). Os relacionamentos com maior densidade estão destacados na cor cinza no Quadro 8.

Identificam-se relacionamentos eventuais entre *design* e processo de desenvolvimento com a dimensão impacto das tendências. Essa condição é estabelecida em função da adequação e flexibilização dos processos determinados pelas tendência do macroambiente. A sustentabilidade para o projeto para meio ambiente (DfE) atua diretamente no tocante aos materiais e energia, portanto, considera-se o relacionamento entre esses elementos.

Quanto às especificações e desejos de clientes, estes interferem diretamente na gestão do desenvolvimento tecnológico, ou seja, possibilita a reflexão de o nível de os elementos tecnológicos da organização são suficientes para entregar o que o cliente deseja, ou ainda, se novos modelos de negócio precisam emergir. E as competências técnicas estão estabelecidas e prontas para atender as necessidades de clientes.

Por fim, os modelos de maturidade para avaliação de sustentabilidade em DP são temas emergentes e complexos, evidenciado pela ausência de publicações, como indicado anteriormente. A análise comparativa entre ambos modelos determina que há certo nível de similaridade, porém, permite afirmar que ambos não são idênticos, principalmente se considerado o aspecto social e os elementos referenciais que sustentam o modelo abordado na presente proposta. Entende-se, portanto, uma contribuição e complementação ao tema, no mesmo sentido proposto por Hynds *et al.* (2014).

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo consistiu na proposição de um instrumento de medição de maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos. O instrumento proposto é combinado por um questionário, uma escala de maturidade e uma matriz conceitual de maturidade em sustentabilidade (MCMS).

O instrumento foi construído a partir do modelo conceitual proposto por Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014b) e avaliado por 3 especialistas do Brasil, 1 da Bélgica, 1 da

Inglaterra e 1 da Itália. Esse processo assegurou a construção de um segundo modelo, o qual originou o questionário. O questionário e a escala de maturidade propostos foram avaliados por 5 especialistas (diferentes dos 6 previamente mencionados) e asseguraram melhorias para a construção do instrumento final deste trabalho. A MCMS é uma contribuição desenvolvida no intuito de qualificar a maturidade no DP para os patamares de maturidade, à luz da discussão teórica abordada no trabalho.

O instrumento proposto foi comparado com o modelo de Hynds *et al.* (2014), ressaltando a similaridade entre a dimensão orientação estratégica, resultado e aspectos socioambientais com as dimensões estratégicas. Ressalta-se que os aspectos socioambientais apresentam menor similaridade, pois o modelo de Hynds *et al.*(2014) foca, em essência, na sustentabilidade ambiental. As dimensões *design*, processo de desenvolvimento e aspectos socioambientais aderem com as dimensões ferramentas de projeto (DfE). Portanto, percebe-se a relevância do tema para pesquisadores e organizações, além de consistência e alinhamento das dimensões e constructos sugeridos com essas questões. A literatura destaca a falta de trabalhos sobre avaliação de maturidade em sustentabilidade em DP, portanto, a aplicação do modelo deve ser remetido em aplicações práticas em diversos segmentos da indústria.

Quanto às limitações, salienta-se que, mesmo com a validação de especialistas, uma maior exposição do modelo poderá revelar novos refinamentos e ajustes, melhorando-se a resolução e efetividade do instrumento proposto. Aplicações estão em andamento, visando a estabelecer evidências empíricas sobre o alcance do modelo e seu potencial de discriminação. Pesquisas envolvendo novas aplicações são encorajadas.

6 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO 4

O conteúdo do artigo a seguir se propõe a responder o objetivo específico “c” desta dissertação.

NÍVEL DE MATURIDADE NO USO DE SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: UM ESTUDO NAS MONTADORAS DO BRASIL

RESUMO: Este trabalho avalia a maturidade em desenvolvimento de produtos sustentáveis das empresas montadoras de veículos de passeio com desenvolvimento de produto no Brasil. O método foi o censo, baseado em um instrumento de avaliação de maturidade e em entrevistas com gestores de desenvolvimento de produto. Dentre as 10 montadoras existentes, 7 se dispuseram a participar e 3 declinaram participação. As montadoras participantes representam aproximadamente 80% do volume de vendas de automóveis de passeio brasileiro. Os resultados obtidos indicam que o DP no setor automotivo brasileiro está centrado nas fases de manufatura e uso, com a implantação de melhorias incrementais, a partir de uma lógica de redução de custos. Também foi identificado que o nível de maturidade em sustentabilidade apresenta oportunidades de melhoria, principalmente se forem superadas as barreiras legais e mercadológicas, os quais são vetores para o setor se tornar sustentável sob o prisma do aspecto ambiental, econômico e social.

Palavras-chave: Instrumento de avaliação de maturidade. Desenvolvimento de produtos. Setor automotivo. Sustentabilidade.

6.1 INTRODUÇÃO

O cenário de competitividade global exige das organizações respostas rápidas ao ambiente de constante mutação. A indústria automotiva, por exemplo, vem sendo alvo de constantes pesquisas, em função da complexidade, geração de empregos e mudanças de paradigmas advindas das linhas de produção criadas por Henry Ford. Em particular, a indústria automotiva brasileira, relevante em termos de impacto no produto interno bruto (PIB), apresenta desafios para se tornar sustentável. A disponibilidade de recursos naturais no país proporciona condições para o desenvolvimento sustentável do setor e pode dar a

impressão que sustentabilidade seja um tema de menor relevância, embora integrado nas agendas das organizações.

Identifica-se uma gama de pesquisas sobre a indústria automotiva, dentro e fora do Brasil, no que tange à sua busca ou compromisso com a noção de sustentabilidade. Pesquisas sobre os impactos causados sobre o setor no meio ambiente (KIPERSTOCK, 2000; ORSATO; WELLS, 2006), os impactos das inovações ambientais nos produtos e na competitividade do setor (TRIEBSWETTER; WACKERBAUER, 2008) e sobre a eficiência energética na indústria automotiva da Alemanha e Colômbia (MARTÍNEZ, 2011) são exemplos. Estudos sobre sustentabilidade (CARVALHO; JÚNIOR, 2013) na cadeia, propostas de reorganização do setor a partir da Ecologia Industrial (WELLS; ORSATO, 2005) e práticas de responsabilidade social (MARTINUZZI *et al.*, 2011) também são encontradas. Assim como pesquisas sobre gestão do fim de vida de veículos no Reino Unido e Suécia (MANOMAIVIBOOL, 2008), formação de competências para o desenvolvimento de produtos nas montadoras do Brasil (AMATUCCI; BERNARDES, 2009) e avaliação da maturidade do processo de desenvolvimento em duas montadoras do Brasil. (QUINTELLA; ROCHA, 2007).

No Brasil, desde a abertura do mercado nos anos 90, o setor vem progressivamente retomando os investimentos em tecnologia e capacitação da mão de obra, com o intuito de melhorar a qualidade dos veículos automotores nacionais e promover a competitividade. (ALMEIDA *et al.*, 2006). Recentemente, o programa Inovar-Auto foi estabelecido pelo Decreto n. 7.819/2012 com o objetivo de incentivar os investimentos e crescimento da indústria automotiva nacional. O programa atribui descontos percentuais e incentivos de redução do imposto sobre produtos industrializados (IPI) para as empresas que cumprirem as determinações do programa. (BRASIL, 2012).

Ao mesmo tempo em que há o estímulo ao crescimento, há a necessidade em atender as demandas ambientais, voltadas à sustentabilidade. Ainda em 2010, o Governo Federal instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei N° 12.305/10, com o intuito de facilitar a implantação de dispositivos de ação com os atores envolvidos. O objetivo é facilitar e estimular o desenvolvimento de mecanismos, processos de negócios e aculturar todos quanto à responsabilidade sobre os recursos naturais. (BRASIL, 2010).

As condições de competitividade impostas pelo mercado global demandam estratégias de crescimento do setor. Nesse contexto, assume-se a manutenção da cultura focada na sustentabilidade econômica de curto prazo. (DYLLICK; HOCKERTS, 2002; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008). Entretanto, é afirmado que são constantes as

regulamentações ambientais e a pressão exercida sobre as organizações multinacionais para contemplarem os aspectos econômico, social e ambiental no processo de decisão dos negócios. (BRENT; LABUSCHAGNE; VAN ERCK, 2005).

Em estudo recente, a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) divulgou em matéria na revista Mobilidade e Sustentabilidade, afirmando que o setor está no último estágio de maturidade em sustentabilidade. Atestou ainda, que o conceito está plenamente implantado nas empresas e nos diversos níveis do setor e que a ordem é integrá-lo nos processos de negócio. O estudo ainda destaca que os materiais e processos empregados contribuem para o desenvolvimento de produtos avançados no conceito de sustentabilidade. (MOBILIDADE E SUSTENTABILIDADE, 2012). Em contrapartida, o levantamento de referências bibliográficas indica falta de pesquisas que avaliem empiricamente o quão sustentáveis as empresas estão, em função dos seus processos de negócios.

Considerando o contexto apresentado, verifica-se a necessidade de explorar o tema sustentabilidade no setor automotivo brasileiro. Por um lado, há pressão pela manutenção da competitividade e obtenção de lucros; por outro, há pressão para adequação às regulamentações ambientais, as quais demandam consideráveis investimentos na prevenção e tratamento. Como questão norteadora, o presente artigo pretende avaliar o nível de maturidade no uso de conceitos de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos das montadoras de veículos de passeio do Brasil. Para tanto, um censo foi realizado com as 10 montadoras com desenvolvimento e produção no Brasil foram contatadas. Dentre as 10 marcas, 7 se dispuseram a participar e 3 declinaram o convite. As 7 empresas representam 79,2% do volume de vendas de veículos de passeio do Brasil. (ANFAVEA, 2013).

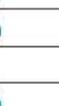
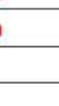
O restante do artigo é estruturado da seguinte forma. A seção seguinte caracteriza o setor de aplicação do estudo. Em seguida, apresenta-se sucintamente o modelo e o instrumento proposto por Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014c) para a coleta de dados. O artigo segue com a apresentação do método de condução da pesquisa. Então são apresentados os resultados da pesquisa de campo, juntamente com sua análise. Por fim, considerações sobre a pesquisa realizada e possibilidades futuras são apresentadas a título de conclusão.

6.2 O SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO

O setor automotivo brasileiro compreende uma cadeia de múltiplos elos, desde o fornecimento de matérias-primas, autopeças, montadoras, distribuição e serviços. (CNI,

2012). O parque industrial do setor automotivo abrange 57 unidades fabris, distribuídas nas 5 regiões do Brasil e entre 28 fabricantes distintos. Os produtos manufaturados consistem em veículos, caminhões, máquinas agrícolas, ônibus, motos e outros. (ANFAVEA, 2013). Para fins ilustrativos, as marcas de veículos rodoviários estão dispostas na Figura 11, com exceção de motocicletas. A amplitude do setor, para fins deste trabalho, é restrita ao segmento das montadoras de veículos de passeio, localizados ao lado esquerdo da figura. Dentre os fabricantes, existem 10 marcas instaladas no país, as quais estão distribuídas em 17 fábricas de veículos.

Figura 11 - Marcas de automóveis instaladas no Brasil

Empresas Companies	PRODUTOS / Products			
	Automóveis Cars	Comerciais leves Light commercials	Caminhões Trucks	Ônibus Buses
Agrale				
CAOA				
Fiat				
Ford				
General Motors				
Honda				
Hyundai				
International				
Iveco				
Mahindra				
MAN				
Mercedes-Benz				
Mitsubishi				
Nissan				
Peugeot Citroën				
Renault				
Scania				
Toyota				
Volkswagen				
Volvo				

Fonte: Adaptado de ANFAVEA (2013).

Segundo a FEDERAÇÃO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (FENABRAVE) (2013), essas 10 montadoras obtiveram um volume de vendas aproximado de 2,74 milhões de veículos de passeio (95,8% do total, desconsiderando-se veículos importados). Para a ANFAVEA, os volumes de venda de 2012 geraram receitas de aproximadamente US\$ 86 bilhões, equivalente a 18% do produto interno bruto industrial brasileiro. Os números crescentes do volume de vendas e receitas são atribuídos aos investimentos crescentes, os quais mais que dobraram de 2007 para 2012 (R\$ 1,9 para R\$ 4,7

bilhões). Outra implicação da produção e venda de veículos refere-se à carga dos impostos no preço ao consumidor. Hoje, no Brasil, essa fatia equivale a 30% do preço do veículo, enquanto Alemanha e os Estados Unidos, por exemplo, carregam os preços dos automóveis com a carga de impostos em 16% e 5,7%, respectivamente. (ANFAVEA, 2013). Em 2012, o setor arrecadou em torno de 24 US\$ bilhões em impostos.

O setor das montadoras de veículos emprega aproximadamente 130 mil pessoas e, acredita-se que para cada 1 pessoa alocada ao setor, outras 10 pessoas são empregadas nos elos da cadeia. Por sua vez, há representatividade social, por meio da geração de empregos, receitas, oportunidades e outros. (CNI, 2012).

Como resultado dos investimentos no setor, identifica-se o aumento na produção de veículos no país, que atingiu 2,6 milhões em 2012 e o aumento da frota de veículos nas ruas e estradas (incremento de 20 milhões em 2002 para 34 milhões em 2011). (ANFAVEA, 2013). Destaca-se ainda, que o setor das montadoras projeta a fabricação de 6,3 milhões de unidades em 2020, além da previsão da ordem de um carro para cada três habitantes após 2020. O setor é um dos maiores demandantes de produtos siderúrgicos, em torno de 25% da produção nacional de aço. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012). O aumento progressivo da produção significa constante pressão aos sistemas naturais, principalmente em relação aos processos e mecanismos de disposição e controle dos veículos.

Pesquisas realizadas atestam que as fases de manufatura e uso recebem a maior parcela da dedicação e esforço dos fabricantes de veículos. Por conseguinte, os processos de pós-uso não são compreendidos pelas montadoras. (MCAULEY, 2003; ORSATO; WELLS, 2006). Para Hawken, Lovins, A. e Lovins, H. (2007) existem oportunidades no que tange à otimização dos recursos nos processos produtivos, os quais representam custos a serem evitados e lucros futuros a serem obtidos.

A ANFAVEA (2012) destaca que o setor automotivo, no contexto da sustentabilidade, encontra-se nos níveis mais avançados e está plenamente incorporado às estratégias organizacionais. Salaria que os esforços alocados para a redução dos desperdícios dos recursos empregados são percebidos como investimentos e não meras despesas. Conseqüentemente, adequar sustentabilidade nos processos de negócio, formulado pelas dimensões ambiental, social e econômica, ou *triple bottom line* (TBL) (ELKINGTON, 1997; CHEN; BOUDREAU; WATSON, 2008), torna-se um desafio, visto que as organizações buscam resultados imediatos no curto prazo. (HALLSTEDT *et al.*, 2010).

Um dos mecanismos para disseminar a conscientização dos fabricantes quanto ao pós-uso são as leis e regulamentações. Na Europa, a Diretiva Europeia 2000/53/EC, denominada fim de vida dos automóveis (*End-of-life vehicles - ELV*), atribui responsabilidade compartilhada aos fabricantes de automóveis e responsabiliza as organizações quanto ao gerenciamento e definição de metas de redução do consumo de matérias-primas e geração de resíduos veiculares. (ORSATO; WELLS, 2006; MANOVAIVIBOOL, 2008; ZORPAS; INGLEZAKIS, 2012). No Brasil, a PNRS regula, especifica e dispõe mecanismos de controle de produtos para o fim de vida nível dos materiais dos automóveis, os quais giram em torno de 1,5%. (INSTITUTO ETHOS, 2012). Na Europa, o aproveitamento dos materiais e resíduos do final de vida abrange cerca de 40%. (EUROSTAT, 2013).

6.3 MODELO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE NO USO DE SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Mercados dinâmicos demandam a integração de sustentabilidade nos processos de negócio, que por sua vez aumenta a pressão externa dos *stakeholders* sobre as organizações (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2007), em função das restrições internas (GMELIN; SEURING, 2014). Cabe às organizações refletirem sobre os elementos tangentes ao ambiente interno e externo à organização, no sentido de implantar processos de desenvolvimento de produtos que agreguem valor ao cliente e à organização (NIDUMOLU; PRAHALAD; RANGASWAMI, 2009; GMELIN; SEURING, 2014).

Diante da complexidade de avaliar maturidade nos negócios, é necessário valer-se de instrumentos disponíveis na literatura. Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014c) propuseram um instrumento de avaliação da maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos (DP), construído a partir da visão de ecoeficiência e ecoefetividade. O Quadro 9 apresenta o modelo conceitual simplificado. A versão completa do modelo conceitual está disponível no apêndice D. O instrumento é composto pelas dimensões, a saber: (i) orientação estratégica; (ii) *design*; (iii) processo de desenvolvimento; (iv) aspectos socioambientais; e (v) resultado.

O modelo conceitual está articulado com dimensões, constructos e questões. As 41 questões são variáveis que operacionalizam os constructos e auxiliam a responder a questão problema. A medição das questões ocorre por meio de escalas do tipo multi-itens ou rótulos verbais (HAIR *et al.*, 2005), que determinam os níveis de maturidade e evoluem em estágios contínuos, desde o estágio inicial ao estágio superior, no sentido de descrever os patamares do

desempenho dos processos da organização. (SEI, 2010). Os rótulos verbais foram as informações utilizadas pelos respondentes para basear o seu julgamento quanto às questões propostas, a saber: (i) a organização não conhece e não usa essa ideia; (ii) a organização conhece, mas não aplica essa ideia; (iii) a organização possui projetos iniciais / piloto envolvendo essa ideia; (iv) a organização implantou essa ideia parcialmente ou em algumas áreas; e (v) a organização implantou essa ideia completamente e em todas as áreas.

Quadro 9 - Modelo conceitual

DIMENSÃO	CONSTRUCTO
ORIENTAÇÃO ESTRATÉGICA	Perspectiva de Ciclo de Vida
	Gestão do desenvolvimento tecnológico
	Modelos de Negócio
	Competências técnicas
DESIGN	Materiais
	Energia
	Engenharia Simultânea
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO	<i>Upcycling</i>
	Fluxo cíclico
	Reduzir, reusar e reciclar
ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS	Eco-equidade
	Cultura e ética
	Regulamentação
	Capital Natural
RESULTADO	Lucratividade
	Ecoeficiência

Fonte: Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014c).

Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014c) também propuseram uma matriz conceitual de maturidade em sustentabilidade (MCMS). O objetivo da matriz é qualificar o setor para cada uma das dimensões, à luz da literatura, pois suporta o diálogo entre o resultado da maturidade, os rótulos da escala e as dimensões propostas.

Os mesmos autores expõem a necessidade de aplicação prática do instrumento a partir de um conjunto de proposições sugeridas. As proposições apresentadas, conforme Quadro 10, visam responder a questão norteadora do artigo.

Quadro 10 - Conjunto de proposições

Proposição	Dimensão	Descrição
<i>P1</i>	Orientação Estratégica	<i>Organizações sustentavelmente maduras possuem orientação estratégica alinhada com o desenvolvimento de produtos.</i>
<i>P2</i>	Design	<i>Organizações sustentavelmente maduras apresentam forte alinhamento entre os conceitos de sustentabilidade e as decisões da fase de design.</i>
<i>P3</i>	Processo de Desenvolvimento	<i>Organizações sustentavelmente maduras apresentam processos de desenvolvimento que promovem o ciclo fechado de materiais.</i>
<i>P4</i>	Aspectos Socioambientais	<i>Organizações sustentavelmente maduras associam fortemente o desenvolvimento de produto aos aspectos socioambientais.</i>
<i>P5</i>	Resultado	<i>Organizações sustentavelmente maduras associam o resultado com o desenvolvimento de produtos sustentáveis e redução de desperdícios.</i>

Fonte: Lütkemeyer, Vaccaro e Moraes (2014c).

6.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa reportada neste artigo utiliza o censo como método de coleta de dados (MALHOTRA, 2012), sustentado por um instrumento objetivo e pela técnica de entrevistas semiestruturadas. (FLICK, 2004). Os resultados são analisados por estatísticas descritivas e por análise de conteúdo. (BARDIN, 1977). A população-alvo da pesquisa é constituída pelas empresas fabricantes de veículos de passeio do Brasil, que totalizam 10 marcas (ANFAVEA, 2013).

Para obtenção dos dados, inicialmente identificaram-se os gestores via sites das empresas e via redes sociais (LinkedIn), no intuito de obter contatos iniciais para acesso aos gestores relacionados ao P&D dessas organizações. Ao mesmo tempo, contatos das montadoras do Brasil foram catalogados. Para que fosse possível viabilizar as entrevistas, gestores efetivamente relacionados ao tema da pesquisa, foram realizadas 28 ligações para as montadoras.

Os gestores, quando identificados, eram informados do objetivo do contato e convidados a participar do processo. Após as ligações, enviava-se email com carta convite e instrumento de avaliação em anexos. Neste momento, reiterava-se os aspectos éticos e de confidencialidade da pesquisa. Novas ligações eram realizadas após 7 dias, quando na ausência de retorno, no sentido de solicitar confirmação. Foram realizadas, em média, 5 contatos telefônicos até a obtenção de um posicionamento. Ao final dessa etapa, 7 empresas

concordaram em participar e 3 declinaram. Para as que aceitaram participar, por intermédio dos gestores, foi determinado quais seriam as condições da entrevista, via sistemas de comunicação por *internet* e com gravação. As 7 montadoras que consentiram participação representam aproximadamente 80% do mercado de vendas de veículos no Brasil (2,36 milhões de unidades em 2012) (ANFAVEA, 2013).

