

Thayla Tavares de Sousa Zomer

**PROPOSTA PARA IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS  
*HOTSPOTS* AMBIENTAIS E SOCIAIS NO CICLO DE VIDA DE  
SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO NAS FASES INICIAIS DE  
PROJETO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Paulo Augusto Cauchick Miguel, PhD

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Zomer, Thayla Tavares de

Proposta para identificação e análise dos hotspots ambientais e sociais no ciclo de vida de sistemas produto-serviço nas fases iniciais de projeto / Thayla Tavares de Zomer ; orientador, Paulo Augusto Cauchick Miguel - SC, 2017.  
251 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. sistemas produto serviço. 3. sustentabilidade. 4. avaliação da sustentabilidade. I. Cauchick Miguel, Paulo Augusto . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

Thayla Tavares de Sousa Zomer

**PROPOSTA PARA IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS  
HOTSPOTS AMBIENTAIS E SOCIAIS NO CICLO DE VIDA DE  
SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO NAS FASES INICIAIS DE  
PROJETO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Produção”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção

Florianópolis, 20 de fevereiro de 2017.

---

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Paulo A. Cauchick Miguel, PhD  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Fernanda Hansch Beuren, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade do Estado de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Lucila Maria de Souza Campos, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina



Dedico esse trabalho a você mãe,  
obrigada por tudo.



## AGRADECIMENTOS

Uma das grandes lições que aprendi durante esses dois anos é que pesquisa não é um empreendimento para se embarcar sozinho. Existem muitas pessoas que, de uma forma ou de outra, me acompanharam e apoiaram nessa jornada, e a quem devo os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço à minha falecida mãe, Ana Aparecida de Sousa, por dedicar a sua vida no plano terreno para que eu chegasse até aqui. Cada um dos seus exaustivos dias de trabalho para oferecer aos seus filhos acesso ao mais nobre conhecimento será multiplicado, pois farei do acesso à educação e excelência o compromisso da minha vida. Também agradeço a você, Tayara Tavares de Sousa, minha irmã e amiga querida por todo o apoio, sou grata a Deus por ter você ao lado nessa existência.

Ao Gustavo Zomer, meu eterno amor e amigo. Obrigada pela compreensão, suporte e apoio incondicionais todos os dias, é por você que tudo vale a pena.

Ao meu orientador Professor Paulo A. Cauchick Miguel agradeço por me preparar para a vida. Obrigada por todo e cada ensinamento, por fazer parte da minha formação e da minha história. Cada conquista profissional é também graças a você, por quem terei sempre a mais profunda gratidão.

Agradeço também à Professora Lucila M. Souza Campos, um grande exemplo como pessoa, professora e pesquisadora. Sou imensamente grata pelos ensinamentos, e principalmente pelo suporte e apoio incondicionais. Obrigada pelos conselhos e orientações. Com você aprendi valores profissionais que não são ensinados na sala de aula, nos artigos e nos livros.

Não poderia deixar de expressar também minha profunda gratidão a todos os Professores do departamento de Engenharia de Produção da UFSC, em especial ao Nelson Casarotto Filho e Carlos Ernani Fries, pelos ensinamentos, suporte e apoio. Cada um de vocês tem um papel único na minha história e formação, com vocês aprendi não somente lições profissionais, mas lições de vida.

Meus especiais agradecimentos aos meus amigos e colegas da pós-graduação e da UFSC. A todos os demais que passaram pela minha vida durante esse período, muito obrigada.



## RESUMO

Sistemas produto-serviço (*Product-service systems* - PSS) têm sido discutidos como estratégias promissoras rumo à sustentabilidade. Entretanto, PSS não são necessariamente sustentáveis. O projeto de um PSS desempenha um papel fundamental na concepção de soluções sustentáveis e o potencial sustentável das soluções precisa ser avaliado durante as fases iniciais de projeto, antes de a solução ser colocada em prática nas fases subsequentes, sob uma perspectiva que considere todo o ciclo de vida de um PSS. Porém, existem lacunas de pesquisa sobre como avaliar o potencial de um PSS nas fases iniciais de projeto sob a perspectiva do ciclo de vida, principalmente no que diz respeito à dimensão social da sustentabilidade. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo propor uma abordagem para identificação e análise de possíveis impactos ambientais e sociais no ciclo de vida de um PSS durante as fases iniciais de projeto. A abordagem proposta é um método simplificado para avaliação do ciclo de vida e consiste em uma análise de *hotspots*, que busca identificar em quais fases do ciclo de vida impactos ambientais e sociais mais significativos podem ocorrer. A abordagem proposta foi estruturada em três principais macro-fases e nove etapas. A estruturação da proposta inclui a definição de aspectos de fronteiras do sistema a serem abordados (estruturação do ciclo de vida de um PSS, aspectos ambientais, categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social) e desenvolvimento do procedimento de análise, com base na literatura. Após a construção da proposta, esta foi avaliada por especialistas, e uma série de sugestões de melhorias foi feita. Com base em critérios pré-definidos, melhorias foram introduzidas na segunda versão da proposta. Essas melhorias envolveram a reestruturação das fases do ciclo de vida, consideração de aspectos ambientais adicionais e subcategorias de impacto social. A consulta com especialistas permitiu concluir que não há um consenso acerca de quais subcategorias de impacto social e grupos de *stakeholders* específicos são mais apropriados para abordagem nas fases iniciais de projeto, e que considerações acerca de categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social específicas para cada caso precisam ser feitas antes de proceder a aplicação da abordagem proposta, na fase de identificação das fronteiras do sistema. A consulta com especialistas também permitiu constatar que o processo de análise precisa ser guiado. Nesse sentido, um *checklist* para guiar a fase de análise de relevância (uma das fases da abordagem proposta) foi desenvolvido com base em outras publicações relacionadas. Finalmente,