O instrumento foi empregado como roteiro principal de entrevistas e amparado por questões de apoio (ambas disponíveis no apêndice E). Para cada questão coletou-se respostas conforme a escala de maturidade proposta e, sobretudo, foi possível adquirir informações relevantes sobre a perspectiva de sustentabilidade no desenvolvimento de produto, a partir da percepção declarada dos gestores. As informações gravadas foram transcritas, organizadas, categorizadas e analisadas conforme a análise de conteúdo. Por fim, os dados sustentaram as análises e discussões apresentadas nas seções seguintes.

6.5 RESULTADOS

Nesta seção é apresentado o resultado decorrente das 7 entrevistas realizadas com os gestores de DP da indústria automotiva no Brasil..

6.5.1 Dimensão Orientação Estratégica

Para a dimensão Orientação Estratégica, um resumo dos resultados é apresentado no Quadro 11.

No que tange ao constructo Perspectiva de Ciclo de Vida, o termo identificado com maior frequência – “redução dos custos do produto” (7 entrevistados) – representa uma realidade das empresas do setor automotivo do Brasil. As condições competitivas do mercado demandam o foco estrito na redução dos custos. Essa é uma visão centrada na perspectiva econômica aderente à visão de curto prazo e não caracteriza adaptação com sustentabilidade. Logo, corrobora-se com o ponto de vista de Dyllick e Hockerts (2002) e Chen, Boudreau e Watson (2008). A fala do Entrevistado M1 ilustra essa percepção:

O maior desafio das montadoras consiste na redução de consumo de combustível. A redução do emprego de materiais no veículo, e conseqüente redução dos custos, ocorre em função da competitividade demanda no contexto mercadológico... (M1)

Quadro 11 - Elementos identificados nas entrevistas - orientação estratégica

ORIENTAÇÃO ESTRATÉGICA	Perspectiva de Ciclo de Vida	<ol style="list-style-type: none"> 1) Redução dos custos do produto 2) Planejamento para a manufatura e uso 3) Não há processos para o pós-uso 4) Leis atrasadas 5) Condições mercadológicas desfavoráveis 6) Comunicação com stakeholders ocorre em diferentes níveis da organização (interno e externo) 7) Baixo nível de consciência dos consumidores 8) Transmitir visão de empresa verde 9) Processos organizacionais complexos limitam compreensão do todo
	Modelos de Negócio	<ol style="list-style-type: none"> 1) Sem intenção de implantar negócios inovadores 2) Processos consolidados em ambiente de manufatura 3) Restrições mercadológicas desfavorecem implantação 4) Modelos mentais dos stakeholders 5) Foco no menor custo do componente 6) Redução da influência cambial
	Gestão do Desenvolvimento Tecnológico	<ol style="list-style-type: none"> 1) Tecnologias para a redução do consumo e emissões 2) Sustentabilidade e tecnologia andam juntas 3) Legislação é um entrave para o avanço social em DP 4) Sustentabilidade é viável se der lucro 5) Questões mercadológicas são <i>drivers</i> para as soluções em sustentabilidade
	Competências Técnicas	<ol style="list-style-type: none"> 1) Não existe processo formal para desenvolver essas competências 2) Não existe difusão da necessidade desse perfil profissional 3) Poucas áreas pensam em sustentabilidade

Fonte: O autor (2014).

Os Entrevistados entendem que há um sólido “planejamento voltado para a manufatura e uso” (5 dos 7 entrevistados), ou seja, processos organizacionais estruturados, diretrizes claras, discurso correto dos gestores. No entanto, o termo “não há processos para o pós-uso” (6 entrevistados) apresenta-se como um limitante para contemplar uma perspectiva ampliada e sustentável de negócios. Esse ponto revela-se como conflitante entre os atores da organização, uma vez que os impactos dos processos de negócio aos sistemas naturais não são compreendidos. (WAAGE, 2007; SPANGENBERG, FUAD-LUKE E BLINCOE, 2010) e em linha com os expostos de Byggeth e Hochschorner (2005) e Short *et al.* (2012). Além disso, os resultados sustentam que a alta administração, responsável em atribuir e dinamizar a implantação de processos que assegurem resultados sustentáveis. (GMELIN; SEURING, 2014), ainda percebe o negócio sob a ótica linear do fluxo de materiais. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007). O extrato a seguir reitera o contexto discutido:

Há um controle rigoroso para os desperdícios na manufatura. Quanto ao pós-uso, isso deve demorar a acontecer, pois não está no cerne da organização... (M6)

Os termos “leis atrasadas” (4 de 7 entrevistados) e “condições mercadológicas desfavoráveis” (4 de 7 entrevistados) empregam vetores restritivos às organizações implantarem processos e produtos sustentáveis, bem como investir na redução do consumo de

recursos naturais. Nesse sentido, a hipótese de Porter (1995b) não pode ser avaliada dentro do contexto apresentado, uma vez que a visão sobre investimentos em sustentabilidade está assentada num paradigma estático. Logo, afirmar que leis induzem investimentos em inovação no setor automotivo não é factível, pois as leis atuais não são maduras. Com isso, o modelo mental de pagar para tratar ao invés de prevenir persiste. (KIPERSTOOK *et al.*, 2002; BLEISCHWITZ, 2010). Na fala dos entrevistados M4 e M5:

Existem limitantes tributários que impedem as organizações em adotar e promover todo o aparato de sustentabilidade... (M4)

Quanto ao pós-uso, esse é um elemento que está diretamente influenciado pelas políticas e leis, as quais no Brasil são bem atrasadas em relação aos países desenvolvidos (M5)

Não menos importante, o “baixo nível de consciência dos consumidores” (3 de 7 entrevistados) respalda a sistemática adotada pelas empresas. Ou seja, o investimento em sustentabilidade ocorre somente se houver mercado consumidor disponível a pagar por esse investimento. No contexto identificado, há um grande risco em não se obter o retorno planejado. Portanto, identifica-se confluência da percepção declarada dos respondentes com a predisposição das organizações investirem em produtos verdes, à medida que os mercados se tornam exigentes e consumidores ambientalmente conscientes. (TAISCH *et al.*, 2010).

Conforme a visão de parte dos entrevistados, a “complexidade dos processos organizacionais das empresas do setor automotivo (multinacionais) dificulta a compreensão do todo” (2 de 7 entrevistados) ou seja, a abrangência das ações relacionadas com sustentabilidade. Logo, os impactos ao longo do ciclo de vida são por vezes ignorados. Como efeito, a pressão dos *stakeholders* sobre a organização se confirma, pois o foco do negócio é a sustentabilidade econômica (BRENT; LABUSCHAGNE, 2007). O trecho a seguir traduz a percepção dos entrevistados M6:

Vou ser honesto..., não sei exatamente em que nível essa discussão está ocorrendo. Infelizmente não conseguimos ter a visão de todos os processos..., esse é um mal de grandes corporações (M6)

Todavia, foi possível identificar que as empresas possuem “canais de comunicação com os *stakeholders* nos níveis internos e externos” (4 de 7 entrevistados) contemplando os aspectos de processos e produtos sustentáveis. Isso demonstra alguma preocupação em “transmitir imagem de empresa verde” (2 de 7 entrevistados) e construir uma imagem de organização responsável. (AMBEC; LANOIE, 2008; FIKSEL, 2009). Na visão de M4:

Sob o ponto de vista da empresa, passamos a mensagem para os stakeholders em diversos níveis..., mas o cliente não se interessa pelo tema e não capta a mensagem, o que compromete a eficácia das ações (M4)

Percebe-se que as montadoras não visualizam a ecoefetividade sobre o ponto de vista estratégico de negócios. As diretrizes estratégicas sugerem, a partir do DP, concentração de esforços para os processos de manufatura e foco no uso do produto.

No que se refere ao constructo Modelos de Negócios, um dos termos revelados com maior frequência foi a frase “sem intenção de implantar negócios inovadores” (3 de 7 entrevistados). Nesse sentido, a mudança de foco da venda para o uso maximizado dos recursos e produtos (STAHHEL, 1997; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007; BOCKEN *et al.*, 2014) mostra-se incompatível com o atual modelo no curto e médio prazos. Esse fato é reforçado pelos termos identificados no constructo anterior, tais como “foco em redução do custo” (6 de 7 entrevistados) e “restrições mercadológicas” (4 de 7 entrevistados), os quais impõem barreiras à sensibilização das organizações no sentido de alavancar novas proposições de valor ao negócio.

Um fator que parece ser relevante, ainda que parcialmente, para a implantação de novos modelos de negócio é o “modelo mental dos stakeholders” (3 dos 7 entrevistados). Esse termo evidencia um entrave às intenções organizacionais em perceber valor para adoção desse tipo de estratégia. Segundo Hawken, Lovins, A. e Lovins, H. (2007) e Stahel (2010), intensificar estratégias de negócios focadas no uso são cruciais para a redução da pressão dos sistemas naturais. Bocken *et al.* (2014) complementam apontando para a insensibilidade das empresas ao não perceberem a importância em valorizar o capital natural disponível. Pode-se inferir que o paradigma atual ainda é insuficiente para resolver os problemas atuais. (KUHN, 1962). As discussões dos dois últimos parágrafos são exemplificadas pelo excerto a seguir:

Os desafios para implantar esse tipo de estratégia ocorrerão assim que o modelo de pensamento do governo, sociedade, consumidores e das montadoras mudar... hoje carro é símbolo de status no Brasil (M5)

Por fim, a questão do programa Inovar Auto estimula as empresas montadoras de veículos aos investimentos em inovação e competitividade. Como resultado, ocorre isenção fiscal aos fabricantes à medida que uma série de metas estabelecidas pelo programa forem sendo atingidas, inclusive a localização de componentes. (BRASIL, 2012). Por isso, em parte, a localização ocorre com o intuito de proporcionar os benefícios do programa e ficarem “menos sujeitas à influência cambial” (2 de 7 entrevistados); não por serem ambientalmente conscientes.

Para o constructo Gestão do Desenvolvimento Tecnológico, identificou-se que o elemento ocorrido com maior frequência foi o “investimento em tecnologias para redução de consumo de combustíveis e emissões” (todos os entrevistados). Tendo em vista que a principal matriz energética da indústria automotiva brasileira é oriunda do petróleo, as organizações são pressionadas no sentido de produzir veículos mais econômicos e menos poluentes. Os achados permitem afirmar que há consonância com Porter e Van der Linde (1995a, 1995b) e Ambec e Lanoie (2008), pois se busca empregar esforços para implantar tecnologias para a redução dos consumos de recursos naturais.

Em certo sentido, o setor automotivo busca reduzir o consumo de recursos naturais não renováveis (combustíveis fósseis). As tecnologias empregadas visam melhorar os níveis de consumo de combustível, mas não demonstram intenção em focar em energias renováveis, que por sua vez, caracterizariam que os processos estão focados em ações ecoeficientes.

Contudo, o emprego das tecnologias é limitado pelo complexo mercadológico, pois existem conjunturas que impedem as empresas em investir em processos e produtos sustentáveis. Cita-se como exemplos os termos “sustentabilidade só é viável se der lucro” e “questões mercadológicas são *drivers* as soluções em sustentabilidade”. O primeiro termo responde por si só, porém o segundo pode ser traduzido pelos termos, a saber: (i) políticas e leis; (ii) mercado consumidor; e (iii) modelos mentais dos *stakeholders*. As evidências identificadas permitem relacionar os resultados com o exposto por Bocken *et al.* (2014), ou seja, as inovações sociais e tecnológicas estão amarradas aos limites das leis de conformidade ambiental; diante dos conceitos de Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009), no que tange à indisposição dos clientes em pagar por produtos verdes e Stahel (2010), ao apontar que a compreensão de sustentabilidade depende de questões culturais e geopolíticas. Nesse sentido, afirma-se que a postura defensiva das organizações permite que ocorram mudanças incrementais, no intuito de minimizar riscos motivados pelas leis e com isso, limitam o avanço social a partir do DP. As passagens a seguir exemplificam a perspectiva identificada durante as entrevistas:

A organização prioriza o que dá maior lucro. Hoje, não há incentivo do governo nesse sentido, tampouco consciência do consumidor. O grosso das vendas ocorre por meio de produtos e tecnologias menos sustentáveis. A nossa venda de carros sustentáveis é mínima. O Brasil parou na era do Pró-Alcool e não avançou nesse sentido, o lobby dessa indústria impede o avanço de novas tecnologias (M5)

Para o constructo Competências Técnicas, a análise das entrevistas revelou que as organizações “não possuem um processo formal para determinar as competências sociais e

ambientais” (7 de 7 entrevistados) dos engenheiros e profissionais alocados ao DP e a “difusão da necessidade deste tipo de perfil é inexistente” (3 de 7 entrevistados). Como elemento final, identificou-se, ainda que tenuemente, que “poucas áreas pensam em sustentabilidade” (2 de 7 entrevistados). Nesse sentido, a visão holística necessária para desenvolver produtos sustentáveis apontada por Johansson (2002), Jawahir *et al.* (2005) e Manzini e Vezolli (2008) não é atribuída. Fatores de conjuntura externa, tais como leis, baixo nível de consciência do consumidor e modelos mentais dos *stakeholders* são fatores associados à não aderência ao constructo. Por fim, a lacuna revelada neste aspecto demonstra sinergia com os achados de Kerga *et al.* (2012), que afirmam existir barreiras à integração de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos. O excerto a seguir atesta o posicionamento do setor:

O nosso mercado não favorece o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, logo, não se discute esse perfil profissional, hoje é desnecessário. Creio que isso não ocorrerá no médio e longo prazos... (M2)

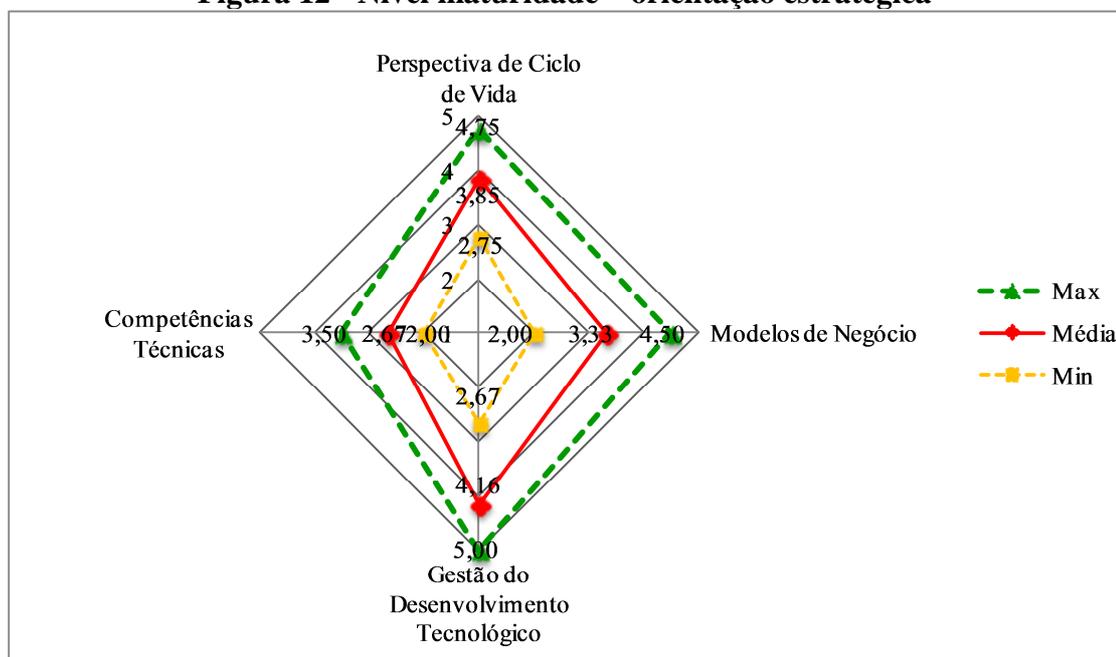
A Figura 12 apresenta um gráfico de radar contemplando os quatro constructos representativos da dimensão Orientação Estratégica. A linha central apresenta o valor médio atribuído aos resultados das montadoras. A faixa tracejada externa representa os valores máximos médios identificados nas respostas de cada constructo entre as diferentes montadoras e, as linhas tracejadas internas representam os valores médios mínimos. O mesmo padrão de leitura é utilizado para as demais figuras que serão apresentadas ao final de cada dimensão.

O constructo perspectiva do ciclo de vida apresentou um nível de maturidade médio de 3,86 e amplitude de 2 pontos entre os limites superior e inferior. Isto ocorre em função da percepção declarada dos gestores para compreender os processos organizacionais. Fatores associados ao custo e questões legais e mercadológicas influenciam o desdobramento de decisões de negócio e adoção de produtos e processos sustentáveis. Sob o ponto de vista do trabalho realizado, pode ser afirmado que no setor ocorre “*orientação estratégica e incentivos para o desenvolvimento de soluções sustentáveis a partir dos impactos do ciclo de vida, com boas práticas em fase de implantação*”.

O constructo modelos de negócio resultou num resultado médio de 3,38 e amplitude de 2,5 pontos entre os limites superior e inferior. Esse resultado é evidenciado pela falta de intenção de implantar novos modelos de negócio e foco consolidado em ambiente de manufatura e modelos mentais dos *stakeholders*, que desincentivam a adoção de novas

práticas. O trabalho identifica, à luz da teoria, que o posicionamento do consiste na “*existência de modelos de negócios pensados de modo pontual e assistemático*”.

Figura 12 - Nível maturidade – orientação estratégica



Fonte: O autor (2014).

Para o constructo gestão de desenvolvimento tecnológico, identifica-se uma média de 4,16 para o setor e uma amplitude de 2,33 entre os limites superior e inferior. Essa diferença evidencia, para mais ou menos, que as empresas montadoras têm disposição em investir tecnologias e tornar os produtos sustentáveis. Porém, fica evidente que as organizações só investem se perceberem que a sustentabilidade gera lucro e o mercado favorece decisões dessa natureza. Logo, “*tecnologias limpas são implantadas, mas limitadas pelo fator custo*”.

Já para o constructo competências técnicas, a média geral de maturidade obtida foi de 2,67 e amplitude de 1,5 entre os limites superior e inferior. Evidencia-se que no setor não existe diretriz para a escolha de competências que compreendam conhecimentos sobre sustentabilidade. Portanto, a pesquisa conduzida permite inferir que o “*setor direciona a alocação de mão de obra somente sob o prisma técnico*”. Os resultados obtidos ao longo das entrevistas admitem consonância com a matriz conceitual de maturidade em sustentabilidade, conforme descrito no apêndice G.

6.5.2 Dimensão *Design*

Referente à dimensão *Design*, o Quadro 12 ilustra o resumo dos termos chave identificados:

Quadro 12 - Elementos identificados nas entrevistas - *design*

<i>DESIGN</i>	Materiais	<ol style="list-style-type: none"> 1) Normas internas de restrição dos materiais 2) Lista de materiais banidos para o uso 3) O custo é o principal fator de decisão 4) Atender os critérios legais 5) Critérios de escolha com foco na manufatura e uso
	Energia	<ol style="list-style-type: none"> 1) Eficiência energética não é determinante para a escolha de materiais 2) Critérios de fim de vida são negligenciados 3) Redução da massa, consumo e emissões veiculares 4) Reuso de cavacos de usinagem 5) Reaproveitamento de água 6) Desconhecem técnicas de avaliação dos impactos no ciclo de vida 7) Etiquetagem veicular (INMETRO)
	Engenharia Simultânea	<ol style="list-style-type: none"> 1) Engenharia simultânea plenamente empregada 2) Crucial para o <i>time-to-market</i> e competitividade 3) Difícil afirmar o que é um produto sustentável

Fonte: O autor (2014).

No que tange ao constructo Materiais, identificou-se que o termo “normas internas de restrição dos materiais” (7 de 7 entrevistados) emergiu com maior número de frequência. A implantação nas organizações está consolidada, principalmente pela área de Engenharia de Materiais. Normativas internas determinam os contornos necessários para o enquadramento dos materiais adequados ao uso, que minimizem os impactos ambientais e não comprometam a saúde humana. Logo, a “lista de materiais banidos para o uso” (6 dos 7 entrevistados) faz parte do cotidiano das atividades de DP, que permite inferir com as afirmações de McDonough *et al.* (2003) e Braungart, McDonough e Bollinger (2007), ao citarem que materiais livres de substâncias nocivas são preferidos para circularem em sistemas fechados.

As empresas do setor automotivo são subsidiárias das matrizes no exterior, por isso, há uma diretriz global para cumprimento de normas, fato que explica o adoção de processos nas unidades subsidiárias. A frase a seguir corrobora com os elementos identificados e discutidos anteriormente:

Há uma área de engenharia de materiais, dedicada na avaliação dos materiais empregados nos veículos. Isso ocorre com base em procedimentos e normas internas de restrição do uso de materiais e cumprimento da legislação...(M3)

Entretanto, resguardadas as obrigações legais nas quais as montadoras estão sujeitas, o “custo é o principal fator de decisão” (7 de 7 entrevistados). Este ponto vai ao encontro das afirmações sobre o critério de escolha no *design*, empregado desde a era industrial. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; LINNENLUECK; GRIFFITHS, 2012). Já o termo “critérios de escolhas com foco na manufatura e uso” (3 dos 7 respondentes) foi parcialmente ressaltado pelos entrevistados, evidenciando a negligência ao pós-uso e atestando que essa parcela não é compreendida tanto sob o ponto de vista dos impactos ambientais quanto pelas oportunidades de negócio. Com isso, o direcionamento das ações empresariais para empregar formas de reduzir os desperdícios ao final de vida não se concretiza. (THE ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; EUROSTAT, 2013). Os indutores teóricos (leis e políticas, consciência do consumidor, tributação e outros) limitam o processo de racionalização das organizações e visualização dos impactos ao fim de vida.

Com relação ao constructo Energia, o termo “eficiência energética não é determinante para a escolha de materiais” (4 de 7 respondentes) emergiu como um aspecto relevante. Este aspecto destaca um contraponto de ideias e ações necessárias para reduzir o consumo energético e melhorar a qualidade da energia utilizada nos materiais. (AYRES, 2001). Adicionalmente, percebe-se antagonismo com a visão de Ayres a partir dos termos “redução de massa, consumo e emissões veiculares” (5 dos 7 respondentes) e, em menor grau, “etiquetagem veicular” (2 dos 7 respondentes). Ao mesmo tempo em que ocorre a busca por certificação e etiquetagem do INMETRO, traduzida em menor nível de consumo de combustível e demanda energética, o modelo mental prevalecente é o do custo. Como consequência a questão energética é declarada secundária, o que implica num cenário de continuidade dos desperdícios energéticos e aumento da pegada ecológica (FIKSEL, 2009). O trecho extraído das entrevistas ressalta as afirmações anteriores:

A gente observa na indústria o uso de tecnologias sustentáveis à medida que haja escala de produção com o custo adequado. O cliente paga mais por crer que a tecnologia avançada traz benefícios, tipo as lâmpadas de led. Mas o driver é o custo. A tecnologia sustentável deve mostrar vantagem para o fabricante não somente para o marketing institucional (M5)

Outro elemento identificado e relevante no âmbito do trabalho foi “critérios de fim de vida do produto negligenciado” (4 de 7 respondentes). Esse termo é complementar ao foco na manufatura e uso, discutido no constructo anterior e apontado na dimensão Orientação Estratégica. Nesse sentido, as ações do *design*, centradas em decisões que desvalorizam uma perspectiva holística, sustentam as tendências de aumento dos níveis à taxas proporcionais ao

uso de recursos naturais. Para o contexto da pesquisa ora discutido, as afirmações de Mackay (2009) são confirmadas e o apontamentos de Kiperstook *et al.* (2002) são rechaçadas. O parágrafo a seguir expõe um ponto de vista complementar ao parágrafo anterior:

Há processos para manufatura e uso bem consolidados. Mas ainda existem desafios para superar as restrições de competitividade impostas pelo custo e preço de produto. Custo, sob o ponto de vista da lucratividade e preço sob o ponto de vista da disposição do cliente em aceitar um produto com maior eficiência energética... (M4)

Em menor frequência surgiram os termos “reaproveitamento da água” (3 de 7 entrevistas) e “reuso de cavacos de usinagem” (2 de 7 entrevistados). Verifica-se a predominância de processos internos limpos, ante aos elementos relacionados com a manufatura. Os argumentos estão em consonância com o já recomendado por Ford (1927) e certificam que as empresas buscam aperfeiçoar o uso materiais empregados, reaproveitar os desperdícios internos, que geram ganhos econômicos e comprovam que os serviços prestados pelo capital natural são valiosos. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007). Por meio de inserções das entrevistas é possível identificar a ocorrência de ecoeficiência nos processos internos. No entanto, isto ocorre nos limites do ambiente fabril e insuficiente para assegurar a ocorrência de ecoefetividade. A visão das organizações está centrada em manufatura e uso e, no curto prazo.

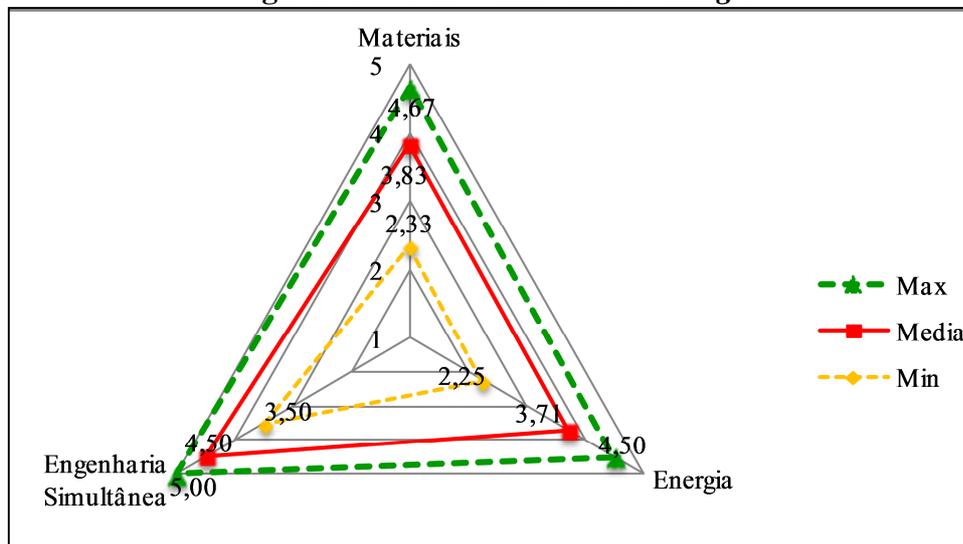
Por fim, algumas entrevistas revelaram que os gestores de PD “desconhecem técnicas de avaliação dos impactos no ciclo de vida” (2 de 7 entrevistados) ou ferramentas de uso na fase de *design*. O excerto a seguir revela essa constatação:

Os materiais empregados no veículo tem um viés com foco no aspecto econômico... (M3)

Quanto ao constructo Engenharia Simultânea, constatou-se o surgimento dos termos “engenharia simultânea plenamente empregada” (7 de 7 os entrevistados) e “essencial para o *time-to-market*” (4 dos 7 entrevistados). Nesse sentido, os achados permitem inferir que há confluência com May, Taish e Kerga (2012) e Morgan e Liker (2008). Entretanto, o mesmo não se pode afirmar em relação aos expostos por Luttrupp e Lagerstedt (2006), ao serem confrontados, ainda que parcialmente, com o termo “difícil afirmar o que é um produto sustentável” (2 dos 7 entrevistados). Esse fato demonstra alinhamento com as afirmações, ainda inconclusivas, de Gmelin e Seuring (2014), ao mencionarem que produto sustentável não é factível, mas sim um processo sustentável de *design*.

A figura 13 apresenta o resumo dos resultados de maturidade para a dimensão ora discutida.

Figura 13 - Nível maturidade – design



Fonte: O autor (2014).

O constructo materiais resultou numa média de maturidade de 3,83 e amplitude de 2,34 pontos. Os resultados são sustentados pela seleção de materiais adequados ao *design*, conforme normas internas e legais, mas centradas no custo e, via de regra, focada nos processos de manufatura e uso do produto. Portanto, o posicionamento do setor para o constructo tende para as escolhas “*materiais demandados pelos processos e produtos são projetados para atender os princípios de sustentabilidade, mas com foco em etapas restritas do ciclo de vida do produto*”.

Para o constructo energia, o resultado obtido indicou média de maturidade de 3,73 e amplitude de 2,25 pontos. Fica claro que há inconsistências nas avaliações energéticas no processo de *design*, uma vez que a eficiência energética não é prioritária na escolha dos materiais. O foco é direcionado à manufatura e, principalmente o uso, promovido pela legislação e programas de incentivos do governo. O posicionamento do setor identifica que “*as boas práticas para determinação dos níveis de eficiência energética são projetados para atender os princípios de sustentabilidade, focados em etapas restritas do ciclo de vida do produto*”.

O constructo engenharia simultânea possibilitou a obtenção de um resultado médio de 4,5 pontos e amplitude de 1,5 pontos. A indústria automotiva emprega massivamente a engenharia simultânea. Segundo os entrevistados, a abordagem permite entregar produtos

mais rápidos ao mercado. Porém, os gestores não estão certos se produtos sustentáveis são produzidos com o emprego da técnica, fato que permite atribuir um ponto de interrogação às práticas do setor. Por fim, a frase que resume o posicionamento para o constructo pode ser qualificado, sob o ponto de vista de sustentabilidade, é que “*a engenharia simultânea é utilizada em algumas áreas*”.

O resultado médio para a dimensão foi de 3,93, indicando alinhamento com a MCMS proposta, uma vez que materiais e energia empregados estão restritos ao elemento custo e com foco nas etapas de manufatura e uso.

6.5.3 Dimensão Processo de Desenvolvimento

No que tange ao Processo de Desenvolvimento, o Quadro 13 apresenta um panorama dos elementos emergentes:

Quadro 13– Elementos identificados nas entrevistas - processo de desenvolvimento

<i>PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO</i>	Upcycling	1) Inexistência de procedimentos claros 2) Não é prioritário 3) Pós-uso é negligenciado 4) Resíduos tratados na manufatura 5) Papéis e responsabilidades indefinidos
	Fluxo Cíclico	1) Desconhecem processos de coleta 2) Legislação deve demandar estas práticas 3) Processos não estão desenhados 4) Materiais permitem reciclabilidade 5) Métricas para manufatura estão consolidadas 6) Carga de impostos e tributos é desestimulantes para as empresas 7) Não há métricas para o fim de vida
	Reduzir, reusar e reciclar	1) Técnicas de modelagem e simulação numérica 2) Processos não estão desenhados 3) Não há processos de logística reversa 4) Itens controlados por lei são retornados 5) Padrão de consumo no Brasil é um fator limitante 6) Entraves políticos e legais

Fonte: O autor (2014).

No que se refere ao constructo *Upcycling*, o termo que emergiu com maior frequência foi “inexistência de procedimentos claros” (5 de 7 entrevistados). Nesse sentido, não foi possível avaliar se o *upcycling* ocorre de maneira eficaz na cadeia do setor automotivo, conforme o ponto de vista Braungart, McDonough e Bollinger (2007) e Braungart e McDonough (2013).

Um dos termos enfatizados por alguns dos entrevistados foi “não é prioritário” (3 de 7 entrevistados). Dentro do contexto das entrevistas, pode-se inferir que tanto o custo quanto as condições mercadológicas não induzem ou motivam as organizações em pensar em agregar valor aos materiais e componentes após o uso do produto. Portanto, as afirmações de JAWAHIR *et al.* (2005) e DINIZ JÚNIOR (2012) não podem ser verificadas. E, em certo sentido, as tendências de riscos aos negócios em função da indisponibilidade futura de recursos naturais não pode ser desprezada. (HAWKEN; LOVINS, A.; LOVINS, H., 2007; STAHEL, 2010; UNEP, 2012).

Quanto aos termos “o pós-uso é negligenciado” e “resíduos são tratados na manufatura”, ambos foram apontados (3 dos 7 entrevistados) como relacionados também a esta dimensão. Termos similares ao primeiro já foram discutidos nas dimensões anteriores e o tratamento dos resíduos na manufatura reforça o foco das organizações nesta etapa do ciclo de vida. Por fim, outro termo que merece destaque é o de “papéis e responsabilidades indefinidos”. Esse elemento apresenta coerência com os elementos “condições mercadológicas desfavoráveis” e “leis atrasadas”, discutidos na dimensão Orientação Estratégicas. Em certo sentido, as afirmações de Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009) não podem ser verificadas. Segundo o relato dos entrevistados, as leis e a educação do consumidor no Brasil desmotivam a adoção de padrões sustentáveis. O comentário a seguir reforça as discussões anteriores:

Quanto à questão de reaproveitamento e reciclagem dos materiais, não há uma determinação sobre quem faz o quê. Para agregar valor ao que é um resíduo, precisaria haver uma estrutura para redirecionar as peças e componentes. Não temos uma diretriz formal para trabalhar esta questão. Creio que deveria haver imposição do governo para fazer isso acontecer, desde que trabalhado o lado da conscientização do cliente... (M4)

Para o constructo Fluxo Cíclico, as entrevistas revelaram, com equivalente frequência, que os gestores “desconhecem processos de coleta” e que “a legislação deve demandar estas práticas” (4 de 7 entrevistados). Esse resultado indica que os entrevistados desconhecem a regulamentação vigente, a PRNS. Já o termo “processos não estão desenhados” emergiu na fala de 4 dos 7 entrevistados. Percebe-se também que a expressão “materiais permitem reciclabilidade” foi apontada por 3 dos 7 entrevistados.

Os termos apontados anteriormente podem ser conectados com a expressão “a carga de impostos é desestimulante para as empresas”. Dados os resultados, percebe-se que há relação da visão paradigmática do DP com os expostos por Pujari (2006) motivados pela legislação e tributação, expostos nas dimensões anteriores. É possível destacar o cenário

identificado com o estágio 1 de sustentabilidade, proposto por Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009). Neste sentido, as organizações não percebem as leis como motivadoras para inovarem e se tornarem sustentáveis, dadas as particularidades locais. O extrato a seguir corrobora com os termos identificados com 3 entrevistados:

Os produtos são compostos por materiais recicláveis, mas os processos são paralelos e não determinados pela organização. Não se pensa nesse tema no desenvolvimento... (M2)

Ao longo das coletas pode ser observada a frequência cujo termo “métricas para a manufatura estão consolidadas” foi empregado nas organizações (5 dos 7 entrevistados). Existe o cuidado em reduzir seus custos internos e com isso, reduzir o desperdício, quantidade de energia e reaproveitamento de materiais. Identifica-se consonância com Luttrupp e Lagerstedt (2006), no que tange às regras de ouro (foco na manufatura). Além disso, os materiais permitem reciclabilidade mas não existem processos desenhados no sentido de procrastinar / eliminar o volume de desperdícios e resíduos enviados para aterros industriais, conforme Jackson (2009). Logo, as ineficiências dos sistemas industriais acarretam custos no qual toda a sociedade é impactada. (PORTER; VAN DER LINDE, 1995b). O excerto a seguir revela facetas destacadas nas entrevistas:

Montadoras têm muitas métricas para manufatura. A adoção dessas métricas para pós-uso é um desafio grande. Para implementá-la, deveria haver algum motivador externo para a organização...(M6)

Quanto ao constructo Reduzir, reusar e reciclar, foi possível identificar nas entrevistas que as organizações possuem “técnicas de modelagem e simulação numérica” robustas (7 de 7 respondentes). Esse é um ponto crucial na determinação da quantidade ideal de materiais a ser incorporado no projeto e conseqüente impacto no custo. Com base nos termos emergentes, verifica-se alinhamento com Luttrupp e Lagerstedt (2006) no que tange ao projeto para manufatura e projeto para utilização de recursos e economia. O trecho a seguir corrobora com a discussão sugerida:

Somos muito cobrados para reduzir o nível de emissões, consumo de combustível e melhorar o nível de segurança dos veículos. Portanto, o uso de softwares é essencial para possibilitar a redução da massa veicular e otimizar o custo do produto (M5)

Cabe ressaltar que, embora as organizações sejam pressionadas para melhorar o nível de segurança veicular, o fator custo é um elemento limitante. Em outras palavras, a escolha de materiais de ponta, com alta tecnologia e valor agregado, se empregados, podem inviabilizar

um projeto. A questão dos tributos e custos no Brasil desestimulam investimentos em materiais de primeira qualidade. Como resultado desse nível de escolhas, descortinam os efeitos nos testes de colisão frontal no qual os veículos nacionais são submetidos.

O termo “processos não estão desenhados” foi mais uma vez destacado (5 de 7 entrevistados), reforça o visão de fluxo linear – Tipo I (forte dependência dos recursos naturais e premissa de que há capacidade ilimitada de suprimento de matérias-primas) e, dadas as limitações, somente em nível de atuação da firma (AYRES, R.; AYRES, L., 2002; CHERTOW, 2000) e, em linha com o termo “não há processos de logística reversa” (5 dos 7 entrevistados). Portanto, não é possível fazer inferências com relação ao aumento das taxas de reuso e reciclagem ao longo do ciclo de vida com as afirmações de Karlsson e Luttrupp (2006), Bleischwitz (2010), Krikke (2010) e Reh (2013).

Outro elemento a ser destacado foi o termo “itens controlados por lei são retornados” (7 de 7 entrevistados). Esse termo demonstra concordância com PNRs (BRASIL, 2010) de modo parcial, uma vez que a responsabilidade compartilhada do fabricante está consolidada para itens poluentes perigosos (baterias, lubrificantes, pneus, outros). Com isso, verifica-se que não há metas claras para a redução de consumo de recursos naturais, conforme apontado por Orsato e Wells (2006), Manovaiivibool (2008), Zorpas e Inglezakis (2012), tampouco perspectiva de redesenho de processos e produtos. (HART; MILSTEIN, 2003; NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008).

Por fim, os termos “padrão de consumo no Brasil é um fator limitante” e “entraves políticos e legais” (2 dos 7 entrevistados) surgem novamente no contexto do processo de desenvolvimento, apontados na dimensão Orientação Estratégica. Portanto, os termos reiteram a necessidade de haver políticas direcionadas ao consumo sustentável e a produção de produtos sustentáveis por parte das organizações. O trecho a seguir resume os elementos recentemente destacados:

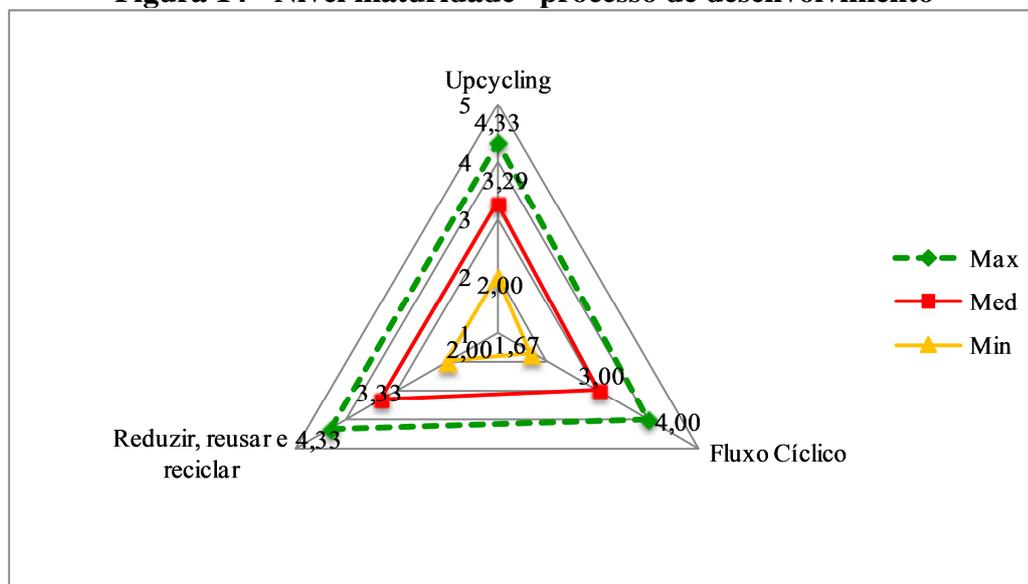
Existem muitas técnicas para controle e redução dos desperdícios, no entanto, dar o destino adequado aos componentes, seja para reuso ou reciclagem, não está claro para a empresa. A questão tributária é um entrave para implantar esses processos. Precisamos de vontade política e governo esclarecido que estimule a implantação de tecnologias e processos adequados ao setor (M4)

A discussão realizada ao longo da dimensão é traduzida pelos resultados apresentados na Figura 14.

O constructo *upcycling* resultou numa média de maturidade de 3,29 e amplitude de 2,33 pontos. Observa-se que não existem procedimentos claros, priorização ou definição das

responsabilidades em valorar os resíduos que hoje são gerados. A maturidade do setor identifica que “a organização busca agregar valor aos resíduos de modo pontual”.

Figura 14 - Nível maturidade – processo de desenvolvimento



Fonte: O autor (2014).

Com relação ao constructo Fluxo Cíclico, o resultado de maturidade médio foi de 3 e o amplitude entre os limites superior e inferior foi de 2,33. Os resultados permitem inferir que processos integrados entre empresas não estão contemplados, não existem incentivos da legislação para promover processos cíclicos e há compreensão em níveis distintos entre os respondentes. Com isso, identifica-se que “a organização tem processos assistemáticos desenhados para reduzir a geração de resíduos e manter os materiais em ciclo fechado”.

Para o constructo reduzir, reusar e reciclar, o resultado médio de 3,33 e amplitude de 2,33 permite inferir um nível de maturidade que identifica “iniciativas para assegurar os processos de ciclo reverso junto na cadeia de fornecedores ocorrem de forma eventual”. As organizações trabalham o ciclo reverso de itens demandados por lei e atendem o mínimo requerido. Por fim, a dimensão obteve um resultado geral de maturidade no uso de sustentabilidade de 3,25. As respostas qualitativas obtidas indicam consonância com o MCMS apresentada no apêndice G.

6.5.4 Dimensão Aspectos Socioambientais

Com relação à dimensão Aspectos Socioambientais, os principais elementos identificados durante as entrevistas estão destacados no Quadro 14:

Quadro 14 - Elementos identificados nas entrevistas - aspectos socioambientais

<i>ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS</i>	Eco-equidade	1) Há a necessidade de disseminar a cultura socioambiental 2) Poucos exemplos são apontados
	Cultura e ética	1) Possuem diretrizes de atuação ética 2) Eficácia da atuação ética é discutível 3) Não há diretriz específica de atuação ética em DP 4) Desafio a ser enfrentado pelas organizações
	Regulamentação	1) Busca da melhoria contínua 2) Desconhecem a PNRS 3) A organização divulga aos <i>stakeholders</i> as benfeitorias 4) Vantagens não são percebidas ao atender as normas ambientais
	Capital Natural	1) Não há metas para a redução de consumo de recursos naturais 2) O DP é orientado para a redução de custos e resultado econômico 3) Pouca sensibilidade ao tema

Fonte: O autor (2014).