uma aplicação fictícia da proposta foi realizada como exemplo para fins de demonstração de como ocorreria no caso de aplicação prática. A estruturação do exemplo permitiu concluir que, diante da necessidade de se obter informações acerca dos sistemas de referência para subsidiar a análise, para fins de aplicação prática da proposta será necessário aplicar a mesma em um contexto real de projeto a fim de identificar quais as limitações reais no momento de aplicação e retroalimentar a proposta com melhorias a partir das dificuldades identificadas no contexto real. A inclusão de aspectos econômicos à proposta, passíveis de análise nas fases iniciais de projeto, de forma a permitir uma avaliação holística considerando as três dimensões da sustentabilidade é uma perspectiva para trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** Sistemas produto-serviço. Sustentabilidade. Avaliação da sustentabilidade.

## ABSTRACT

*Product-service systems* (PSS) have been discussed as promising strategies towards *Sustainability*. However, a PSS is not necessarily a sustainable solution. The design process plays an important role in the development of sustainable PSS solutions. In addition, the *Sustainability* potential of a PSS needs to be assessed during the early design stages, before put the solution in practice in the next design stages, from a life cycle perspective. However, there is a lack of methods for PSS *Sustainability* assessment from a life cycle perspective to be applied during the early design stages, especially regarding the social dimension of *Sustainability*. Thus, this work proposes an approach for analyzing environmental and social impacts along the PSS life cycle in the early design stages. The proposed approach is a streamlined *life cycle assessment*, more specifically a *hotspots analysis* that aims to identify in which life cycle phases significant environmental and social impacts might occur. The *hotspots*-based approach was developed in three main phases and nine stages. The proposal's structure process includes system boundaries definition (*i.e.* PSS life cycle phases, environmental aspects, *stakeholders* categories and social impact subcategories) and the *analysis* procedure development, based on the literature. Afterward, the proposal was assessed by experts in the field, and a range of suggestions for improvements was proposed. Based on pre-defined criteria, improvements were made in the second version of the proposal. Those involved the consideration of new life cycle phases, additional environmental aspects, and social subcategories. Experts' evaluation showed that there is no agreement regarding which specific *stakeholders* categories and social impact subcategories are suitable to be applied in the early design stages. Specific *stakeholders'* categories and social subcategories should be considered by the design team, when the system boundaries are defined, before conducting the *hotspots analysis*. Moreover, the experts' evaluation demonstrated the *analysis* process should be guided. Therefore, a *checklist* was developed based on other publications to guide one of the phases of the assessment process. Finally, an example of the *hotspots*-based approach application was carried out, in order to demonstrate how the *analysis* process would occur in a real context. The example showed that, since the *analysis* process requires information regarding the reference systems, it is still necessary to apply the proposed approach empirically in a real context to identify difficulties faced by the design team when applying the

*hotspots analysis* and improve the proposed approach. The integration of economic aspects that can be analyzed in the early design stages is a direction for further research since this will allow a holistic evaluation considering the three *Sustainability* dimensions.

**Keywords:** *Product-service systems. Sustainability. Sustainability assessment.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das publicações sobre PSS e sustentabilidade no período analisado. ....	44
Figura 2 - Dimensões da sustentabilidade abordadas pelas publicações. ....	46
Figura 3 - Rede de co-autoria. ....	47
Figura 4 - Rede de co-ocorrência de termos. ....	48
Figura 5 - Evolução da pesquisa sobre projeto e avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço. ....	53
Figura 6 - Cruzamento da literatura analisada no trabalho. ....	72
Figura 7 - Estrutura metodológica, fases e etapas da pesquisa. ....	75
Figura 8 - Fases da pesquisa, procedimentos metodológicos e resultados (“entregas”). ....	77
Figura 9 - Visão geral dos estágios e passos adotados para condução da revisão da literatura. ....	80
Figura 10 - Estrutura hierárquica das dimensões, categorias de impacto ambiental e <i>stakeholders</i> e subcategorias de impacto social. ....	91
Figura 11 - Visão geral das etapas para condução da avaliação com especialistas. ....	95
Figura 12 - Procedimento de análise de conteúdo. ....	101
Figura 13 - Fases do ciclo de vida inicialmente consideradas. ....	110
Figura 14 - Aspectos ambientais, categorias de <i>stakeholders</i> e subcategorias de impacto social. ....	121
Figura 15 - Primeira versão da análise de <i>hotspots</i> proposta. ....	124
Figura 16 - Estruturação do ciclo de vida após avaliação dos especialistas. ....	129
Figura 17 - Segunda versão da análise de <i>hotspots</i> proposta. ....	155
Figura 18 - Mapa de operação do PSS de purificação de água orientado ao resultado. ....	160
Figura 19 - Ciclo de vida do purificador de água. ....	161
Figura 20 - Ciclo de vida das garrafas plásticas de PET. ....	163
Figura 21 - Processo produtivo do purificador de água. ....	165