Para o constructo Eco-equidade, o termo “há a necessidade de disseminar a cultura socioambiental” emergiu com maior frequência (3 dos 7 entrevistados), ainda que não dominante. Outro elemento a ser destacado é “poucos exemplos são apontados” (2 dos 7 entrevistados). As descobertas possibilitam inferir que os processos de negócio não estão focados na redução do fluxo e volume de materiais (MANZINI; VEZOLLI, 2008), bem como acentuam desequilíbrio entre os aspectos econômicos, social e ambiental. (ELKINGTON, 1997; UNEP, 2007). O excerto a seguir revela uma faceta identificada durante as entrevistas:

As ações ambientais estão estruturadas, mas o socioambiental ainda está engatinhando na organização, precisamos disseminar essa cultura (M4)

Com relação ao constructo Cultura e Ética, identificou-se com maior frequência que as montadoras “possuem diretrizes de atuação ética” (7 de 7 os entrevistados). Contudo, o termo “eficácia da atuação ética é discutível” (3 dos 7 entrevistados) traz luz, para algumas montadoras, sobre uma faceta do segmento com relação aos apontamentos de Nascimento, Lemos e Mello (2008). Nesse sentido, a adequação de padrões de atuação ética aparenta estar adequado ao nível de discurso; ações são mínimas. O termo “não há diretriz específica de atuação ética em DP” (2 dos 7 entrevistados) revela parcialmente uma lacuna a ser explorada em trabalhos futuros. Até onde se pesquisou, não foram encontradas discussões sobre ética em DP. Por fim, o termo “desafio a ser enfrentado pelas organizações” (1 de 7 entrevistados) reforça a necessidade de adequação à cultura local e destaca a visão de investimento no longo

prazo. (NASCIMENTO; LEMOS; MELLO, 2008). O comentário do Entrevistado M3 encerra a discussão deste parágrafo:

Quando falamos em DP vem à mente a questão técnica num primeiro momento... logo, é um desafio para a empresa e engenheiros desdobrar a questão ética em requisitos de DP (M3)

Quanto ao constructo Regulamentação, foi identificado com maior frequência que o termo “busca da melhoria contínua” é consenso entre as montadoras (7 de 7 entrevistados). Isso reflete-se tanto à ISO 14001 quanto à ISO 9001. Também foi identificado que os entrevistados “desconhecem a PNRS” (2 de 7 entrevistados), a qual mostra-se um desafio a ser superado pelas organizações, a partir do incentivo do Governo. Segundo Ambec e Lanoie (2008), as organizações que tomarem a iniciativa para compreender a regulamentação e implantarem processos e produtos inovadores no mercado, podem promover *lobby* junto ao governo, no sentido de tornar as leis mais rígidas e impor dificuldades aos concorrentes

O termo “a organização divulga aos *stakeholders*” (2 de 7 entrevistados) está relacionado com a necessidade das empresas tornarem-se verdes. (AMBEC; LANOIE, 2008). Num primeiro momento, percebe-se que as organizações comunicam aos *stakeholders* os planos e resultados obtidos em relação às ações de Responsabilidade Corporativa e Social. Todavia, há oposição ao termo “vantagens não são percebidas pelas organizações” (3 de 7 entrevistados). Na visão dos respondentes, tornar-se verde não é um fator competitivo. Portanto, não é possível realizar associação com as afirmações de Porter e Van der Linde (1995a) e Ambec e Lanoie (2008). O trecho a seguir complementa a discussão do parágrafo:

Sob o ponto de vista das normas ambientais, isso não é visto como vantagem competitiva, embora sejamos pressionados pela pressão pública a melhorar sempre. No entanto, a empresa divulga as coisas boas que faz... (M7)

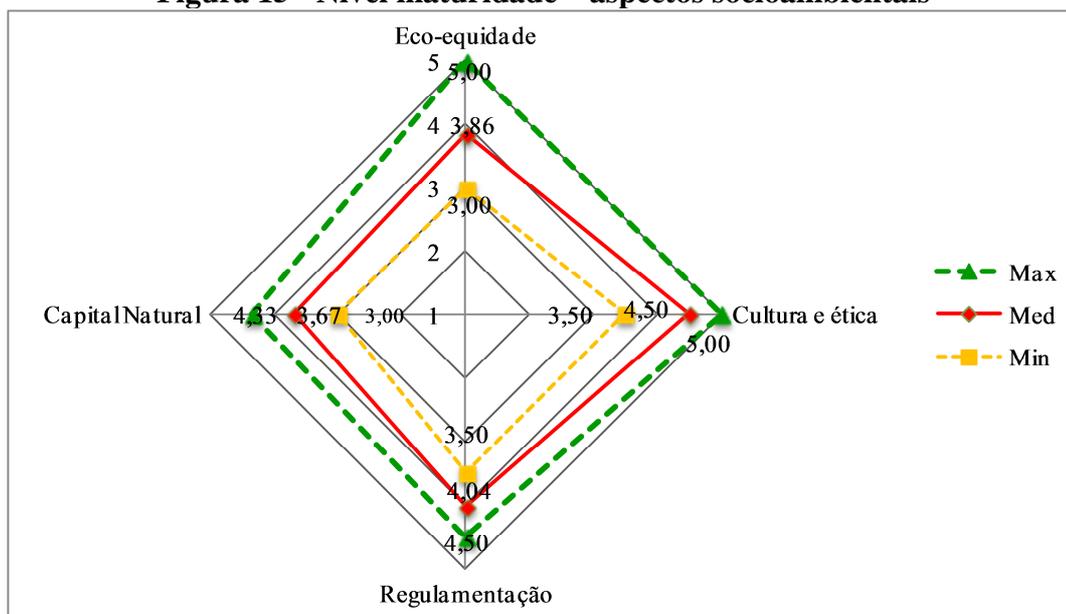
No que tange ao constructo Capital Natural, um dos termos que emergiu com maior frequência foi “não há metas para a redução do consumo de recursos naturais” (4 dos 7 respondentes). Pode-se inferir que um dos elementos de influência do termo anterior é o “DP é orientado para a redução de custos e resultado econômico”. Portanto, as afirmações de Porter e Van der Linde (1995a) e Nidumolu, Prahalad e Rangaswami (2009) não são confirmadas, mas reforçam o modelo mental sobre os sistemas industriais e capital natural, conforme Hawken, Lovins, A. e Lovins, H. (2007). Outro termo, que corrobora com os mesmos autores refere-se com “pouca sensibilidade ao tema” (1 de 7 entrevistados). O setor automotivo é demandado para reduzir consumo de combustível, mas não para substituir a

matriz energética dos veículos ou reduzir o fluxo ou desperdícios de materiais. O trecho a seguir corrobora com esse parágrafo:

A organização sabe da importância, mas é pouco sensível ao tema. A demanda de recursos naturais não é prioridade no curto e médio prazos (M1)

O resumo dos resultados das entrevistas está convertido na Figura 15.

Figura 15 - Nível maturidade – aspectos socioambientais



Fonte: O autor (2014).

O constructo eco-equidade obteve média de maturidade 3,86 e amplitude de 2 entre os limites médios superior e inferior. As organizações não suportam exemplos para justificar o resultado apresentado, pois o elemento socioambiental ainda é visto como incipiente. No entanto, os respondentes acreditam que as montadoras tenham a visão de ecoequidade como parte das ações organizacionais. A frase que representa o nível de maturidade do setor tende para a inferência de que “poucas áreas da empresa estão alinhadas com os princípios da ecoequidade”.

No que tange ao constructo cultura e ética, as montadoras enfatizam que a cultura e ética são abordadas em demasia ao longo das organizações, porém medir tais constructos em DP é um desafio a ser superado e questionam a eficácia dos princípios de atuação ética. A média de maturidade 4,5 e amplitude de 1,5 pontos sustenta esse resultado, embora soe conforme níveis superestimados. A frase que sustenta o nível de maturidade compreende que “algumas áreas da organização estão alinhadas com os princípios éticos”.

Para o constructo regulamentação, foi obtido o resultado de maturidade média de 4,04 e amplitude de 1 ponto entre os limites médios superior e inferior. Em linhas gerais, os entrevistados relataram que as montadoras são certificadas em ISO 14001, buscam melhoria contínua, redução dos desperdícios e custos, mas não percebem vantagens em se tornarem verdes. Alguns gestores relataram o total desconhecimento da PNRS. O nível de maturidade em DP do setor revela que *“as organizações atendem as leis e regulamentações, mas nada além do mínimo requerido”*.

Quanto ao capital natural, a média de maturidade obtida foi de 3,67 e amplitude de 1,33 entre as médias mínimas e máximas. Segundo o relato dos entrevistados, o foco do setor está em reduzir consumo de combustíveis com visão de custos mínimos, portanto, o setor considera a disponibilidade de recursos um tema distante da pauta de discussões nas organizações. Mesmo assim, os processos atendem indiretamente, a redução de consumo de recursos naturais. A maturidade do setor pode ser exemplificada pelas *“iniciativas para criar uma cultura e consciência sobre o consumo de recursos naturais e os riscos associados com a previsão de esgotamento dos mesmos”*. O resultado geral da maturidade do setor foi 4, em linha com o diagnóstico proporcionado pela MCMS, pois os gestores conhecem o mínimo sobre as leis ambientais, e a cultura socioambiental precisa ser disseminada no ambiente estudado.

6.5.5 Resultado

Para a dimensão Resultado, o resumo dos resultados está disposto no Quadro 15:

Quadro 15 - Elementos identificados nas entrevistas - resultado

<i>RESULTADO</i>	Ecoeficiência	1) Desconhecem o conceito 2) Há indicadores de eficiência na manufatura
	Lucratividade	1) O mercado não compra produtos sustentáveis 2) Veículos nacionais precisam de adaptações para atender mercados mais exigentes

Fonte: O autor (2014).

Com relação ao constructo ecoeficiência, o termo “desconhecem o conceito” (3 de 7 entrevistados) atribui uma lacuna que precisa ser superada dentro das organizações. Ou seja, sustentabilidade será atingida quando os profissionais tomadores de decisão estiverem cientes e conhecerem os conceitos, mecanismos e ferramentas a serem adotados em DP. A indicação

do desconhecimento do conceito de ecoeficiência aparenta relação causal com as discussões apresentadas na dimensão Orientação Estratégica – constructo competências técnicas.

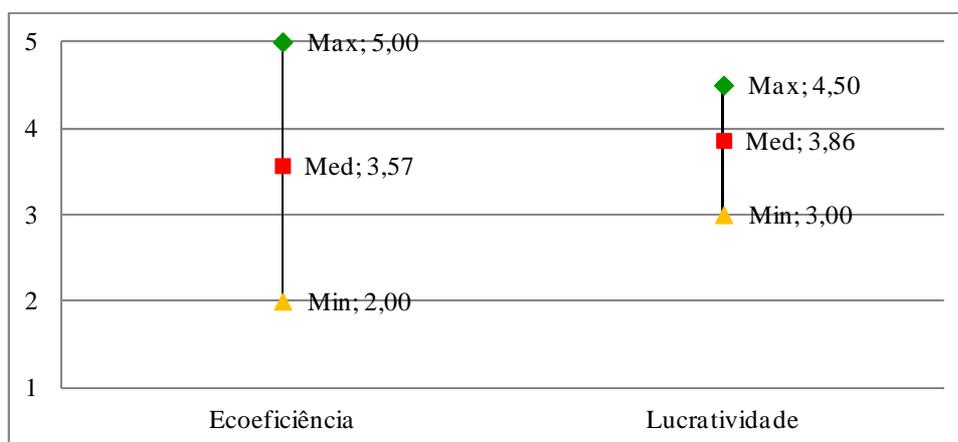
Também foi identificado o termo “há indicadores de eficiência na manufatura” (3 de 7 entrevistados). Esse fato indica que as montadoras preocupam-se em otimizar o uso dos recursos dentro das fronteiras da fábrica (DESPEISSE *et al.*, 2012) e manufatura. (LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006). No entanto, não é possível afirmar se os indicadores de ecoeficiência apontados pelo WBCSD (2000) são utilizados.

No que tange ao constructo Lucratividade, a perspectiva dos entrevistados indica que as montadoras não competem com base na oferta de um portfólio de produtos sustentáveis. O termo “o mercado nacional não compra produtos sustentáveis” declara que as montadoras, em certo senso, concordam que o modelo de produção, oferta de produtos e consumo atual é insustentável. Portanto, esses elementos são remetidos aos termos tratados e discutidos na dimensão orientação estratégica – constructo Perspectiva de Ciclo de Vida, tais como as leis atrasadas, condições mercadológicas desfavoráveis e baixo nível de consciência dos consumidores.

Por fim, o termo “veículos nacionais precisam de adaptações para atender mercados mais exigentes” sugere que há tecnologia disponível para empregar processos e produtos sustentáveis, porém, é preciso haver demanda e incentivos por parte do governo.

A Figura 16 ilustra os resultados para as duas dimensões. As barras estão posicionadas entre os limites mínimos e máximos, com a média ao centro.

Figura 16 - Nível maturidade – resultado



Fonte: O autor (2014).

Para o constructo ecoeficiência foi obtido uma média de maturidade de 3,57 e um amplitude de 3 pontos entre os limites mínimos e máximos. Existem pontos bem distintos

identificados entre os entrevistados: organizações que não aplicam nada e outras que são ecoeficientes. Porém a percepção das entrevistas permite inferir que o nível de conhecimento entre os gestores em relação ao conceito não está consolidado. Por outro lado, os gestores que aparentam reconhecer que há foco em ecoeficiência de manufatura. Com base nas entrevistas, a maturidade sugerida pelo setor automotiva revela que *“poucos processos ecoeficientes estão implantados, o uso de métricas para avaliação do uso de materiais e energia está empregado de modo eventual”*.

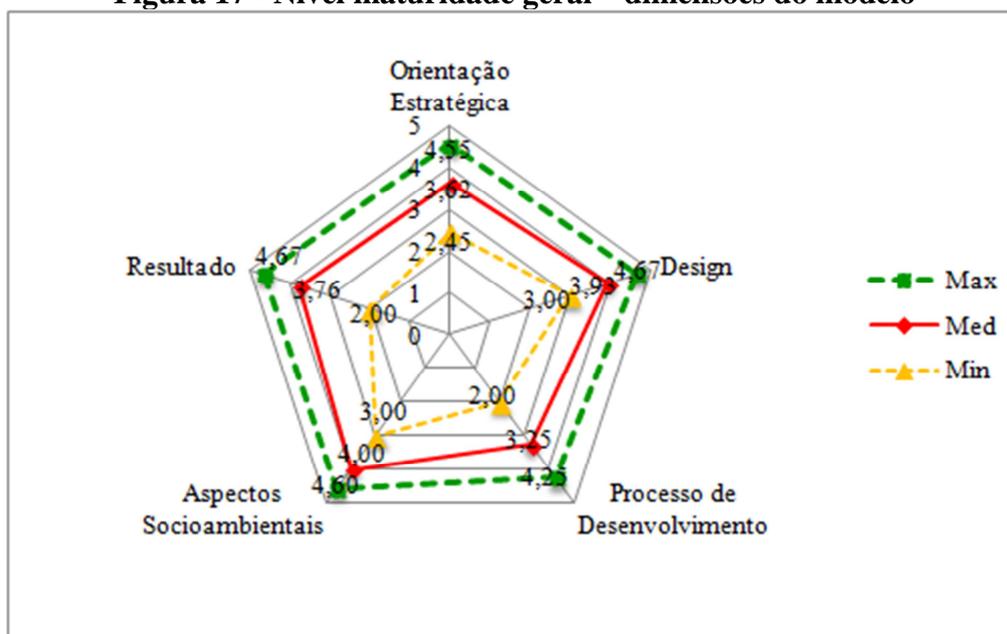
Quanto ao constructo lucratividade, os resultados sustentam uma média de maturidade de 3,86 e amplitude de 1,5 pontos entre os limites mínimos e máximos. O setor não percebe que investir em produtos sustentáveis é algo factível e precisaria adequar os veículos para mercados mais exigentes, dado o comprimento legal dos requisitos de segurança. A percepção do setor demonstra que as organizações não estão convencidas que investir em produtos sustentáveis é um elemento estimulador da competitividade. Logo, a frase que resume o comportamento do setor seria que *“as boas práticas e uso de métricas são seguidas por algumas áreas e os resultados estão parcialmente voltados ao longo prazo”*.

Finalmente, o nível de maturidade geral para o setor, nesta dimensão, foi de 3,76. Os resultados obtidos estão em linha com a MCMS proposta, pois o setor produz veículos menos sustentáveis a partir de poucos processos ecoeficientes, focados principalmente em manufatura e uso.

6.5.6 Análise Agregada da Maturidade

Após breve discussão das dimensões, em caráter individual, apresenta-se o resultado de maturidade geral, composto por todas as dimensões abordadas, conforme a Figura 17:

Figura 17 - Nível maturidade geral – dimensões do modelo



Fonte: O autor (2014).

A dimensão orientação estratégica, no âmbito de sustentabilidade do setor automotivo, apresenta ações centradas em redução de custos e que sustentabilidade é parte de uma realidade assentada num pano de fundo secundário.

Em linhas gerais, um dos principais indutores da promoção de iniciativas focadas em sustentabilidade está relacionado com leis maduras e claras. Hoje, segundo os gestores de DP, as leis e políticas não são claras, as condições mercadológicas, tipo consciência dos consumidores e modelos mentais são incompatíveis com sustentabilidade. Como consequência, as empresas investem nos impactos de ciclo de vida que requerem o menor esforço e apresentam impactos de curto prazo; não estão predispostas a desenvolver novos modelos de negócio; utilizam alguma tecnologia para aprimorar os produtos e processos sustentáveis; mas restrito pelo custo e não alocam as competências com conhecimento de sustentabilidade nas diversas áreas, dentre elas o DP. Por fim, a frase que qualifica a dimensão para este elo da cadeia automotiva brasileira, advinda da Matriz Teórica de Maturidade em Sustentabilidade (MCMS), é: “A organização conhece e orienta assistematicamente o desenvolvimento de soluções sustentáveis, com base nos impactos gerados ao longo do ciclo de vida. As ações empregadas pela organização são eventuais. Novos modelos de negócio são pensados pontualmente, as tecnologias empregadas estão limitadas pelo fator custo e as competências alocadas são determinadas pela questão técnica”.

Para a dimensão *design*, é possível identificar o foco em manufatura e uso do produto. As empresas empregam materiais corretos e livres de elementos químicos banidos, as leis são atendidas, a questão da eficiência energética não é conhecida pelos gestores e a engenharia simultânea é compreendida como fundamental para entrega novos produtos, embora não estejam convencidas que a abordagem é utilizada para produzir produtos sustentáveis. Considerando que o mercado brasileiro não paga mais por produtos sustentáveis, a organização percebe riscos em investir materiais e tecnologias para a produção de bens sustentáveis, e por isso, para competir, fica sujeita às restrições e resultados limitados pelo custo. A sentença que qualifica a dimensão *design* para este elo da cadeia automotiva brasileira, oriunda da MCMS, é: *“Os materiais e energia demandados pelos processos e produtos são projetados para atender os princípios de sustentabilidade, mas com foco em etapas restritas do ciclo de vida do produto. As boas práticas não estão plenamente implantadas e a engenharia simultânea é utilizada em algumas áreas”*.

A dimensão processo de desenvolvimento evidencia que pensar em agregar valor nos resíduos ou desperdícios gerados não é factível. No entanto, as fases de manufatura e uso do produto são destacadas em relação aos procedimentos existentes. O pós-uso, por sua vez, é negligenciado em decorrência da indefinição das responsabilidades, lacunas existentes nas políticas, cargas tributárias e padrão de consumo no país, segundo a percepção dos respondentes. Ao fim, a frase da MCMS que qualifica esta dimensão para o elo estudado da cadeia automotiva brasileira é: *“A organização busca agregar valor aos resíduos de modo pontual. Possui processos assistemáticos desenhados para reduzir a geração de resíduos e manter os materiais em ciclo fechado. As iniciativas para assegurar os processos de ciclo reverso junto na cadeia de fornecedores ocorrem de forma eventual”*.

No que tange à dimensão aspectos socioambientais, percebe-se que o ponto de vista dos gestores sugere que eco-equidade precisa ser inserida no contexto das organizações e torná-la parte da cultura. As organizações possuem diretrizes claras de atuação ética, porém, não está especificamente desdobrada nos processos de DP e sim, ao negócio, em geral. Algumas leis não são conhecidas, como a PNRS, embora as organizações do setor divulguem as práticas de gestão socioambiental em relatórios e informativos. Frisa-se que as empresas do setor estão pouco sensíveis à disponibilidade de recursos naturais, o que pode ocorrer em função da abundância de recursos na natureza brasileira, leis pouco punitivas e busca pela competitividade a partir da redução de custos em manufatura. Percebe-se uma grande tendência em transmitir visão de empresa responsável ao mercado, mesmo que o discurso não condiga com a prática. A frase que qualifica esta dimensão para o elo estudado da cadeia

automotiva brasileira, à luz da MCMS é: “*Os aspectos socioambientais são compreendidos, respeitados e as boas práticas não estão completamente implantadas. Poucas áreas da organização estão alinhadas com os princípios éticos e de eco-equidade. As leis e regulamentações são atendidas, mas a organização não vai além do que é requerido*”.

Para a dimensão resultado, foi possível identificar que as organizações buscam essencialmente lucro. As medições feitas estão focadas em manufatura e as montadoras capitalizam resultados pelo venda de produtos, não necessariamente produtos sustentáveis. É possível identificar a necessidade de adaptação dos produtos nacionais para atender mercados mais exigentes, principalmente sob o aspecto de segurança, outro elemento impactado pelo custo. A frase que qualifica a dimensão Resultado para o elo estudado da cadeia automotiva brasileira é: “*Investe-se sistematicamente em processos limpos no sentido de aumentar a competitividade e os resultados econômicos, a partir da consciência sustentável. Os resultados são parcialmente voltados ao longo prazo*”.

Ao fim, apresenta-se um resumo dos indicadores para maturidade em DP sustentável, para os resultados obtidos para cada uma das montadoras (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados quantitativos

Dimensões	Montadoras						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
<i>Orientação Estratégica</i>	3,73	3,45	3,18	3,82	3,55	4,08	3,55
<i>Design</i>	3,78	3,89	3,00	4,33	4,11	4,22	4,00
<i>Processo de Desenvolvimento</i>	3,13	3,13	2,88	3,50	3,13	3,75	3,25
<i>Aspectos Socioambientais</i>	3,50	4,10	3,80	4,20	4,30	4,30	3,80
<i>Resultado</i>	3,00	3,33	4,00	4,00	4,00	4,33	3,67

Fonte: O autor (2014).

Mesmo com a ausência de 3 montadoras, entende-se, pela representatividade dos respondentes, que os resultados apresentam a situação corrente do setor. Quanto à orientação estratégica, percebe-se um agrupamento das montadoras entre níveis de maturidade 3 e 4, o que indica que sustenta a visão do conhecimento de sustentabilidade, mas limitados pelo custo. M6 demonstra ser o mais maduro; M3 menos maduro.

Quanto ao *design*, as empresas estão concentradas em regiões de amadurecimento. Materiais adequados são escolhidos, e a questão energética é tratada com rigor nas fases de manufatura e uso. Novamente, M6 é a empresa de maior maturidade; M3 é a menor.

Com relação ao processo de desenvolvimento, há dispersão nos resultados. Em linhas gerais, as empresas focam sustentabilidade no processo de desenvolvimento para as fases de

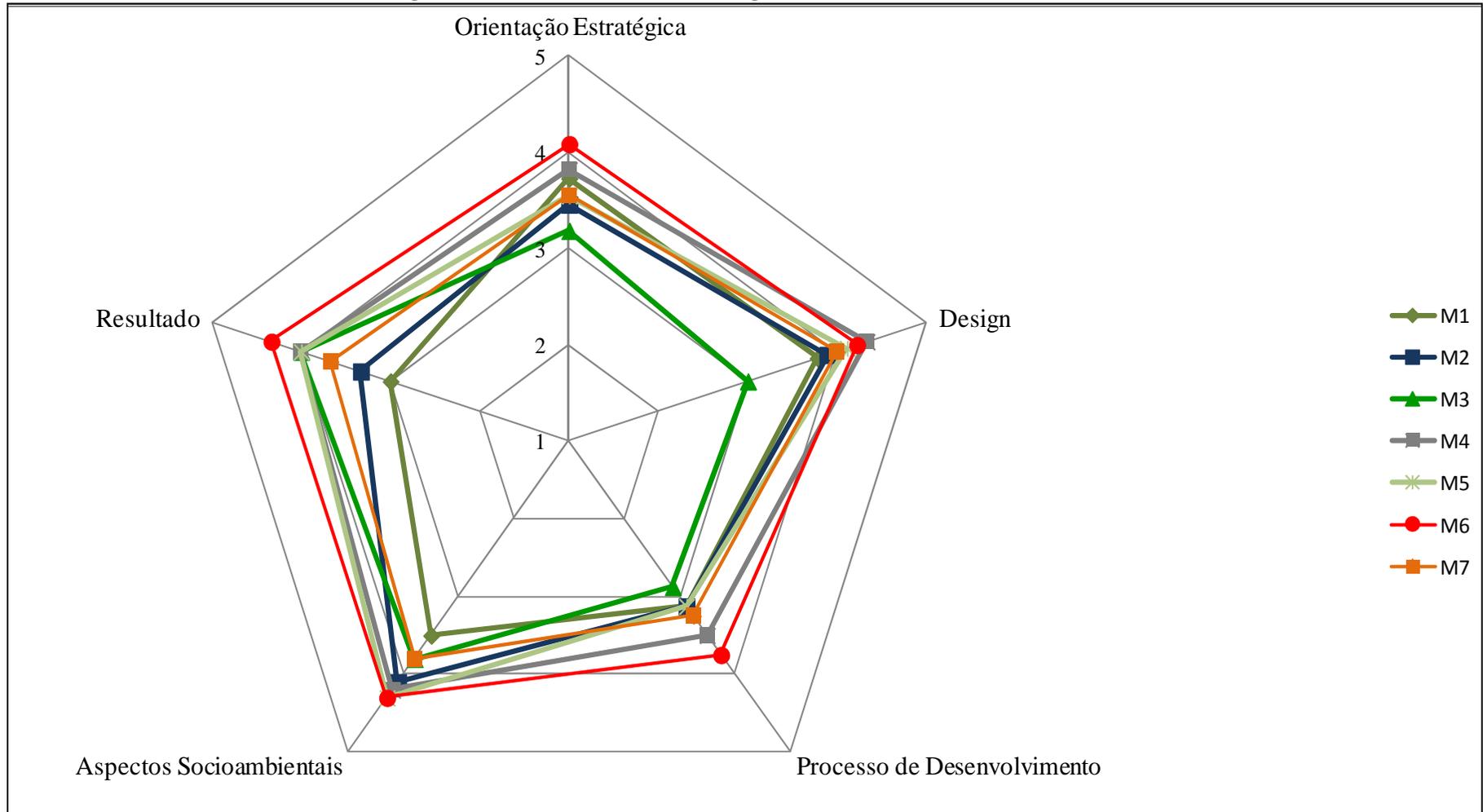
manufatura e uso. Não existem iniciativas para trabalhar a cadeia de fornecimento e torná-la fechada. M3 demonstra estar mais consciente para esta necessidade; M3, menos.

Quanto aos aspectos socioambientais, o agrupamento dos resultados é explicado pela percepção de investimento em processos limpos, certificação ISO 14001 e ações pontuais são suficientes para assegurar disponibilidade de recursos naturais para as futuras gerações e mitigar os impactos sociais. M6 demonstrou maior maturidade; M1, menor.

Para a dimensão resultado, percebe-se dispersão nas respostas. A maturidade do setor está associada com a percepção da competitividade a partir do investimento em processos limpos, embora haja pouca coesão e entendimento sobre ecoeficiência e os impactos econômicos nas organizações. Novamente M6 mostra-se mais madura; M1 é a menos madura. Ressalta-se que, M3, para esta dimensão, apresenta orientação para a sustentabilidade econômica.

Por fim, a Figura 18 ilustra os níveis identificados de maturidade em DP sustentável para o elo das montadoras de veículos de passeio com pesquisa e desenvolvimento (PD) do Brasil.

Figura 18 - Nível de maturidade geral das montadoras



Fonte: O autor (2014).

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma aplicação de um instrumento de medição de maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos das montadoras de veículo de passeio do setor automotivo do Brasil. Ao todo, 7 organizações de um universo de 10 empresas com desenvolvimento e manufatura foram representadas e subsidiaram a coleta de informações e análise dos dados. As 3 remanescentes declinaram participação. As participantes equivalem a aproximadamente 79,2% do volume de vendas do setor, cerca de 2,74 milhões de veículos fabricados no país em 2013 (FENABRAVE, 2013).

A dimensão Orientação Estratégica é fundamental para inserção de sustentabilidade nos processos de negócios das organizações. (BYGGETH, BROMAN, ROBERT, 2006; PETALA *et al.*, 2010; GMEULIN; SEURING, 2014). No entanto, o contato com as montadoras revela que essas somente consideram o tema no desenvolvimento de produto se as condições mercadológicas assim o favorecerem e a percepção ao risco for baixa, ou seja, se houver a disposição do mercado em comprar produtos sustentáveis, incentivos do governo e os investimentos em tecnologias forem lucrativos. Infere-se que o setor está numa fase de transição para sustentabilidade, em estágios intermediários.

A dimensão *Design* apresentou-se como elemento tangente à sustentabilidade para as montadoras contatadas. Pode ser percebido que bons materiais são escolhidos, a questão da eficiência energética é parcialmente empregada bem como a engenharia simultânea é empregada para a produção de veículos. O fator custo é um elemento crucial e restrito ao uso de materiais com melhor nível tecnológico e consecutivamente nível de segurança. Há influência das matrizes localizadas no exterior, as quais impõem normas e processos a serem adotados e adequados conforme necessidades locais. Consequentemente, o *design* está voltado às etapas de manufatura e uso. Com base nas evidências encontradas, afirma-se que as escolhas da fase de *design* estão diretamente vinculadas aos processos organizacionais, que por sua vez, são delineados conforme condições do mercado.

A dimensão Processo de Desenvolvimento permitiu identificar que investir em valorar o que é hoje um desperdício ainda é um paradigma a ser superado. O fator mercadológico desestimula o investimento em processos de ciclo fechado, mas também as legislações e tributações impostas pelo Governo. Como consequência, resíduos e desperdícios são gerados como decorrência de ineficiências conjunturais do sistema brasileiro, os quais são refletivos na condução dos negócios das empresas do setor automotivo. Portanto, o fato das

regulamentações não explicitarem claramente como operacionalizar os processos de ciclo fechado, desmotivam as organizações a dedicarem esforços para sanarem estes questionamentos.

A dimensão Aspectos Socioambientais demonstra ser complexa e pouco compreendida. Disseminar a cultura e ética organizacional é conduzida ao longo dos processos de negócio, no entanto, não há diretrizes e evidências específicas para o DP. Como consequência, a redução do consumo de recursos naturais a partir do DP é percebido como prioridade baixa, embora existam processos limpos e de controle da geração da poluição no ambiente de manufatura e afins ao desenvolvimento de carros menos poluentes. Esse contexto atribui a percepção de que ações ambientais mitigadoras de poluição são o suficiente para assegurar disponibilidade futura de recursos naturais. Outro elemento reforçador está associado com o entendimento da PNRS, a qual não é clara para a maioria dos gestores de DP.

A dimensão Resultado demonstra estar sustentada com base na venda de veículos. A oferta de produtos sustentáveis não se enquadra no contexto mercadológico do Brasil, pois as condições existentes desmotivam os investimentos das organizações. Foi possível perceber que o conceito de ecoeficiência não é conhecido pela maioria dos gestores, e certamente, as questões legais e tributárias desfavorecem este aprendizado.

Em linhas gerais, o setor apresenta foco em sustentabilidade nas fases de manufatura e uso do produto. O pós-uso é uma lacuna que precisa ser explorada à luz do DP, mas que precisa ser estimulada por políticas governamentais e incentivos ao consumo sustentável. Percebe-se que, as organizações, como atores sociais, precisam amadurecer no desenvolvimento de produto, porém, quando fomentadas por indutores externos.

Como limitações da presente aplicação, observa-se que, mesmo tendo sido contatados aproximadamente 98,7 % do volume de vendas do mercado brasileiro (ANFAVEA, 2013), 3 montadoras declinaram participação, o que pode restringir a percepção do setor em sua totalidade. Além disso, somente um contato por montadora foi possível, o que impede separar as percepções do indivíduo respondente e da organização. Pelo posicionamento previamente esclarecido ao realizarem-se as entrevistas e pela representatividade dos cargos dos respondentes, buscou-se isolar esse fator de ruído. No entanto, cumpre destacar que o mesmo pode estar presente, inconscientemente, nos dados coletados.

Por fim, os resultados indicam que o setor não encontra em estágios avançados de sustentabilidade, tampouco o conceito está disseminado pelas organizações nos diversos níveis hierárquicos, conforme apontado pela ANFAVEA. (ANFAVEA, 2012).

Trabalhos futuros sugerem o emprego do instrumento em setores diversos da indústria brasileira, no sentido de permitir avaliação do nível de maturidade com o setor automotivo. Isso possibilitaria, inclusive, que o governo pudesse refletir acerca de medidas contingenciais para estimular o setor com a reeducação dos profissionais e adequação de processos e produtos sustentáveis. Sugere-se empregar o instrumento no setor de autopeças, no intuito de identificar o nível de maturidade em DP das empresas conforme as categorias de peças e componentes fornecidos (ex.: motores, componentes eletroeletrônicos, peças fundidas, freios e embreagens, transmissões e outros). Também sugere-se refinamentos ao instrumento, por ter sido validado por um especialista. Embora tenha sido desenvolvido com o intuito de flexibilizar a aplicação em empresas de naturezas diversas, não se tem certeza da sua adaptabilidade.

7 CONCLUSÃO

Antes de exigir que organizações tornem-se sustentáveis é preciso considerar o nível de sinergia entre os atores do sistema (governo, clientes e sociedade, mídia, fornecedores, montadoras, recicladores de materiais, empresas de remanufatura e outros). Compreender qual é o real objetivo de se tornar sustentável dentro de um contexto econômico político e cultural é um desafio imposto a todos, principalmente às organizações de bens e serviços. Agregar valor ao negócio a partir de uma visão sustentável descortina oportunidades ainda não percebidas ou não implantadas. Regulamentações complexas, pouca vontade política, pressão e diretrizes estratégicas desfocadas da sustentabilidade desmotivam as organizações a investirem em mudanças radicais nos processos de negócios.

Nesse sentido, esta pesquisa objetivou identificar o nível de maturidade em relação ao uso dos conceitos de sustentabilidade no desenvolvimento de produto. Para tanto, o trabalho partiu da construção teórica, desenvolvido e complementado por uma aplicação no elo das empresas montadoras do setor automotivo brasileiro. A adoção de medidas sustentáveis em DP ainda é um desafio para as organizações, principalmente para países em desenvolvimento, como o Brasil, por exemplo.

A primeira contribuição desta pesquisa foi a de propor uma perspectiva histórica e discutir um modelo conceitual comparando abordagens ecoeficientes e ecoefetivas, que ajudou na compreensão e identificação do sentido complementar entre as duas visões, tanto sob o ponto de vista curto e longo prazos, ou processos internos e externos.

A segunda contribuição a ser destacada está relacionada com o instrumento de avaliação proposto e sua escala de maturidade. O instrumento foi pré-testado e permite aplicação em diversos setores da indústria. Os contornos propostos para os rótulos das questões asseguram distinção entre os patamares no uso de maturidade de forma lúdica e rápida e sem dar margens para hesitação. Uma terceira contribuição relaciona-se a MCMS, que determina a qualificação, à luz da teoria, dos níveis de maturidade para as dimensões propostas.

A terceira contribuição refere-se à aplicação do instrumento do setor automotivo, que permitiu revelar facetas que contrariam afirmações veiculadas pela ANFAVEA. O setor, em linhas gerais, apresenta iniciativas implantadas voltadas à sustentabilidade, no entanto, restritas em função do custo e tangentes, no máximo, a processos ecoeficientes. Portanto, não é possível concordar com as afirmações da ANFAVEA. (MOBILIDADE E

SUSTENTABILIDADE, 2012). Ainda é cedo para esse argumento ser aceito como verdadeiro e por isso, é preciso avançar em conscientização e educação sobre o tema.

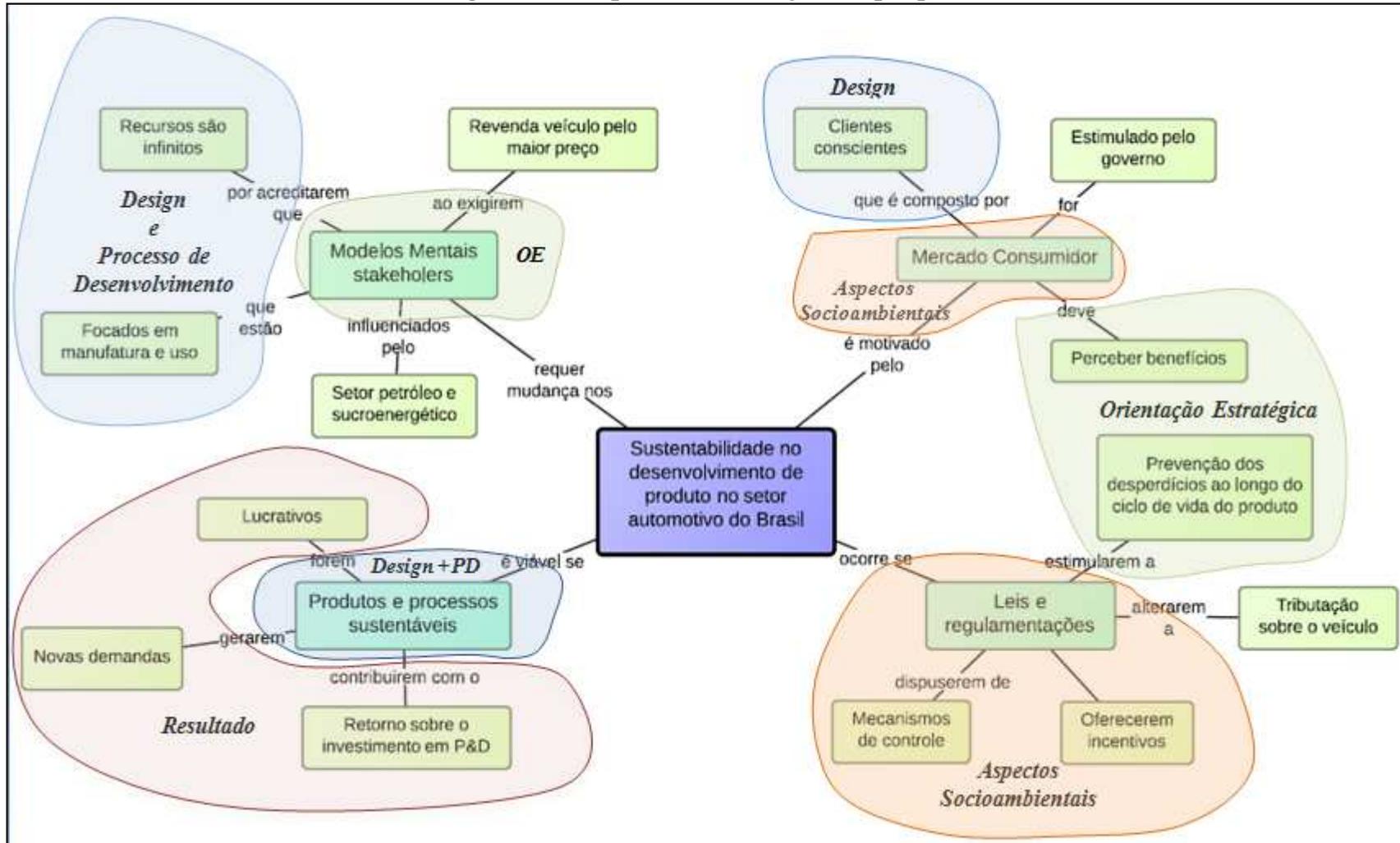
Os resultados obtidos permitem inferir, a partir da ótica dos gestores de DP das montadoras, que as empresas estão estruturadas para produzir veículos a partir da lógica da sustentabilidade econômica de curto prazo. As questões ambientais estão num patamar menos evoluído, mas em um estágio mais avançado que os temas referentes às questões sociais, ainda um desafio a ser superado a partir da ótica do DP.

Como contribuição advinda das coletas de campo, os principais *insights* das entrevistas possibilitaram construir o mapa mental ilustrado pela Figura 19. As dimensões do modelo estão agrupadas por afinidade com os elementos periféricos (*insights*), por meio da posição das regiões sombreadas, visando a relacionar os resultados identificados durante as entrevistas com as dimensões do modelo de avaliação de maturidade aplicado e os elementos contextuais percebidos. Os elementos não destacados são variáveis gerais tangentes ao macroambiente.

Os resultados obtidos permitem refletir sobre os comentários de Bevilacqua, Ciarapica e Giacchetta (2007), ao afirmarem que os clientes são os principais indutores ao desenvolvimento de produtos sustentáveis. Nesse sentido, corrobora-se com a perspectiva apontada.

A lacuna proposta por Gmeulin e Seuring (2014), ao questionarem se clientes, legislações e ONG's oferecem maior nível de influência sobre as empresas é respondida por esse trabalho. Com base na pesquisa realizada acerca das montadoras de veículos com produção no Brasil afirma-se que tanto clientes, quanto leis e o contexto mercadológico influenciam as organizações. Porém, não é possível determinar qual é o indutor principal. Tanto os modelos mentais, quanto o mercado, a consciência do consumidor e as leis são essenciais para motivarem o desenvolvimento de produtos sustentáveis.