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceitos de sistemas produto-serviço.....	35
Quadro 2 - Benefícios ambientais proporcionados pelo PSS.....	37
Quadro 3 - Principais benefícios econômicos do PSS para os provedores e consumidores.....	38
Quadro 4 - Principais benefícios sociais do PSS para os consumidores e sociedade.....	39
Quadro 5 - Trabalhos que abordam o ciclo de vida de um PSS e respectivas fases consideradas.....	41
Quadro 6 - Periódicos identificados com três ou mais publicações.....	45
Quadro 7 - Métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço.....	57
Quadro 8 - Principais lacunas e oportunidades de pesquisa sobre PSS e sustentabilidade.....	60
Quadro 9 - Métodos e ferramentas para integração às fases iniciais de projeto e que consideram a perspectiva do ciclo de vida.....	62
Quadro 10 - Categorias de <i>stakeholders</i> e subcategorias de impacto....	70
Quadro 11 - Dimensões consideradas na análise descritiva.....	81
Quadro 12 - Síntese dos pesquisadores selecionados para avaliação da proposta.....	96
Quadro 13 - Conjunto de perguntas do questionário de avaliação.....	98
Quadro 14 - Critérios utilizados para avaliação da proposta pelos especialistas.....	99
Quadro 15 - Informações levantadas sobre os sistemas de referência.....	106
Quadro 16 - Resultados relativos aos aspectos ambientais considerados na proposta.....	111
Quadro 17 - Subcategorias de impacto social do grupo de <i>stakeholders</i> “trabalhadores”.....	113
Quadro 18 - Subcategorias de impacto social resultantes para os <i>stakeholder</i> “consumidores”.....	114
Quadro 19 - Subcategorias de impacto social selecionadas para o <i>stakeholders</i> “comunidade local”.....	117
Quadro 20 - Subcategorias de impacto social selecionadas para o <i>stakeholders</i> “atores da cadeia de valor”.....	119
Quadro 21 - Subcategorias de impacto social selecionadas para o grupo de <i>stakeholders</i> “sociedade”.....	120
Quadro 22 - Exemplo de estruturação da análise de <i>hotspots</i> para dimensão social.....	122
Quadro 23 - Sugestões dadas especialistas no que diz respeito às fases do ciclo de vida da proposta.....	126

Quadro 24 - Melhorias realizadas no que diz respeito à estrutura do ciclo de vida. ....	129
Quadro 25 - Sugestões feitas pelos especialistas para as categorias de <i>stakeholders</i> . ....	130
Quadro 26 - Considerações acerca das sugestões de melhoria para as categorias de <i>stakeholders</i> . ....	131
Quadro 27 - Sugestões realizadas pelos especialistas para as subcategorias de impacto social. ....	133
Quadro 28 - Considerações acerca das sugestões de melhorias no que diz respeito às subcategorias de impacto social selecionadas. ....	137
Quadro 29 - Sugestões realizadas pelos especialistas para os impactos ambientais considerados. ....	140
Quadro 30 - Considerações acerca das sugestões de melhorias no que diz respeito aos aspectos ambientais selecionados. ....	141
Quadro 31 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos <i>hotspots</i> na dimensão ambiental. ....	147
Quadro 32 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos <i>hotspots</i> na dimensão social. ....	149
Quadro 33 - Outras sugestões de melhoria/comentários realizados pelos especialistas. ....	153
Quadro 34 - Aspectos comparativos. ....	157
Quadro 35 - Componentes de um purificador de água. ....	164
Quadro 36 - Materiais utilizados no purificador de água. ....	164
Quadro 37 - Reciclagem de materiais utilizados no purificador de água. ....	167
Quadro 38 - Atribuição de relevância para as fases do ciclo de vida na dimensão ambiental. ....	170
Quadro 39 - Análise de relevância para as fases do ciclo de vida na dimensão social. ....	172
Quadro 40 - Atribuição de escores na análise de relevância para os aspectos ambientais em cada fase do ciclo de vida. ....	173
Quadro 41 - Exemplo de análise de relevância para as subcategorias de impacto social em cada fase do ciclo de vida para a categoria de <i>stakeholders</i> “trabalhadores”. ....	175
Quadro 42 - Exemplo de identificação dos <i>hotspots</i> na dimensão ambiental. ....	177

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS - Acrilonitrila butadieno estireno  
ACV - Avaliação do ciclo de vida  
AHP - *Analytical Hierarchy Process*  
BoL - *Beginning of life*  
CAPES - Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior  
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral  
EoL - *End of life*  
ERPA - *The Environmentally Responsible Product Assessment Matrix*  
JCP - *Journal of Cleaner Production*  
LCA - *Life cycle assessment*  
LCC - *Life cycle costing*  
MoL - *Middle of life*  
MECO - *Material, energy e chemicals method*  
MEPSS - *Methodology for PSS*  
PET - Polietileno tereftalato  
PSS - *Product-service systems*  
QFD - *Quality Function Deployment*  
SHDB - *Social Hotspots Database*  
SHSA - *Sustainability Hotspots Analysis*  
SHDB - *Social Hotspots Database*  
SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*  
SLCA - *Social life cycle assessment*  
UNEP - *United Nations Environment Programme*  
WCED - *World Commission on Environment and Development*



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1 OBJETIVOS .....	26
1.2 JUSTIFICATIVA .....	27
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	30
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO: PSS E SUSTENTABILIDADE 33</b>	
2.1 SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO .....	34
<b>2.1.1 Ciclo de vida de sistemas produto-serviço.....</b>	<b>40</b>
2.2 ESTADO DA ARTE SOBRE SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO E SUSTENTABILIDADE.....	43
<b>2.2.1 Análise bibliométrica: sistemas produto-serviço e sustentabilidade .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.2 Análise de conteúdo: panorama e evolução da pesquisa sobre PSS e sustentabilidade .....</b>	<b>50</b>
2.2.2.1 Análise de conteúdo: panorama e evolução da pesquisa sobre PSS e sustentabilidade.....	55
2.2.2.2 Principais lacunas e oportunidades de pesquisa.....	59
2.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS PARA A VALIAÇÃO DOS IMPACTOS AO LONGO DO CICLO DE VIDA DURANTE AS FASES DE PROJETO .....	61
<b>2.3.1 Análise de hotspots no ciclo de vida de produtos e serviços.....</b>	<b>64</b>
<b>2.3.2 Avaliação do ciclo de vida social (SLCA).....</b>	<b>68</b>
2.4 SÍNTESE DA LITERATURA ANALISADA .....	72
<b>3 DELINEAMENTO DA PESQUISA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>75</b>
3.1 FASE I - ANÁLISE DA TEORIA EXISTENTE E FORMULAÇÃO DA OPORTUNIDADE DE PESQUISA .....	77
<b>3.1.1 Etapa 1 - Análise literatura sobre PSS e sustentabilidade .....</b>	<b>77</b>
<b>3.1.2 Etapa 2 - Análise da literatura sobre métodos de avaliação do ciclo de vida integrados ao projeto de produtos e seleção de uma abordagem como base para estruturação da proposta .....</b>	<b>83</b>
3.2 FASE II - DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL PARA CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA.....	86
<b>3.2.1 Etapa 3 - Definição das fases do ciclo de vida de um PSS a serem abordadas .....</b>	<b>86</b>
<b>3.2.2 Etapa 4 - Definição dos aspectos ambientais e subcategorias de impacto social a serem considerados na proposta .....</b>	<b>87</b>
<b>3.2.3 Etapa 5 - Estruturação da avaliação de relevância das fases do ciclo de vida, aspectos ambientais e subcategorias de impacto social.....</b>	<b>91</b>
<b>3.2.4 Etapa 6 - Estruturação da etapa de identificação e análise dos hotspots.....</b>	<b>93</b>
3.3 FASE III - CONSULTA COM ESPECIALISTAS E APLICAÇÃO SIMULADA .....	94

3.3.1 Etapa 7 - Estruturação e aplicação de uma consulta com especialistas.....	94
3.3.2 Etapa 8 - Retroalimentação da proposta com base na avaliação dos especialistas .....	100
3.3.3 Etapa 9 - Exemplo simulado de aplicação da proposta .....	103
<b>4 PROPOSTA PARA ANÁLISE DE <i>HOTSPOTS</i></b>	
<b>AMBIENTAIS E SOCIAIS NO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO .....</b>	<b>109</b>
4.1 ESTRUTURAÇÃO DA PRIMEIRA VERSÃO DA PROPOSTA PARA ANÁLISE DE <i>HOTSPOTS</i> .....	109
4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO REALIZADA POR ESPECIALISTAS E MELHORIAS REALIZADAS.....	125
4.2.1 Resultados da avaliação e melhorias na proposta no que diz respeito às fases do ciclo de vida de um PSS consideradas .....	125
4.2.2 Resultados da avaliação e melhorias na proposta no que diz respeito às categorias de <i>stakeholders</i> .....	130
4.2.4 Resultados da avaliação e melhorias na proposta no que diz respeito aos aspectos ambientais.....	140
4.2.5 Resultados da avaliação da estrutura da proposta e melhorias relacionadas .....	142
4.2.6 Síntese das melhorias realizadas e visão geral da segunda versão da proposta .....	154
4.2.7 Comparação da análise de <i>hotspots</i> proposta com a avaliação do ciclo de vida .....	156
4.3 DEMONSTRAÇÃO DE APLICAÇÃO DA PROPOSTA NO DESENVOLVIMENTO SIMULADO DE UM PSS.....	159
4.3.1 Primeira etapa: definição das fronteiras do sistema .....	160
4.3.2 Informações do ciclo de vida dos produtos de referência.....	163
4.3.2.1 Uso de matéria prima, fabricação do produto e implementação do serviço .....	163
4.3.2.2 Uso do PSS.....	165
4.3.2.3 Fim da vida útil.....	166
4.3.3 Categorias de <i>stakeholders</i> , subcategorias de impacto social e aspectos ambientais.....	168
4.3.4 Análise de relevância das fases do ciclo de vida .....	170
4.3.5 Análise de relevância dos aspectos ambientais e subcategorias de impacto social no ciclo de vida .....	172
4.3.6 Identificação dos <i>hotspots</i> no ciclo de vida .....	176
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>181</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>187</b>
<b>APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES SELECIONADAS PARA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E DE CONTEÚDO .....</b>	<b>207</b>
<b>APÊNDICE B - PROTOCOLO DE PESQUISA .....</b>	<b>215</b>
<b>APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO PARA CONSULTA</b>	