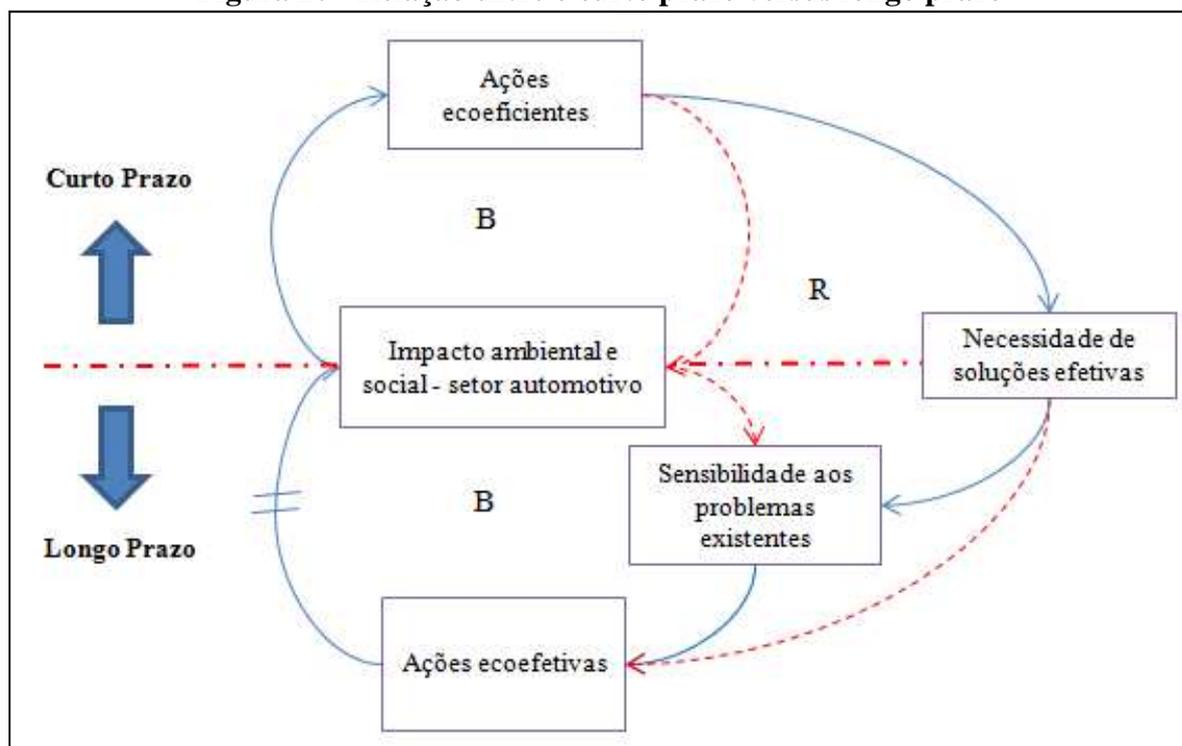
Figura 19 - Mapa mental – *insights* da pesquisa



Fonte: O autor (2014).

A combinação de modelos mentais, regulamentação, pressão para adoção de processos sustentáveis e redução dos níveis de poluição, consciência do consumidor determinam o típico comportamento do setor automotivo, são representados pelo diagrama de enlaces (STERMAN, 2000) na Figura 20. Esse diagrama pode ser lido da seguinte maneira: o enlace superior refere-se às soluções adotadas no curto prazo, que além de serem mais fáceis de serem empregadas, podem reforçar as causas do problema ou dificultar a implementação de ações de longo prazo. O enlace inferior, por sua vez, está associado com a causa real do problema, porém é afetado pela ação reforçadora do efeito colateral, gerado pela ação de curto prazo. Segundo Senge (2006), esse enlace pode ser traduzido pela expressão “transferindo o fardo”, indicando que ações de curto prazo tomadas para obtenção de resultados imediatos podem remover o foco e os recursos necessários de ações tomadas em longo prazo, estruturadoras, mas tipicamente sem resultados imediatos. Como apresentado anteriormente nos artigos 1 e 2 essa relação não deve ser tomada como dialética ou mútua exclusão, dado que ações ecoeficientes e ações ecoefetivas produzem benefícios complementares às organizações e à natureza. No entanto, compreender a natureza desse relacionamento pode auxiliar a melhor estabelecer planos em nível estratégico-tático que não priorizem um tipo de abordagem em detrimento do outro.

Figura 20 - Relação entre o curto prazo versus longo prazo



Fonte: O autor (2014).

Do ponto de vista objetivo do setor de aplicação dos instrumentos conceituais desenvolvidos, observa-se que a constante pressão sobre o setor automotivo requer ações que assegurem os níveis de competitividade. Do mesmo modo, o setor é cobrado para adotar medidas que garantam a minimização dos impactos ambientais e sociais. Tendo em vista que a prioridade é a obtenção de sustentabilidade econômica (curto prazo), dá-se foco em ações em DP que apresentam resultados imediatos e pode-se inferir, menor complexidade. Por isso, quanto mais ações remediadoras, menor é o impacto ambiental imediato. Caso não haja modificações nos elementos contextuais, pode-se ter a sensação de que as ações surtem efeito, principalmente se o nível de exigência legal for flexível. Isso contribui com a percepção crescente da necessidade de investimentos em ações estruturadoras e políticas industriais (ou seja, transferindo o fardo). Essas ações estruturadoras, ou ecoefetivas, com o transcorrer do tempo, ocasionariam um impacto positivo no meio ambiente em função da redução sustentada da pressão nos ecossistemas naturais. Em virtude do exposto, admite-se que as ações de sustentabilidade em DP adotadas no setor automotivo permeiam a esfera ecoeficiente.

Por fim, considera-se importante refletir sobre o processo de pesquisa em si. O aprendizado ao longo do trabalho foi constante, crescente e amplo, permitiu ao mestrando perceber diferentes perspectivas da pesquisa, métodos e técnicas. As maiores dificuldades, resguardada a complexidade da construção de uma dissertação em formato de artigos, consistiram em identificar especialistas para validar os modelos e contatar os gestores de DP das montadoras do Brasil. A tarefa em si não deveria ser difícil, mas revelou-se desafiadora, especialmente com relação à obtenção dos acessos para coleta de informação.

7.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Um elemento relevante no que tange à validação do modelo conceitual refere-se à validação da segunda versão com somente um especialista. Todos os 6 especialistas que participaram da entrevista inicial foram convidados para uma nova rodada de conversas, porém, o E4 foi o único que se dispôs a contribuir novamente. As demais alterações foram sustentadas no padrão de elementos emergentes identificados durante as análises de conteúdo.

O instrumento é uma proposta inicial. A pesquisa foi desenvolvida com base em um estrito método de pesquisa e trabalho, mas os instrumentos gerados requerem outras perspectivas, com o objetivo de torná-los mais robustos.

O desenvolvimento do instrumento de avaliação do nível de maturidade no desenvolvimento de produto foi inicialmente concebido com o propósito da condução de uma pesquisa quantitativa. *A priori*, planejou-se o emprego do instrumento tanto na cadeia produtiva das montadoras quanto na cadeia produtiva de autopeças, o que caracteriza uma população com mais de 500 empresas. No entanto, as barreiras impostas para realizar os contatos, envio de convite e recebimento das respostas foram exíguos e insuficientes para a obtenção de uma amostra $n=107$.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se o emprego do instrumento no setor de autopeças, no sentido de avaliar a maturidade da cadeia, ou seja, comparar montadoras versus autopeças, além de permitir uma análise interna entre os fabricantes dos tipos de peças e componentes.

Vislumbra-se a aplicação do instrumento em os amiúdes setores de bens manufaturados e de produção da indústria brasileira, no sentido de sustentar os níveis de maturidade no uso de sustentabilidade no DP e auxiliar o governo com o desenho de novas medidas políticas e de estímulo à adoção de sustentabilidade nas organizações.

Atribui-se à continuidade de trabalhos futuros a projeção de cenários do setor automotivo a partir dos *insights* gerados na pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABUKHADER, S. M. Eco-efficiency in the era of electronic commerce – should “Eco-Effectiveness” approach be adopted? **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 7, p. 801–808, 2008.
- ALMEIDA; C.C.R.; CARIO, S. A.F.; MERCÊS, R.; GUERRA, O.F. Indústria automobilística brasileira: conjuntura recente e estratégias de desenvolvimento. **Indic. Econ. FEE**, Porto Alegre, v. 34, n. 1, p. 135-152, 2006.
- ALSTON, K. Cradle to cradle *design* initiatives: lessons and opportunities for Prevention through *Design* (PtD). **Journal of Safety Research**, [S.l.], v. 39, n. 2, p. 135-6, 2008.
- AMATUCCI, M.; BERNARDES, R. C. Formação das competências para o desenvolvimento de produtos em subsidiárias brasileiras de montadoras de veículos. **Produção**, v. 2, n. 9, p. 359 – 375, 2009.
- AMBEC, S.; LANOIE, P. Does it pay to be green? a systematic overview. **Academy of Management Perspectives**, [S.l.], v. 22, p. 45-62, 2008.
- ANASTAS, P. T; ZIMMERMAN, J. B. Design through the 12 principles of green Engineering. **Environmental Science & Technology**, v. 37, p. 94A – 101A, 2003.
- ANDERSEN, M. S. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustainability Science**, v. 2, n. 1, p. 133 – 140, 2007.
- ANDERSON, M. W.; TEISL, M.; NOBLET, C. Giving voice to the future in sustainability: Retrospective assessment to learn prospective stakeholder engagement. **Ecological Economics**, v. 84, p. 1-6, 2012.
- APROVADA reciclagem obrigatória de veículos **Jornal do Senado**. Brasília, DF, 04 jul. 2013. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/jornal/edicoes/2013/07/04/aprovada-reciclagem-obrigatoria-de-veiculos>>. Acesso em: 10 jan. 2014.
- ASHBY M. **Materials and the environment**. 1st ed. [S.l.], Elsevier; 2009.
- ASSADOURIAN, Erik. The path to degrowth in overdeveloped countries. In: WORLDWATCH INSTITUTE. **State of the world 2012: moving toward sustainable prosperity**. Washington, 2012. p. 22-37.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ABEPRO. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&ss=1&c=362>>. Acesso em: 27 abr. 2013.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da indústria automobilística brasileira 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Tabelas Estatísticas**. São Paulo, 2013. Disponível em:<<http://www.anfavea.com.br/tabelas2013.html>>. Acesso em: 19 abr. 2014.

AYRES, R.U.; KNEESE, A.V. Production, Consumption and Externalities. **The American Economic Review**, v. 59, n. 3, p. 282 – 297, 1969.

AYRES, R.U. **Resources, scarcity, growth and the environment**. 2001. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/enveco/waste/pdf/ayres.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2013.

AYRES, R.U.; AYRES, L.W. **A handbook of industrial ecology**. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2002.

BAILEY, R.; BRAS, B.; ALLEN, J. K. Measuring material cycling in industrial systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52 n. 4, p. 643–652, 2008.

BARDIN, L., **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Ed. 70, 1977.

BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. **Journal of Cleaner Production** .v. 10, n. 5, p. 409-425, 2002.

BEEKMAN, V. Sustainable development and future generations. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 17, n. 1, p. 3–22, 2004.

BENYUS, Janine. **Biomimética, inovação inspirada pela natureza**. São Paulo. Cultrix, 2006.

BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E., GIACCHETTA, G. Development of a sustainable product lifecycle in manufacturing firms: a case study. **Int. J. Prod. Res**, v. 45, n.18-19, p. 4073-4098, 2007.

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.

BJØRN, A.; HAUSCHILD, M. Z. Absolute versus relative environmental sustainability. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 2, p. 321–332, 2013.

BLEISCHWITZ, R. International economics of resource productivity:relevance, measurement, empirical trends, innovation, resource policies. **International Economics and Economic Policy**, v. 7, n. 2, p. 227-244, 2010.

BLIZZARD, J. L.; KLOTZ, L. E. A framework for sustainable whole systems *design*. **Design Studies**, v. 33, n. 5, p. 456-479, 2012.

BOCKEN, M. P.; SHORT, S. W.; RANA, P.; EVANS, S. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes, **Journal of Cleaner Production**, v. 65, n. 15, p. 42-56, 2014.

BORCHARDT, M.; WENDT, M. H.; PEREIRA, G. M.; SELLITTO, M. A. Redesign of a component based on ecodesign practices: environmental impact and cost reduction achievements. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 1, p. 49-57, 2011.

BOUZON, M.; CARDOZO, C. L.; RODRIGUEZ, C. M. T.; GONTIJO, L. A.; QUEIROZ, A. A. Final de vida dos produtos, remanufatura e mercado de reuso: tendências, barreiras e

desafios em um estudo de caso. In: INTERNATIONAL WORKSHOP – ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3., São Paulo, Brazil, 2011. **Anais...** São Paulo, 2011.

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, p. 61-71, 2012.

BRASIL. **Decreto n. 7.819, de 3 de outubro de 2012.** Regulamenta os arts. 40 a 44 da Lei nº 12.715, de 17 de setembro de 2012, que dispõe sobre o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores - INOVAR-AUTO, e os arts. 5º e 6º da Lei nº 12.546, de 14 de dezembro de 2011, que dispõe sobre redução do Imposto sobre Produtos Industrializados, na hipótese que especifica. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/Decreto/D7819.htm>. acesso em: 22 maio 2014.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 05 jan. 2013.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Remaking the way we make things: cradle to cradle.** New York: North Point Press, 2002

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; ANASTAS, P. T.; ZIMMERMAN, J. B. Applying the principles engineering of green cradle-to-cradle design. **Environmental Science and Technology**, p. 434 - 441, 2003.

BRAUNGART, M., MCDONOUGH, W., 2013. **the upcycle: beyond sustainability – designing for abundance.** North Point Press: New York, 2013.

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.

BRENT, A. C.; LABUSCHAGNE, C. An appraisal of social aspects in project and technology life cycle management in the process industry. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 18, n. 4, p. 413–426, 2007.

BROWN, H. Human materials production as a process in the biosphere. **Scientific American**, v. 223, n. 1-3, p. 194–208, 1970.

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

BYGGETH, S; BROMAN, G.; ROBÈRT, K.H. A method for sustainable product development based on a modular system of guiding questions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 1, p. 1-11, 2006.

CAMPBELL, T.; FISCHER, J. G.; STUART, N. V. Integration sustainability with corporate strategy: a maturity model for the finance function. **The Journal of Corporate Accounting and Finance**, v. 23, n.5, p. 61-68, 2012.

CAPABILITY MATURITY MODEL INTEGRATION - CMMI. Version 1.1. Pittsburgh: Carnegie Mellon Institute, mar. 2002. Disponível em: <<http://www.sei.cmu.edu/reports/02tr029.pdf>>. Acessado em: 11 nov. 2013.

CARVALHO, A.; JÚNIOR, F. H. A sustentabilidade na indústria automobilística: vantagem competitiva ou um sonho distante? **Rev. Adm. UFSM**, v. 5, p. 785-798, 2012.

CHEN, A. J. W.; BOUDREAU, M. C.; WATSON, R. T. Information systems and ecological sustainability. **Journal of Systems and Information Technology**, v. 10, n. 3, p. 186-201, 2008.

CHICK, A.; M. CHARTER. **Towards sustainable product design**. Centre for Sustainable Design Conference: Towards sustainable design, Surrey Institute of Art and Design, July, 1995.

COMMONER, B. **The closing circle: nature, man and technology**. New York: Bantam, 1971.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Indústria automobilística e sustentabilidade**. Brasília: CNI, 2012.

CONFERENCIA NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). 2013. Disponível em: <<http://admin.cni.org.br/portal/data/pages/FF80808137E2BEF70138013980B84DD1.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

CRUL, M.; DIEHL, J. **Design for sustainability: a practical approach for developing economies**, 2006. UNEP&TU Delft: Paris, França. Disponível em: <<http://www.d4s-de.org/manual/d4stotalmanual.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

ČUČEK, L.; KLEMEŠ, J. J.; KRAVANJA, Z. A Review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 34, p. 9-20, 2012.

DANGELICO, R. M. Mainstreaming green product innovation : why and how companies integrate environmental sustainability. **Journal of Business Ethics**, v. 95, p. 471–486, 2010.

DE JACQUES, JOCELISE JACQUES. **Estudo de iniciativa em desenvolvimento sustentável de produtos em empresas calçadistas a partir do conceito berço ao berço, Brasil**. 2011. 305 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2011, RS.

DEMO, Pedro. **Introdução à metodologia da ciência**. São Paulo: Atlas 1985.

DESPEISSE, M.; BALL, P.D.; EVANS, S.; LEVERS, A. Industrial ecology at factory level: a conceptual model. **Journal of Cleaner Production**, v. 31, p. 30-39, 2012.

DEWBERRY, E. **Ecodesign**. PhD thesis - The Open University, United Kingdom, 1996.

DEWBERRY, E.; GOGGIN, P. EcoDesign and beyond: steps towards sustainability. In: 1st INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE EUROPEAN ACADEMY OF DESIGN, 11-13 April 1995, Salford University, 1995.

DINIZ JÚNIOR, ÁLCIO SOUZA. **Identificação e análise dos fatores e aspectos que contribuem para a sustentabilidade econômica e ambiental de um sistema reverso de tratamento do resíduo de equipamento eletro eletrônico (REEE)**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2012, RS.

DYLLICK, T.; HOCKERTS, K. Beyond the business case for corporate sustainability. **Business Strategy and the Environment**, n. 11, p. 130-141, 2002.

EHRENFELD, J. R. Industrial ecology : a framework and process design. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 87–95. 1997.

EHRENFELD, J. R. Industrial ecology: a new field or only a metaphor? **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p.8-10, 2004.

EL-HAGGAR, S. **Sustainable Industrial design and waste management: cradle-to cradle for sustainable development**. Burlington: Elsevier Academic Press, MA, 2007.

ELKINGTON, J. B. **Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business**. Oxford: Capstone Publishing, 1997.

ELKINGTON, J. Governance for sustainability. **Corporate Governance: An International Review**, v.14, n. 6, p. 522–529, 2006.

EUROPEAN COMMISSION (EU). **Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles**. [S.l.], 2000. Disponível em: <[http:// ec.europa.eu/environment/waste/elv_index.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/elv_index.htm)>. Acesso em: 22 ago. 2013.

EUROPEAN COMMISSION. EUROSTAT. Disponível em:<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/waste/reporting/reporting_2013>. Acesso em: 19 dez. 2013.

FACTOR 10 INSTITUTE. Disponível em: < <http://www.factor10-institute.org/>>. Acessado em: 15 mar. 2013.

FEDERAÇÃO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (FENABRAVE). **Índices e Números 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em: < <http://www3.fenabrave.org.br:8082/plus/modulos/listas/index.php?tac=indices-e-numeros&idtipo=1&layout=indices-e-numeros>>. Acesso em: 10 maio 2014.

FIKSEL, J. A systems view of sustainability: The triple value model. **Environmental Development**, v. 2, p. 138-141, 2012.

FIKSEL, J. **Design for Environment: a guide to sustainable product development**. Sec. Edition. McGraw Hill, New York, 2009.

FINSTER, M.; EAGAN, P.; HUSSEY, D. Linking Industrial Ecology with Business Strategy: creating value for green product *design*. **Journal of Industrial Ecology**, v. 5, n. 3, p. 107–125, 2002.

FLETCHER, K.; DEWBERRY, E. Demi: a case study in *design* for sustainability. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 3, n. 1, p. 38–47, 2002.

FORD, H. **Hoje e Amanhã**. Trad. Monteiro Lobato. São Paulo. Companhia Editora Nacional, 1927.

FORRESTER, J. W. **Principles of systems**. 2nd ed. Cambridge: Fifth Printing, 1971.

GANPAT POL, V. Upcycling: converting waste plastics into paramagnetic, conducting, solid, pure carbon microspheres. **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 4753–4759, 2010.

GEHIN, A.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase. **Journal of Cleaner Production**, v.16, n. 5, p. 566-576, 2008.

GENG, Y.; FU, J.; SARKIS, J.; XUE, B. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v.23, p. 216–224, 2012.

GHADIMI, P.; AZADNIA, A., H.; YUSOF, N. M.; MAT SAMAN, M. Z. A weighted fuzzy approach for product sustainability assessment: a case study in automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, p. 10-21, 2012.

GIBBS, D., DEUTZ, P., 2007. Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 17, p. 1683 - 1695, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GMELIN, H.; SEURING, S. Determinants of a sustainable new product development, **Journal of Cleaner Production**, v. 69, n. 15, p 1-9, 2014.

GOBBO, S. C. O.; RODRIGUES, J. S.; GOBBO JÚNIOR, J. A.; FUSCO, J. P. A. Uma análise das estratégias de manufatura adotadas por seis montadoras da indústria automobilística mundial. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Ano 5, n. 3, p. 11-28, 2010.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; SILVA, F. J.; MOREIRA, M. T. Combined application of LCA and eco-*design* for the sustainable production of wood boxes for wine bottles storage. **International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 224-237, 2011.

GRAEDEL, T.; ALLENBY, B. **Industrial ecology and the automobile**. Prentice-Hall International, 1998.

HAGGAR, S. **Sustainable industrial design and waste management: cradle-to cradle for sustainable development**. US: Elsevier Academic Press, 2007.

HAHN, T.; FIGGE, F.; PINKSE, J.; PREUSS, L. Trade-offs in corporate sustainability: you can't have your cake and eat it. **Business Strategy and the Environment**, n. 19, p. 217-229, 2010.

HAIR, J. F. J; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Bookman, 2005.

HALLSTEDT, S.; NY, H.; ROBERT, K-H.; BROMAN, G. An approach to assessing sustainability integration in strategic decision systems for product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 8, p. 703-712, 2010.

HART, S. L; MILSTEIN, M. B. Creating sustainable value. **Academy of Management Executive**, v. 17, n. 2, p. 56-69, 2003.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. **Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial**. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 2007.