<b>COM ESPECIALISTAS .....</b>	<b>217</b>
<b>APÊNDICE D - RESULTADOS DO CÁLCULO DO ALFA DE CRONBACH.....</b>	<b>233</b>
<b>APÊNDICE E - SUBCATEGORIAS DE IMPACTO SOCIAL ANALISADAS.....</b>	<b>237</b>
<b>APÊNDICE F - PRODUÇÃO CIENTÍFICA RELACIONADA AO ASSUNTO DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>246</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas produto-serviço (*product-service systems* - PSS) têm sido amplamente discutidos na literatura como soluções promissoras para reorientação dos padrões atuais de produção e consumo rumo à sustentabilidade (MONT, 2002; UNEP, 2002; BAINES *et al.*, 2007; TUKKER, 2015). Trata-se de uma solução integrada que desloca o foco da produção e venda de produtos para a oferta de produtos e serviços que em conjunto são capazes de satisfazer as necessidades dos consumidores pela entrega de “valor em uso” (NEELY, 2009). O conceito de PSS enfatiza que as necessidades dos consumidores podem ser satisfeitas pela entrega de “funções” ao invés da venda e transferência da propriedade de produtos (BAINES *et al.*, 2007; SALAZAR; LELAH; BRISSAUD, 2015). Um PSS é considerado como um modelo de negócio (BOEHM; THOMAS, 2013; OVERHOLM, 2015), mais especificamente como um modelo de negócio sustentável (BOCKEN *et al.*, 2014).

Na realidade, o potencial sustentável de um PSS tem sido apontado como uma das características mais importantes das ofertas integradas de produtos e serviços (LEE *et al.*, 2012; QU *et al.*, 2016). No entanto, sistemas produto-serviço não são necessariamente soluções mais sustentáveis, uma vez que para ter potencial sustentável um PSS precisa ser devidamente desenvolvido (VEZZOLI *et al.*, 2015). Nesse sentido, o projeto de um PSS é um dos fatores mais influentes no desenvolvimento de soluções com alto potencial sustentável (VASANTHA; ROY; CORNEY, 2015; PIGOSSO; MCALOONE, 2016).

Para considerar um PSS como uma solução sustentável, é necessário avaliar o potencial sustentável das soluções caso a caso (AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014). Embora os sistemas produto-serviço sejam amplamente discutidos como soluções com potencial sustentável, seu efeito não tem sido sistematicamente mensurado (TASAKI; HASHIMOTO; MORIGUCHI, 2006; TUKKER; TISCHNER, 2006; LEE *et al.*, 2012). Em geral, as publicações acerca do tema abordam qualitativamente as contribuições do PSS para redução dos impactos ambientais, como redução no consumo de recursos bem como no uso (LEE *et al.*, 2012). Ainda há lacunas na literatura a respeito de como avaliar o quanto pode ser ganho com o PSS em termos ambientais, econômicos e sociais (LINDAHL; SUNDIN; SAKAO, 2014). Assim, a crescente importância do PSS como uma solução sustentável revela a necessidade de métodos e ferramentas para avaliar a

sustentabilidade das soluções, como apontam diversos trabalhos (e.g. LEE *et al.*, 2012; CHEN *et al.*, 2015; CHOU; CHEN; CONLEY, 2015; KIM *et al.*, 2016).

Na realidade, para conceber soluções sustentáveis, aspectos relativos à sustentabilidade devem ser incluídos o quanto antes no projeto de um PSS (MAUSSANG; ZWOLINSK.; BRISSAUD, 2009). Nas fases iniciais de projeto é importante considerar aspectos de custos e performance sustentável das soluções desenvolvidas (SCHOOGGL, BAUMGARTNER, HOFER; 2017). Conforme apontado por Wiesner *et al.* (2015), o potencial sustentável de um PSS é determinado nas fases iniciais do *beginning of life* (BoL), quando a solução é concebida. Uma avaliação criteriosa, considerando as três dimensões da sustentabilidade<sup>1</sup>, deve ser realizada ainda nas fases iniciais do projeto de um PSS, antes de proceder para o desenvolvimento detalhado da solução (CHEN *et al.*, 2015), sendo necessários métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de um PSS durante o seu desenvolvimento (DOUALLE *et al.*, 2016). Mesmo para o caso do desenvolvimento de produtos, devido às complexidades associadas ao seu ciclo de vida, a incorporação de aspectos ambientais, econômicos e sociais nas fases iniciais de projeto é necessária e requer o desenvolvimento de métodos e ferramentas (DEVANATHAN *et al.*, 2010; GREMYR *et al.*, 2014).

De fato, decisões tomadas nas fases iniciais de desenvolvimento podem afetar significativamente o potencial sustentável da solução (RAMANI *et al.*, 2010), uma vez que o projeto conceitual de um PSS tem impacto significativo na qualidade da solução final (SHIMOMURA; NEMOTO; KIMITA, 2015). Quanto mais cedo durante o projeto os impactos (econômicos, ambientais e sociais) de um PSS forem identificados e avaliados, maiores são as chances de direcionamento durante o projeto para minimização desses impactos (DOUALLE *et al.*, 2016). A maioria das abordagens para avaliação da sustentabilidade de um PSS disponíveis na literatura, no entanto, sugere que um PSS deve ser primeiramente desenvolvido, e depois avaliado, o que permite que apenas mudanças menos significativas possam ser realizadas, depois que um PSS já foi concebido (DOUALLE *et al.*, 2016). Na realidade, a avaliação da sustentabilidade de sistemas

---

<sup>1</sup> As dimensões da sustentabilidade dizem respeito às seguintes perspectivas (ou dimensões): (i) ambiental, (ii) econômica e (iii) social, de acordo com o Relatório Brundtland de 1987 (WCED, 1987).

produto-serviço, tanto nas fases iniciais de projeto, quanto após as soluções serem implementadas é um tema emergente de pesquisa (CHOU; CHEN; CONLEY, 2015).

Além disso, a transição para modelos de negócio focados em soluções integradas de produtos e serviços estende a responsabilidade do provedor de serviços por todo o ciclo de vida do produto e, por esta razão, também é necessário o desenvolvimento de métodos e técnicas de avaliação da sustentabilidade que considerem o ciclo de vida de um PSS, permitindo uma avaliação holística dos impactos ao longo deste ciclo (AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014; DOUALLE *et al.*, 2015; KIM *et al.*, 2016). Conforme já apontado por Amaya, Lelah e Zwolinski (2014) é necessário avaliar um PSS no seu ciclo de vida para garantir que os impactos não aumentem ao longo das fases (em decorrência, por exemplo, de serviços de manutenção). Além disso, uma vez que um PSS envolve uma rede de atores, é preciso também avaliar os impactos de um PSS sob a perspectiva de todos os *stakeholders* envolvidos na oferta durante o ciclo de vida (KIM *et al.*, 2016). Na realidade, a avaliação do potencial sustentável de um PSS deve envolver uma perspectiva holística do ciclo de vida, *stakeholders* envolvidos (KIM *et al.*, 2016) e além da dimensão econômica, as dimensões ambiental e social da sustentabilidade (LEE *et al.*, 2012). No entanto, no caso da dimensão social, os impactos sociais ainda ocupam uma posição inferior na avaliação de um PSS (HALME; JASCH; SCHARP, 2004; CHOU; CHEN; CONLEY, 2015; DOUALLE *et al.*, 2015). Porém, estes impactos também precisam ser considerados para uma avaliação completa do potencial sustentável desses modelos de negócio (CHOU; CHEN; CONLEY, 2015), uma vez que para ser considerado como uma solução sustentável as três dimensões da sustentabilidade devem ser consideradas (VEZZOLI *et al.*, 2015a).

Nesse sentido, são necessários métodos e ferramentas para avaliação dos impactos de um PSS, nas fases iniciais de projeto quando a solução está sendo concebida, de uma perspectiva que considere todo o ciclo de vida e as dimensões da sustentabilidade. Estas são, na verdade, consideradas lacunas de pesquisa na literatura sobre PSS, conforme apresentado anteriormente. Na realidade, conforme já apontado por Hallstedt, Bertoni e Isaksson (2015), a integração de avaliações da sustentabilidade e engenharia do produto/serviço a fim de suportar o processo de tomada de decisão durante as fases de projeto é um tema de pesquisa relevante, que necessita ser desenvolvido (HALLSTEDT; BERTONI; ISAKSSON, 2015). Desse modo, apresenta-se como uma oportunidade de pesquisa também na literatura

de sistemas produto-serviço, endereçada pelos objetivos geral e específicos apresentados na sequência.