HÖJER, M; AHLROTH, S; DREBORG, K-H.; EKVALL, T.; FINNVEDEN, G.; HJELM, O.; HOCHSCHORNER, E.; NILSSON, M.; PALM, V. Scenarios in selected tools for environmental systems analysis. **Journal of Cleaner Production**, v.16, n. 18, p. 1958-1970, 2008.

HYNDS, E. J.; BRANDT, V.; BUREK, S.; JAGER, W.; KNOX, P.; PARKER, J. P.; SCHWARTZ, L.; TAYLOR, J.; ZIETLOW, M. A Maturity Model for Sustainability in New Product Development: A new assessment tool allows companies to benchmark progress toward sustainability goals and drive NPD growth. 2014. Industrial Research Institute. Disponível em: <http://www.iriweb.org/Public_Site/RTM/Volume_57_Year_2014/January-February_2014/A_Maturity_Model_for_Sustainability_in_New_Product_Development.aspx>. Acessado em: 19 fev. 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de sustentabilidade**. 2012. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/relatorio.asp>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

INSTITUTO ETHOS. 2013. Disponível em:< <http://www3.ethos.org.br/cedoc/o-setor-automotivo-e-o-desenvolvimento-sustentavel/#.UxIemfldW50>. Acesso em: 15 dez. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2014. Disponível em:<http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_postplenary_chapter1.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2014.

JACKSON, T. **Prosperity without Growth: Economics for a Finite Planet**. Earthscan, London, 2009.

JAWAHIR, I. S.; ROUCH, K. E.; DILLON JR., O. W.; HOLLAWAY, L.; HALL, A. KNUFF, J. Design for Sustainability (DFS): new challenges in developing and implementing a curriculum for next generation design and manufacturing engineers. In: CIMEC (CIRP) 2005; SME INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANUFACTURING EDUCATION. 3.rd ed. 2005. San Luis Obispo, California. **Anais...** San Luis Obispo, 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, n. 1, p. 98–107, 2002.

KARLSSON, R.; LUTTROPP, C. EcoDesign: what's happening? an overview of the subject area of *ecodesign* and of the papers in this special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1291–1298, 2006.

KAUTTO, P. New Instruments – old practices? the implications of environmental management system and extended producer responsibility for *design* for environment. **Business Strategy and the Environment**, v. 15, p. 377 – 388, 2006.

KERGA, E. TAISCH, M., TERZI, S., MAY G. Integration of sustainability in NPD process: Italian Experiences. **International Conference on Product Lifecycle Management**, June 2011.

KIPERSTOCK, A.; COELHO, A.; TORRES, E. A.; MEIRA, C. C.; BRADLEY, S. P.; ROSEN, M. **Prevenção da poluição**. Brasília: Senai/DN, 2002. 290 p.

KIPERSTOCK, A. Sustentabilidade Ambiental: Produção e Consumo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COOPERAÇÃO UNIVERSIDADE - INDÚSTRIA – UNINDU, 1., 2005, Taubaté. **Anais...**, Taubaté, 2005. Sustentabilidade Ambiental: Produção e Consumo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COOPERAÇÃO UNIVERSIDADE - INDÚSTRIA – UNINDU, 1., 2005, Taubaté. **Anais...**, Taubaté, 2005.

KIPERSTOCK, A. Tendências ambientais do setor automotivo: prevenção da poluição e oportunidades de negócio. **Revista NEXOS**. Mestrado em Economia. UFBA. Salvador, 2000.

KRAUSMANN, F.; GINGRICH, S.; EISENMENGER, N.; ERB, K-H.; HABERL, H.; FISCHER-KOWALSKI, M. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. **Ecological Economics**, 2009.

KORHONEN, J., SNÄKIN, J. P. Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application. **Ecological Economics**, v. 52, p. 169–186, 2005.

KRIKKE, H. Opportunistic versus life-cycle-oriented decision making in multi-loop recovery: an eco-eco study on disposed vehicles. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 8, p. 757–768, 2010.

KUMAR, S; PUTNAM, V. Cradle too cradle: reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. **Int. Journal of Production Economics**, 2008.

LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C.; VAN ERCK, R. P. G. Assessing the sustainability performance of industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n.4, p. 373-385, 2005.

LAGERSTEDT, J. Functional and environmental factors in early phases of product development. Eco functional matrix. PhD thesis, KTH Machine Design, 2003.

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

LARKIN, A. **Environmental Debt: The hidden costs of the changing global economy**. Palgrave Mcmillan. New York, USA, 2013.

LIFSET, R.; GRAEDEL, T. E. **Industrial Ecology: goals and definitions**. In: A Handbook of Industrial Ecology. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2002. p. 3 - 15.

LINNENLUECK, M. K.; GRIFFITHS, A. Firms and sustainability: mapping the intellectual origins and structure of the corporate sustainability field. **Global Environmental Change**, Queensland, 2012.

LIU, Q.; LIU, H.; ZUO, X.; ZHANG, F.; WANG, L. A survey and analysis on public awareness and performance for promoting circular economy in China: A case study from Tianjin. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 265–270, 2008.

LÜTKEMEYER; M. G. F.; VACCARO; G. L. R.; MORAES; C. A. M. **A Historical Perspective of Sustainable Approaches for Product Development**. 8th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. International IIE Conference, Malaga, Spain. July 23-25, 2014a. Artigo aprovado. Não publicado.

LÜTKEMEYER; M. G. F.; VACCARO; G. L. R.; MORAES; C. A. M. **A comparative analysis of eco-efficient and eco-effective approaches in product development**. Working Paper, 2014b. Artigo submetido ao Journal of Cleaner Production. Não publicado.

LÜTKEMEYER; M. G. F.; VACCARO; G. L. R.; MORAES; C. A. M. **Proposta de um instrumento de avaliação da maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produtos**. Working Paper. 2014c.

LÜTKEMEYER; M. G. F.; VACCARO; G. L. R.; MORAES; C. A. M. **Nível de maturidade no uso de sustentabilidade no desenvolvimento de produto: um estudo nas montadoras do brasil**. Working Paper. 2014d.

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.

MACKAY, D. J. C. **Sustainable Energy – without the hot air**. UIT Cambridge, 2009. Disponível em: <<http://www.withouthotair.com/>>. Acesso em: 02 set. 2012.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

MALMBRANDT, M.; ÅHLSTRÖM, P. An instrument for assessing lean service adoption, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 33, n. 9, p.1131 – 1165, 2013.

MANOMAIVIBOOL, P. Network management and environmental effectiveness: the management of end-of-life vehicles in the United Kingdom and in Sweden. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 2006 – 2017, 2008.

MANSON, N. J. Is operations research really research? **Operations Society of South Africa**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MANZINI, E.; VEZOLLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. Tradução de Astrid de Carvalho. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2008, 367p.

MARCH, S.T.; SMITH, G. F., *Design* and natural science research in Information Technology, **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266, 1995.

MARKET REALIST. Disponível em:< <http://marketrealist.com/2014/04/global-automobile-industry-matters-investors/>>. Acesso em: 31 mai. 2014.

MARINHO, M.; KIPERSTOCK, A. Ecologia industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate regional. **Bahia Análise & Dados**, v. 10, n.4, p. 271-279, 2001.

MARTÍNEZ; C., I., P. Energy efficiency in the automotive industry evidence from Germany and Colombia. **Environ. Dev. Sustain**, n. 13, p.367–383, 2011.

MARTINUZZI, A.; KUDLAK, R.; FABER, C.; WINAM, A. CSR Activities and Impacts of the Automotive Sector. **RIMAS Working Papers**. n. 3, 2011.

MARX, A. M.; PAULA, I. C. Proposta de uma sistemática de gestão de requisitos para o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis. **Prod.**, São Paulo, v. 21, n. 3, 2011.

MAY, G.; TAISCH, M.; KERGA, E. Assessment of sustainable practices in new product development advances in production management systems. value networks: innovation, technologies, and management. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 384, p. 437-447, 2012.

MAYYAS, A.; QATTAWIA, A.; OMARA, M.; SHANA, D. Design for sustainability in automotive industry: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 4, p. 1845-1862, 2012.

MAYYAS, A. T.; QATTAWI, A.; MAYYAS, A. R.; OMAR, M. Quantifiable measures of sustainability: a case study of materials selection for eco-lightweight auto-bodies. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 177–189, 2013.

MCAULEY, J. Global sustainability and key needs in future automotive *design*. **Environmental Science & Technology**, v. 37, p. 5414 - 5416.

MCDONOUGH, W. **The Hannover Principles**. Disponível em: <<http://www.McDonough.com/speaking-writing/the-hannover-principles-design-for-sustainability/>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W. W. **Limites do crescimento**. 1. ed. São Paulo: Perspectiva., 1972.

MOBILIDADE E SUSTENTABILIDADE. **O papel e os desafios da indústria automobilística para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Autodata Editora Ltda., 2012.

MONT, O.; BLEISCHWITZ, R. Sustainable consumption and resource management in the light of life cycle thinking. **European Environment**, v. 76, p. 59–76, 2007.

MORGAN, J. M.; LIKER, J. K. **Sistema Toyota de desenvolvimento de produto – integrando pessoas, processos e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MU, J.; ZHANG, G.; MACLACHLAN, D. L. Social competency and new product development performance. **IEEE Trans. Eng. Management**, v. 58, n. 2, p. 363-376. 2011.

NASCIMENTO, L. F.; LEMOS, A. D. C.; MELLO, M. C. A. **Gestão Socioambiental Estratégica**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

NIDUMOLU, R.; PRAHALAD, C.K.; RANGASWAMI, M. R. Why sustainability is now the key driver of innovation. **Harvard Business Review**, n. 87, v. 9, p. 25-34, 2009. O'RIORDAN, T. **Environmentalism**. London: Pion Ltd, 1976.

ORDOÑEZ, I.; RAHE, U. Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop?, **Resources, Conservation and Recycling**, v.72, p. 108-117, 2013.

O'RIORDAN, T. **Environmentalism**. London: Pion Ltd, 1976.

ORSATO, R. J.; WELLS, P. Redesigning the industrial ecology of the automobile. **Journal of Industrial Ecology**, v 9, n.3, p. 15–30, 2005.

_____; _____. U-turn: the rise and demise of the automobile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 994 – 1006, 2006.

PAPANEEK, V. J. **Design for the Real World: human ecology and social change**, 2nd Ed. Academy Chicago, Chicago, 1985.

PETALA, E.; WEVER, R.; DUTILH, C.; BREZET, H. The role of new product development briefs in implementing sustainability: a case study. **Journal of Engineering & Technology Management**, v. 27, n. 3-4, p. 172-182, 2010.

PLOUFFE, S.; LANOIE, P.; BERNEMAN, C.; VERNIER, M. F. Economic benefits tied to *ecodesign*. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6-7, p. 573–579, 2011.

PORTER, M. E; VAN DER LINDE, C. Green and competitive: ending the stalemate. **Harvard Business Review**, v. 73, n.5, p. 12-34, 1995a.

_____; _____. Toward a new conception of the environment: competitive relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v.9, n. 4, p. 97-118, 1995b.

PUJARI, D. Eco-innovation and new product development: Understanding the influences on market performance. **Technovation**, v. 26, p. 76-85, 2006.

PUJARI, D.; DANGELICO, R. M. Mainstreaming green product innovation: why and how companies integrate environmental sustainability. **Journal of Business Ethics**, n. 95, p. 471–486, 2010

QUINTELLA, H. L. M. M.; ROCHA, H. M. Nível de maturidade e comparação dos PDPs de produtos automotivos. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 199–215, 2007.

REAY, S. D.; WITHELL, A. exploring the feasibility of cradle to cradle design: Perspectives from New Zealand scientists. **Journal of Sustainable Development**, v. 4, n. 1, p. 36–45, 2011.

REH, L. Process engineering in circular economy. **Particuology**, v. 11, n.2, p. 119–133, 2013.

REUTER, M. A. Limits of Design for Recycling and “Sustainability”: A Review. **Waste and Biomass Valorization**, v.2, n.2, p. 183–208, 2011.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão do Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria de processo**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 542p.

RYAN, C.; HOSKEN, D.; GREENE, D. EcoDesign: design and the response to the greening of the international market. **Design Studies**, v. 13, n. 1, Jan. 1992.

SAAVEDRA, Y. M. B. **Práticas de estratégias de fim de vida focadas no processo de desenvolvimento de produtos e suas aplicações em empresas que realizam a recuperação de produtos pós-consumo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Processos e Gestão de Operações) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SCHMIDHEINY, S. **Changing Course: A Global Business Perspective on Development and the Environment**, MIT Press, Boston, 1992.

SCOTT, J. T. **The sustainable business: A practitioner's guide to achieving long-term profitability and competitiveness**. 2. ed. Sheffield: Greenleaf Publishing Limited, 2013.

SEI. **CMMI for Services, Version 1.3**. Pittsburgh: Carnegie Mellon, 2013. Disponível em: <<http://www.sei.cmu.edu/reports/10tr034.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2013.

_____. Software Engineering Institute: **CMMI Overview**. Pittsburgh: Carnegie Mellon, 2013. Disponível em: <<http://www.sei.cmu.edu/cmmi/index.cfm>>. Acesso em: 14 set. 2013

SENGE, P. M. **A quinta disciplina – arte e prática da organização que aprende**. Rio de Janeiro: Best Seller, 2006.

SHORT, T.; LEE-MORTIMER, A.; LUTTROPP, C.; JOHANSSON, G. 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.

SIEGEL, D. S. Green management matters only if it yields more green: an economic/strategic perspective, **Academy of Management Perspectives**, v. 23, n. 3, p. 5-17, 2009.

SIMON, H. A. **As Ciências do Artificial**. Coimbra: Armênio Amado, 1981,

SMITH, A. **Inquérito sobre a natureza e as causas das riquezas das nações**. Tradução de Edwin Cannan. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa: 1981.

SPANGENBERG, J. H.; FUAD-LUKE; A.; BLINCOE, K. Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 15, p. 1485-1493, 2010.

STAHEL, W. R. **The Performance Economy**. 2 ed. England, Palgrave Mcmillan, 2010.

STAHEL, W. R. The service economy: “wealth without resource consumption”? Philosophical transactions of the royal society. **A Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 355, n.1728, p. 1309–1319, 1997.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. Nova York: McGraw-Hill, 2000.

TAISCH, M.; KERGA, E.; HELVACI, E.; MAY, G. Integration of Sustainability in Product Development Process: Supporting Tools. In: Quaderni della XV Summer School “Francesco Turco”, 14-18 September 2010, Impianti Industriali Meccanici. Porto Giardino (Monopoli), Italy (2010).

THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013. Disponível em: <<http://www.product-life.org/>>. Acessado em: 15 Mar 2013.

THE WORLD CONSERVATION UNION.(IUCN).2006. Disponível em: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/iucn_future_of_sustainability.pdf>. Acesso em: 15mar. 2013.

TOFFLER, A. **O choque do futuro**. Trans. Tradutor Eduardo Francisco Alves, Record, Rio de Janeiro, 1970.

TRIEBSWETTER, U; WACKERBAUER, J. Integrated environmental product innovation and impacts on company competitiveness: a case study of the automotive industry in the region of Munich. **Environmental Policy and Governance**, v.18, n. 30–44, 2008.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 4 Ed. McGraw-Hill: Singapore, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth**. Disponível em: <http://www.unep.org/reso_urcepanel/Publications/Decoupling/tabid/56048/Default.aspx>. Acesso em: 01 mar. 2013.

UNITED NATIONS (UN). FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 15 mar. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) 2007. **Life Cycle Management: A business guide to sustainability**. Disponível em: <<http://www.unep.org/pdf/dtie/DTI0889PA.pdf>>. Acessado em: 23 Mai. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME FINANCE INITIATIVE (UNEPFI) **Innovative Financing for Sustainability**. Disponível em: <http://www.unep.org/PDF/PressReleases/UNEP_ERISC_Final_LowRes.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) – Disponível em: <<http://www2.epa.gov/science-and-technology/sustainable-practices-science-resources>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. (2004/5). “**Design Research in Information Systems**” January 20, 2004, last updated August 16, 2009. Disponível em <<http://desrist.org/design-research-in-information-systems>> Acesso em: 5 jan. 2013.

VAN AKEN, J. E. Management Research as a *Design Science*: Articulating the Research Products of Mode 2 Knowledge Production in Management. **British Journal of Management**, v. 16, p. 19-36, 2005.

VAN AKEN, J. E. Management research based on the paradigm of *design sciences*. The quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n.2, p.219-246, 2004.

VERMEULEN, I.; BLOCK, C.; CANEGHEM, J. V.; DEWULF, W.; SIKDAR, S. K.; VANDECASTEELE, C. Sustainability assessment of industrial waste treatment processes: The case of automotive shredder residue. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 17-28, 2012.

WAAGE, S. A. Re-considering product design : a practical road-map for integration of sustainability issues. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 638-649, 2007.

WAGNER, B.; ENZLER, S. **Material Flow Management: Improving Cost Efficiency and Environmental Performance**. Physica-Verlag, Germany, 2006.

WILLARD, B. **The next sustainability wave: building boardroom buy-in**. New society publishers. Canada, 2005.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). 2000. Disponível em: <<http://oldwww.wbcd.org/plugins/DocSearch/details.asp?type=DocDet&ObjectId=Mjgy>>. Acesso em: 19 dez. 2012.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). 2012. Disponível em: <<http://www.wbcd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=14852&NoSearchContextKey=true>>. Acesso em: 13 jan. 2013.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). 2012. Disponível em: <<http://www.wbcd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=14852&NoSearchContextKey=true>>. Acesso em: 13 jan. 2013.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). Living planet report. 2012. Disponível em: <http://assets.wwf.org.uk/downloads/lpr2012_online_single_pages_11may2012.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

ZORPAS, A. A.; INGLEZAKIS, V. J. Automotive industry challenges in meeting EU 2015 environmental standard. **Technology in Society**, v. 34, p. 55 – 83, 2012.

APÊNDICE A - LISTA DE ESPECIALISTAS

Entrevistado	País	Resumo do perfil profissional
E1	Brasil	Engenheiro Civil e PhD em Engenharia Química/Tecnologias Ambientais pela University of Manchester Institute of Science and Technology. Possui experiência na implementação de processos de Prevenção da Poluição e Produção Limpa. Professor da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Atua na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, Prevenção da Poluição e Saneamento Sustentável. Possui mais de 200 artigos publicados em congressos e revistas.
E2	Itália	PhD pela Universidade Politécnica de Milão em 2011. Pesquisador da Universidade Politécnica de Milão, no departamento de Administração, Economia e Engenharia Industrial. Suas áreas de pesquisa são Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, Cadeia de Suprimentos e Produção Enxuta. Atualmente está envolvido em dois projetos na Europa, o LeanPPD e LinkedDesign. Publicou mais de 15 artigos em revistas, conferências e workshops nos últimos anos.
E3	Brasil	Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas, mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Professor Assistente da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e Diretor da Escola de Educação Profissional SENAI Ney Damasceno Ferreira. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Gerência de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: Planejamento Fino e Teoria das Restrições. Possui experiência em consultoria em Produção + Limpa, implementação de processos de Prevenção da Poluição, tendo trabalhado em mais de 30 projetos nos últimos anos.
E4	Reino Unido	Recebeu o título de PhD pela Universidade de Reading. Atualmente é professor das Escolas de Engenharia de Universidade de Liverpool, em nível de graduação, mestrado e doutorado. É membro do Instituto de Engenharia e Tecnologia e Sociedade de Design. Possui mais de 50 artigos publicados em revistas, congressos e conferências. Recebeu o prêmio de ensino em Engenharia (Academia Real de Engenharia - 2005).
E5	Brasil	Possui graduação em Física pela Universidade Federal da Paraíba e mestrado em Relações Internacionais pela Universidade de Brasília. Atualmente é Analista de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Tem experiência na área de Administração, com ênfase em Política e Planejamento Governamentais, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento Industrial Sustentável, mudanças climáticas, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), Protocolo de Quioto, Gestão Ambiental e Política Industrial.
E6	Bélgica	PhD em Química, recebeu o título de Doutor em Ciências pela Universidade de Ghent. Em 2000 se tornou professor do departamento de Química Industrial, na Faculdade de Engenharia da Universidade Católica de Leuven - Bélgica. Tem lecionado disciplinas tais como: Gestão Ambiental, Técnicas de Controle da Poluição, Química Analítica, Tratamento de Resíduos, Medição e Detecção da Poluição, Indústria e meio ambiente. Publicou mais de 3 livros (autor e coautor) e possui mais de 300 publicações em jornais e congressos.

**APÊNDICE B - LISTA DE ESPECIALISTAS - AVALIADORES DO
QUESTIONÁRIO E ESCALA DE MEDIÇÃO**

Avaliador	Perfil Acadêmico
EQ1	Bacharel em Estatística pela UFRGS, Mestre em Engenharia de Produção e Doutor em Engenharia de Produção com período Sanduíche na Texas A&M. Participação em grupos de pesquisa na UFRGS, PUCRS e UNISINOS. Possui artigos publicados e participação em eventos e revistas nacionais e internacionais.
EQ2	Bacharel e Licenciatura em Química pela PUCRS, Mestrado e Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais pela UFRGS. Professor do Programa de Engenharia Civil e Auditor interno do Sistema de Gestão Ambiental da UNISINOS. Atua nas áreas de reciclagem, resíduos sólidos e outros. Possui artigos publicados em revistas e congressos.
EQ3	Doutorado em Administração pela UFRGS, Mestre em Administração pela Unisinos e Bacharel em Matemática Pura. Atua com Aprendizagem Organizacional, Gestão do Conhecimento e Competências.
EQ4	Graduação em Engenharia de Alimentos pela UNISINOS, Mestrado em Engenharia Civil pela UNISINOS e Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais na UFRGS (em andamento). Possui experiência em gestão de resíduos industriais e adequação e transformação de resíduos em coprodutos.
EQ5	Graduação em Engenharia Mecânica pela UFRGS, Mestrado em Engenharia de Produção pela UFRGS e Doutorado em Engenharia de Produção pela UFSC. É professor permanente da UNISINOS, revisor de periódicos. Possui experiência na área de Gerência de Produção, com ênfase em produção enxuta e operações em serviços.

APÊNDICE C - LISTA DOS ENTREVISTADOS DAS MONTADORAS

Entrevistado	Cargo	Formação	Tempo de Experiência em DP
M1	Gerente Estratégico de Planejamento e Inovação	Engenheiro Mecânico e Pós-Graduação em Engenharia Automotiva	25 anos
M2	Coordenador de DP	Engenheiro Mecânico e Pós-Graduação em Desenvolvimento de Negócios	15 anos
M3	Gerente de Novos Programas	Engenheiro Mecânico e Pós-Graduação em Gestão de Negócios	24 anos
M4	Gerente de Portfólio de Novos Produtos e Negócios	Administrador de Empresas e Pós-Graduação em Gestão de Negócios	7 anos
M5	Coordenador de Sustentabilidade em DP	Engenheiro Mecânico e Pós-Graduação em Gestão Ambiental	15 anos
M6	Coordenador de DP	Engenheiro Mecânico e Pós-Graduação em Gestão de Projetos	10 anos
M7	Supervisor de DP	Engenheiro Mecânico e Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Empresas	8 anos

APÊNDICE D – DIMENSÕES E CONSTRUCTOS PARA A AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE EM SUSTENTABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

DIMENSÃO	CONSTRUCTO	CONCEITO	AUTOR
Orientação Estratégica	Perspectiva de Ciclo de Vida	Essencial para o desenvolvimento sustentável, vai além da visão de manufatura. Determina o nível de ações empresariais para minimizar o impacto das atividades organizacionais, com o objetivo de otimizar o uso dos recursos nos produtos, reduzir emissões e poluentes ao longo do ciclo de vida.	Willard (2005); Byggeth e Hochschorner (2006); Byggeth; Broman e Robèrt (2006); Mont e Bleischwitz (2007); UNEP (2007); Manzini e Vezzoli (2008); Fiksel (2009); Rozenfeld <i>et al.</i> (2010); Gmelin e Seuring (2014).
	Modelos de Negócio	Contrasta o modelo tradicional da venda de produtos para a venda de serviços e desempenho. Visa agregar valor ao cliente reduzir o consumo de recursos naturais, reduzir riscos decorrentes da geração de resíduos, tanto ao meio ambiente, quanto aos negócios e sociedade. Oferta-se ao cliente o serviços de manutenção, reparo, substituição e retorno do produto ao seu ambiente produtivo ou cadeia de suprimentos.	Stahel (1997); Hawken, Lovins, A., Lovins, H. (2007); McDonough, Braungart e Bollinger (2007); Chen, Boudreau e Watson (2008); Manzini e Vezzoli (2008); Stahel (2010); The Ellen McArthur Foundation (2012).
	Gestão do desenvolvimento tecnológico	Associado às decisões estratégicas voltadas ao desenvolvimento/adoção de tecnologias inovadoras e redesenho dos processos de negócios, os quais entregam benefícios em termos de redução de custos, riscos e aumento do nível de competitividade.	Porter e Van der Linde (1995a); Ehrenfeld (1997); Braungart e McDonough (2002); Hart e Milstein (2003); Andersen (2007); Ulrich e Eppinger (2008); Bleischwitz (2010); Dangelico e Pujari (2010); Krikke (2010); Bocken <i>et al.</i> (2014); Gmelin e Seuring (2014).
	Competências técnicas	Investir na preparação e capacitação de projetistas em desenvolvimento sustentável é um dos elementos essenciais para entregar ao mercado produtos sustentáveis.	Johansson (2002); Jawahir <i>et al.</i> (2005); Karlsson e Luttrupp (2006); Chen, Boudreau e Watson (2008); May, Taisch e Kerga (2012).
Design	Materiais	Consiste na seleção de materiais, no sentido de aumentar a segurança bem como a redução e dispersão de substâncias tóxicas, as quais contaminam o meio ambiente e são prejudiciais à saúde humana. Os produtos devem ser projetados com materiais que assegurem a performance funcional do produto, manufaturabilidade, uso, reuso, desmontagem e reciclagem.	WBSCD (2000); McDonough <i>et al.</i> (2003); Byggeth e Hochschorner (2006); Byggeth; Broman e Robèrt (2006); Wagner e Enzler (2006); Waage (2007); Ashby (2009); Stahel (2010); Bovea; Péres-Bélis (2012).
	Energia	As demandas energéticas são consideradas durante a fase de projeto, manufatura, uso e retorno ao fabricante, no sentido de reduzir as perdas e pegada ecológica.	Kiperstok <i>et al.</i> (2002); McDonough <i>et al.</i> (2003); Byggeth; Broman e Robèrt (2006); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Andersen (2007); Ashby (2009); Fiksel (2009); Mackay (2009); Bovea; Péres-Bélis (2012); Schiederig <i>et al.</i> (2012);
	Engenharia Simultânea	Além de ser mais efetiva em termos da redução dos tempos das etapas do design, contribui para a redução do tempo de entrega de um novo produto ao mercado e, quando adequadamente empregada no contexto empresarial, contribui para o desenvolvimento de produtos ambientalmente sustentáveis.	Morgan e Liker (2008); Luttrupp e Lagerstedt (2006); May, Taisch e Kerga (apud Hallstedt, 2006), 2012.
Processo de Desenvolvimento	Upcycling	Consiste no processo de conversão de materiais em itens e componentes reutilizáveis, com agregação de valor e sem perda de qualidade ou degradação material ao longo dos ciclos de uso.	Ganpat Pol (2010); Braungart e McDonough (2002); Hawken, Lovins, A., Lovins, H. (2007); McDonough, Braungart e Bollinger (2007); Braungart e McDonough (2013).
	Fluxo cíclico	O fluxo cíclico de materiais, ao ser analisado sob o ponto de vista de sistemas, é visto como um importante fator de redução dos impactos ambientais e desenvolvimento sustentável, mas também como fator de vantagem competitiva.	Ehrenfeld (1997); Chertow (2000); Bailey, Bras e Allen (2007); Brent e Labuschagne (2007); Ashby (2009); Bleischwitz (2010); Krikke (2010); Diniz Júnior (2012); The Ellen MacArthur Foundation (2012); Bocken <i>et al.</i> (2014).
	Reduzir, reusar e reciclar	Aumentar a eficiência dos materiais utilizados nos produtos ao longo do ciclo de vida, no intuito de reduzir a quantidade de resíduos, desperdícios e a pressão nos sistemas naturais.	McDonough <i>et al.</i> (2003); Luttrupp e Lagerstedt (2006); Karlsson e Luttrupp (2006); Gehin, Zwolinski; Brissau (2008); UNEP (2012); Bleischwitz (2010); Spangenberg; Fuad-Luke e Blincoe (2010); Saavedra (2010); Reh (2013); Bocken <i>et al.</i> (2014).
Aspectos Socioambientais	Eco-equidade	A noção de sustentabilidade atribui o entendimento temporal no qual o ser humano não deve ser ameaçado pelo acesso ao recursos do meio ambiente e sim, assegurar o acesso aos recursos naturais tanto hoje quanto no futuro.	Dyllick e Hockerts (2002); Braungart e McDonough (2002); Hart e Milstein (2004); Willard (2005); Chen, Boudreau e Watson (2008).
	Cultura e ética	Promover e implementar práticas sustentáveis nas operações dos negócios, estimular a cultura e padrões éticos organizacionais em todos os níveis. Envolver e demonstrar aos fornecedores e clientes a cultura de sustentabilidade com base no respeito às leis e diretrizes norteadoras.	Ehrenfeld (1997); Dyllick e Hockerts (2002); Willard (2005); Elkington (2006); Karlsson e Luttrupp (2006); McDonough, Braungart e Bollinger (2007); Manzini e Vezzoli (2008); Nascimento, Lemos e Mello (2008); The Product-Life Institute (2013).
	Regulamentação	Objetiva facilitar a comunicação das companhias com os <i>stakeholders</i> sobre as regras e procedimentos ambientais a serem adotadas bem como apresentar oportunidades para a redução do consumo de recursos naturais, riscos, desperdícios, custos e motivar a implementação de processos inovadores. Estão associados com os aspectos regulatórios do tipo "energy using products" "take back", "extended producer responsibility" ou "end of life" (Europa) ou no caso do Brasil com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PRNS).	Porter e Van der Linde (1995); Ehrenfeld (1997); Hart e Milstein (2004); Willard (2005); Waage (2007); Gehin, Zwolinski; Brissaud (2008); Nascimento, Lemos e Mello (2008); Nidumohu, Prahalad e Rangaswami (2009); Saavedra (2010); Stahel (2010); UNEP (2013); Bocken <i>et al.</i> (2014).
	Capital Natural	Manter os recursos em ciclo fechado, com o objetivo de evitar o esgotamento dos materiais e reduzir os níveis de poluição e impactos ambientais, os quais podem ser um risco aos negócios.	Porter e Van der Linde (1995a); Dyllick e Hockerts (2002); Johansson (2002); Hart e Milstein (2003); Jawahir <i>et al.</i> (2005); Hawken, Lovins, A., Lovins, H. (2007); Nidumohu, Prahalad e Rangaswami (2009); Bleischwitz (2010); Stahel (2010); Scott (2013); Bocken <i>et al.</i> (2014).
Resultado	Ecoeficiência	Ecoeficiência é usualmente calculada como o valor econômico adicionado pela empresa em relação ao emprego dos recursos nos sistemas produtivos. Visa reduzir a intensidade do uso dos recursos naturais e energia ao longo do ciclo de vida, ao mesmo tempo em que reduz os custos com o tratamento de resíduos e elementos poluidores.	WBSCD (2000); Dyllick e Hockerts (2002); Hart e Milstein (2003); Chen, Boudreau e Watson (2008); Manzini e Vezzoli (2008); Fiksel (2009); Spangenberg; Fuad-Luke e Blincoe (2010); The Ellen McArthur Foundation (2012); UNEP (2013).
	Lucratividade	Investir em estratégias sustentáveis e tecnologias limpas é vista como uma oportunidade de aumentar a competitividade, reduzir custos, conquistar novos clientes mercados e a lucratividade.	Porter e Van der Linde (1995a; 1995b); Finster <i>et al.</i> (2002); Hart e Milstein (2004); Ehrenfeld (2004); Ambec e Lanoie (2008); Chen, Boudreau e Watson (2008); Nidumohu, Prahalad e Rangaswami (2009); Short <i>et al.</i> (2012).

	Competências técnicas	avaliadas. 11) Profissionais que demonstrem as capacitações técnicas e conhecimentos preferidos para o trabalho com o desenvolvimento de produtos.
Design	Materiais	12) O impacto ambiental dos elementos químicos é um critério determinante.
		13) O custo não é a principal variável de influência da escolha dos materiais.
		14) A organização possui um critério claro de escolha dos materiais com base na fabricação, manufatura, uso e pós-uso).
	Energia	15) A eficiência energética (considerando-se manufatura, uso e pós-uso) é um critério determinante na escolha de materiais.
		16) A organização desenvolve produtos e processos focados em fontes renováveis de energia.
17) A organização utiliza alguma técnica ou procedimento para escolher materiais com base na eficiência energética.		
Engenharia simultânea	18) Há um processo definido para avaliar o consumo energético dos produtos. 19) A Engenharia Simultânea é utilizada para o projeto e desenvolvimento de produtos. 20) Na organização, a Engenharia Simultânea é importante para o desenvolvimento de produtos.	
Processo de Desenvolvimento	<i>Upcycling</i>	21) A organização prioriza o uso de materiais que possam ser reutilizados. 22) Existem processos definidos para converter resíduos em matérias-primas para o produto.
	Fluxo cíclico	23) A organização utiliza processos colaborativos com outras empresas, visando o uso dos produtos. 24) Os processos e produtos são projetados para permitir a reciclabilidade. 25) Métricas são utilizadas para avaliar a quantidade de material / produto reciclado.
	Reduzir, reusar e reciclar	26) No desenvolvimento de produtos, a organização utiliza técnicas para reduzir o consumo de materiais. 27) A organização utiliza processos que facilitam o reuso ou a reciclagem de materiais. 28) Os fornecedores são envolvidos na implementação de ciclo reverso de materiais.
	Eco-equidade	29) As práticas da organização estão baseadas na sustentabilidade socioambiental.
Aspectos Socioambientais	Cultura e ética	30) A organização têm e divulga diretrizes claras de atuação ética. 31) Os valores divulgados pela empresa englobam aspectos éticos para a atuação da organização.
	Regulamentação	32) O organização é certificada na ISO 14001.
		33) O organização atua com parceiros da cadeia de fornecimento na busca por práticas sustentáveis.
		34) A organização aplica as diretrizes determinada pela Política Nacional de Meio Ambiente. 35) A organização utiliza o cumprimento de normas ambientais como um diferencial competitivo em relação aos concorrentes.
	Capital natural	36) A organização tem metas claras para a redução do consumo dos recursos naturais.
		37) A organização orienta o desenvolvimento de novos produtos como fonte de inovação sustentável.
38) A sustentabilidade do negócio depende de investimento na disponibilidade de recursos naturais.		
Resultado	Ecoeficiência	39) A empresa possui indicadores de ecoeficiência (que objetivam maximizar o uso de recursos, reduzir o consumo de matéria-prima, ou mitigar o impacto ambiental).
	Lucratividade	40) A lucratividade da organização é baseada em produtos sustentáveis. 41) A organização busca atuar em mercados onde os consumidores e fornecedores valorizam a sustentabilidade.

APÊNDICE F – QUESTÕES DE APOIO

Gostaria de entender os porques da sua organização estar nesse nível? Você pode contar ou narrar brevemente os fatos que sustentam o seu posicionamento ao longo do tempo?

Quais seriam os maiores desafios para a sua organização?

Você poderia elencar alguns exemplos que embasariam a sua resposta? Exemplos: reuniões recorrentes, processos implantados, ações desdobradas e outros.

Por que você identifica elementos que precisam ser melhorados?

APÊNDICE G – SCALA DE MATURIDADE E MATRIZ CONCEITUAL DE MATURIDADE EM SUSTENTABILIDADE (MCMS)

Escala de maturidade	A organização não conhece e não usa essa ideia	A organização conhece, mas não aplica essa ideia	A organização possui projetos iniciais / piloto envolvendo essa ideia	A organização implantou essa ideia parcialmente ou em algumas áreas	A organização implantou essa ideia completamente e em todas as áreas		
	↓ Interpretação qualitativa ↓						
Matriz Conceitual de Maturidade em Sustentabilidade (MCMS)	A organização não conhece, orienta ou incentiva o desenvolvimento de soluções sustentáveis nos níveis organizacionais. A adoção modelos de negócio com foco no uso do produto, o emprego do aparato tecnológico disponível e apoio das competências técnicas adequadas está longe das práticas da empresa.	A organização conhece mas não orienta, incentiva ou propõe a adoção de soluções sustentáveis. Modelos de negócios com base no uso do produto não são considerados; tecnologias sustentáveis não são empregadas bem como as competências técnicas para implantar processos e produtos sustentáveis.	A organização conhece e orienta o desenvolvimento de soluções sustentáveis, com base nos impactos gerados ao longo do ciclo de vida. Porém, as ações empregadas pela organização são eventuais. Novos modelos de negócio são pensados pontualmente, as tecnologias empregadas estão limitadas pelo fator custo e as competências alocadas são determinadas pela questão técnica.	Há orientação estratégica e incentivos para o desenvolvimento de soluções sustentáveis a partir dos impactos do ciclo de vida. No entanto, as boas práticas estão em fase de implementação. Novos modelos de negócio e tecnologias limpas são implantadas, mas limitadas pelo fator custo e as competências alocadas são determinadas pela questão técnica.	A organização orienta estrategicamente a adoção de processos e produtos sustentáveis a partir dos impactos gerados ao longo do ciclo de vida. Modelos de negócio focados no uso do produto estão plenamente implantados, as tecnologias inovadoras e competências são determinadas segundo a visão de longo prazo.	<i>Orientação Estratégica</i>	Dimensões
	O consumo energético e demandas de materiais e energia não são conhecidas para a fase de design. Não há noção dos conceitos de engenharia simultânea. A organização projeta e produz de maneira desestruturada.	A organização sabe que o uso de materiais adequados, que apresentam melhor eficiência energética geram ganhos sustentáveis, mas não são utilizados. A engenharia simultânea não está empregada nas atividades de design.	O organização estimula o uso materiais adequados e com maior eficiência energética em processos e produtos. Contudo, as escolhas ocorrem de forma eventual e assistemática. Existe o foco em etapas restritas do ciclo de vida do produto, limitados pelo custo do produto. A engenharia simultânea é utilizada, mas o processo não está estruturado.	Os materiais e energia demandados pelos processos e produtos são projetados para atender os princípios de sustentabilidade, mas com foco em etapas restritas do ciclo de vida do produto. As boas práticas não estão plenamente implantadas e a engenharia simultânea é utilizada em algumas áreas.	Os materiais e energia demandados pelos processos e produtos são sistematicamente empregados para atender os princípios de sustentabilidade, com foco nas diversas etapas do ciclo de vida do produto. A engenharia simultânea é empregada para desenvolver produtos sustentáveis e promover a competitividade.	<i>Design</i>	
	Não existem processos de negócios, iniciativas ou métricas para reduzir os desperdícios e manter os materiais em ciclos fechados. Os impactos ambientais decorrentes das atividades organizacionais são desconhecidos ou desconsiderados.	A organização tem noção dos impactos causados e volumes de resíduos gerados pelos produtos ao longo do ciclo de vida. Porém, não possui rotinas e processos estabelecidos para manter os materiais em ciclos fechados.	A organização busca agregar valor aos resíduos de modo pontual. Possui processos assistemáticos desenhados para reduzir a geração de resíduos e manter os materiais em ciclo fechado. As iniciativas para assegurar os processos de ciclo reverso junto na cadeia de fornecedores ocorrem de forma eventual.	Os processos de negócio para reduzir a geração de resíduos e manter os materiais em ciclo fechado estão em fase de implantação. As boas práticas não estão completamente implantadas. A organização agrega valor ao que era considerado resíduo em alguns casos. A cadeia de fornecedores está parcialmente preparada para atender os processos de ciclo reverso.	Os processos de negócio estão desenhados para reduzir a geração de resíduos e manter os materiais em ciclo fechado estão sistematicamente implantados. A organização busca agregar valor ao que antes era considerado resíduo. A cadeia de fornecimento está preparada para reutilizar os materiais e produtos desenvolvidos, os quais são monitorados por métricas.	<i>Processo de Desenvolvimento</i>	
	Os aspectos socioambientais são negligenciados, pois não há conhecimento dos princípios existentes. Não há noção dos impactos do negócio na disponibilidade do capital natural, por isso não pensa-se no resultado para as gerações futuras. As leis e regulamentações são ignoradas.	A organização sabe da importância dos aspectos socioambientais, porém, não existe cultura e ações em curso para atendê-los. Não há expertise profissional capaz de determinar as necessidades de cumprimento de normas e regulamentações.	Os aspectos socioambientais são compreendidos mas pouco executados. Existem iniciativas para criar uma cultura e consciência sobre o consumo de recursos naturais e os riscos associados com a previsão de esgotamento dos mesmos. As leis e normas são compreendidas por poucas áreas.	Os aspectos socioambientais são compreendidos, respeitados e as boas práticas não estão completamente implantadas. Poucas áreas da organização estão alinhadas com os princípios éticos e de eco-equidade. As leis e regulamentações são atendidas, mas a organização não vai além do que é requerido.	Os aspectos socioambientais são compreendidos e atendidos. Os investimentos na minimização de desperdícios são percebidos como oportunidades de negócios e realizados sistematicamente. A organização vai além do que é requerido por lei. Existe a cultura e a percepção de que a continuidade do negócio depende da disponibilidade dos recursos naturais, no presente e no futuro.	<i>Aspectos Socioambientais</i>	
	A organização não faz ideia do que seja ecoeficiência e a sua contribuição no resultado organizacional. Consequentemente, não há planos para investir em processo e produtos sustentáveis e aumentar a competitividade.	Embora saiba que investir na redução de materiais e implantação de processos limpos seja uma necessidade imediata, a organização não apresenta iniciativas para maximizar o uso dos recursos e o resultado econômico.	Poucos processos ecoeficientes estão implantados, o uso de métricas para avaliação do uso de materiais e energia está empregado de modo eventual. Poucas áreas compreendem que o investimento em produtos sustentáveis é um elemento estimulador da competitividade, os resultados estão focados no curto prazo.	A organização trabalha para implantar processos que reduzam o nível de desperdícios no negócio, fundamental para a competitividade. As boas práticas e uso de métricas são seguidas por algumas áreas. Os resultados estão parcialmente voltados ao longo prazo.	Investe-se sistematicamente em processos limpos no sentido de aumentar a competitividade e os resultados econômicos, a partir da consciência sustentável. Os resultados são voltados ao longo prazo.	<i>Resultado</i>	