## 1.1 OBJETIVOS

A partir dos argumentos anteriormente apresentados, o objetivo geral deste trabalho é propor uma abordagem para identificação e análise de possíveis impactos ambientais e sociais ao longo do ciclo de vida de sistemas produto-serviço durante as fases iniciais de projeto. O propósito é oferecer uma abordagem que permita identificar durante a concepção da solução de PSS possíveis impactos que podem ser gerados em decorrência dos produtos e serviços envolvidos, e dessa forma direcionar o projeto do sistema de forma a minimizar tais impactos e conceber soluções mais sustentáveis. Conforme apontado por Amaya, Lelah e Zwolinski (2014), um PSS precisa ser avaliado pela equipe de desenvolvimento durante o projeto para obter uma melhor compreensão do seu desempenho como uma solução mais sustentável, e desse modo o objetivo geral do trabalho é desenvolver uma abordagem para tal finalidade. Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Identificar, analisando a literatura de sistemas produto-serviço, aspectos relevantes que possibilitem a construção da abordagem proposta (*e.g.* as fases do ciclo de vida de um PSS, aspectos do escopo de avaliação que considerem os *stakeholders*, aspectos sociais e ambientais);
- Estruturar a proposta considerando os aspectos ambientais e sociais que serão levados em conta, bem como o procedimento de análise a ser realizado, com base em critérios pré-definidos;
- Avaliar a abordagem proposta (em termos dos elementos que constituem a proposta e requisitos de sua estrutura como sua utilidade, consistência, escopo, completeza, abrangência, etc.) por meio de uma consulta estruturada à especialistas, retroalimentando a proposta a partir de sugestões realizadas pelos mesmos;
- Desenvolver uma aplicação da abordagem proposta para um PSS, a fim de ilustrar como ocorreria na prática (advinda de/baseada em uma situação real).

A abordagem proposta nesse trabalho permitirá a identificação de *hotspots*<sup>2</sup> ao longo do ciclo de vida de um PSS durante as fases iniciais de projeto, como um primeiro passo para a elaboração de ações eficazes na busca por soluções mais sustentáveis. A presente proposta pretende contribuir para o projeto de soluções de PSS sustentáveis e justifica-se pela necessidade de métodos e ferramentas para tal finalidade, conforme apresentado a seguir na justificativa de relevância do trabalho.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Para que as soluções de PSS sejam bem sucedidas quando implementadas e apresentem potencial sustentável, as mesmas precisam ser devidamente desenvolvidas e avaliadas, como destacado por Lee *et al.* (2012) e, mais recentemente por, Kim *et al.* (2016). Na realidade, a avaliação de um PSS tem um papel fundamental na concepção de soluções com potencial sustentável (VASANTHA; ROY; CORNEY, 2015). Embora métodos e ferramentas para avaliação do potencial sustentável de um PSS venham sendo desenvolvidos (*e.g.* HU *et al.*, 2012; AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014; CHEN *et al.*, 2015; KIM *et al.*, 2016), conforme apontado por Chou, Chen, e Conley (2015), ainda há diversas lacunas que precisam ser endereçadas na concepção e avaliação de sistemas produto-serviço sustentáveis. Entre as abordagens disponíveis na literatura, poucas podem ser aplicadas para avaliação de um PSS integradas ao projeto (DOUALLE *et al.*, 2016), especialmente no que diz respeito às fases iniciais, e um número limitado de estudos considera a dimensão social da sustentabilidade (CHOU; CHEN; CONLEY, 2015). Porém, para ser considerado como uma solução realmente sustentável, além de benefícios ambientais e econômicos, um PSS deve promover melhorias nas condições sociais (VEZZOLI *et al.*, 2015), e avaliações considerando o potencial social das soluções de PSS também precisam ser realizadas (VASANTHA; ROY; CORNEY, 2015).

Devido a incertezas associadas às fases iniciais de projeto, novos métodos e ferramentas são necessários para permitir à equipe de projeto avaliar o potencial sustentável da solução em desenvolvimento (RAMANI *et al.*, 2010). De fato, aspectos relativos à sustentabilidade

---

<sup>2</sup> Os *hotspots* podem ser definidos como aspectos ambientais e sociais (considerados no presente trabalho e a serem explicados detalhadamente posteriormente) numa fase específica do ciclo de vida que assumem grande relevância no contexto de toda a cadeia (LIEDTKE *et al.*, 2013).

devem ser incorporados nas fases iniciais de projeto para garantir o desenvolvimento de soluções sustentáveis (BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012; ANDRIANKAJA *et al.*, 2015). No entanto, enquanto características ambientais e sociais dos produtos podem ser melhoradas nas fases iniciais de desenvolvimento, o conhecimento dessas características é limitado, o que dificulta a aplicação de métodos e ferramentas para avaliação do potencial sustentável das soluções, como avaliações do ciclo de vida (*life cycle assessment - LCA*) (SCHOOGGL; BAUMGARTNER; HOFER, 2017). Porém, uma avaliação nas fases iniciais de projeto de um PSS deve ser realizada antes da solução de PSS ser colocada em prática nas fases subsequentes, de forma a garantir que a solução terá um potencial sustentável (CHEN *et al.*, 2015).

Abordagens baseadas no ciclo de vida têm sido discutidas como relevantes para o projeto e avaliação de um PSS (*e.g.* DOUALLE *et al.*, 2015; KIM *et al.*, 2016; KJAER *et al.*, 2016). De fato, o planejamento desde as fases iniciais de projeto centrado no ciclo de vida “*the life cycle thinking*”, é essencial para mudanças nos padrões atuais de produção e consumo rumo à sustentabilidade (PARENT; CUCUZZELLA; REVÉRET 2013). O planejamento centrado no ciclo de vida também é relevante e necessário para o desenvolvimento de soluções de PSS sustentáveis (MAXWELL; SHEATE; VAN DER VORST, 2006). Abordagens baseadas no ciclo de vida incorporam o conceito de ciclo de vida ao longo do processo de desenvolvimento de produto/serviços e permitem evitar que os impactos sejam transferidos de uma fase do ciclo de vida para a fase subsequente, bem como de uma categoria de impacto para outra (SALAZAR; LELAH; BRISSAUD, 2015). O desenvolvimento de soluções centradas no ciclo de vida é essencial para alcançar benefícios ambientais, econômicos e sociais, e a integração de aspectos socioeconômicos no desenvolvimento centrado no ciclo de vida é uma lacuna de pesquisa que precisa ser endereçada, mesmo no caso do desenvolvimento de produtos (RAMANI *et al.*, 2010). No caso de sistemas produto-serviço, na realidade, uma avaliação confiável do potencial sustentável de um PSS pode ser alcançada apenas se for considerado o ciclo de vida completo de um PSS e se forem investigados os impactos em cada fase do ciclo de vida (PERUZZINI; GERMANI, 2014). No entanto, a perspectiva do ciclo de vida não tem sido considerada suficientemente na literatura, e as fases do ciclo de vida devem ser abordadas pelos métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de um PSS (KIM *et al.*, 2016).

Nesse sentido, diante dos argumentos expostos pela literatura, justifica-se a necessidade do desenvolvimento de métodos e ferramentas

que permitam avaliação do potencial das soluções de PSS nas fases iniciais de projeto de uma perspectiva do ciclo de vida, principalmente no que diz respeito aos impactos sociais<sup>3</sup> que são ainda pouco abordados por estudos anteriores e são necessários para concepção de soluções realmente sustentáveis (VASANTHA; ROY; CORNEY, 2015). Métodos simplificados<sup>4</sup> para avaliação do ciclo de vida (*streamlined life cycle assessment*) têm sido discutidos na literatura de produtos como adequados para serem aplicados quando decisões estratégicas precisam ser tomadas durante o projeto, mas não se dispõe de informações detalhadas, como no caso das fases iniciais de desenvolvimento de produtos e serviços (ARENA; AZZONE; CONTE, 2013). Recentemente, avaliações simplificadas do ciclo de vida têm sido apontadas como relevantes para aplicação durante o projeto de um PSS (KJAER *et al.*, 2016), mas ainda há uma escassez de trabalhos abordando essa oportunidade de pesquisa, o que justifica sua consideração no presente trabalho.

Do ponto de vista de implementação prática, embora diversos métodos e ferramentas venham sendo desenvolvidos, a aplicação prática dessas abordagens ainda é limitada (BOEHM; THOMAS, 2013). As empresas precisam desenvolver novas competências, habilidades e experiências, em relação ao projeto de soluções de PSS sustentáveis (VEZZOLI *et al.*, 2015). Na realidade, é necessário transferir o conhecimento teórico para o nível prático para ser implementado pelas empresas e designers (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2016). Abordagens simplificadas do ciclo de vida são mais simples de aplicação (ANDRIANKAJA *et al.*, 2015), o que pode proporcionar maior aplicação prática.

Além disso, avaliações do potencial sustentável durante as fases iniciais de projeto podem ser úteis para análise e comparação dos impactos ao longo do ciclo de vida de diferentes categorias de PSS, uma vez que o potencial sustentável das soluções de PSS pode variar conforme o tipo de oferta (WANG *et al.*, 2011; TUKKER, 2015), porém ainda há uma escassez de publicações que analisam comparativamente o

---

<sup>3</sup> O termo “impactos sociais” significa conseqüências de pressões positivas ou negativas sobre parâmetros sociais (UNEP/SETAC, 2009).

<sup>4</sup> Métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida são abordagens que simplificam o conceito de uma avaliação completa do ciclo de vida (ANDRIANKAJA *et al.*, 2015), adotando procedimentos distintos de simplificação que variam de acordo com o propósito do estudo (TODD; CURRAN, 1999).

potencial sustentável de diversas categorias de PSS (e.g. TUKKER, 2004; TUKKER; TISCHNER, 2006; TUKKER, 2015). A análise dos impactos ao longo do ciclo de vida durante as fases iniciais de projeto pode contribuir para comparação entre as diversas opções de categorias de sistemas produto-serviço. Além disso, a análise dos possíveis impactos nas fases iniciais de projeto é recomendada para subsidiar o processo de tomada de decisão e concepção da solução com o melhor potencial sustentável, conforme os produtos e serviços envolvidos e fases do ciclo de vida.

Na realidade, a realização de mudanças nas fases subseqüentes de projeto é tecnicamente complicada e acarreta em custos adicionais, e por isso a equipe de projeto deve ter conhecimento, nas fases iniciais de projeto, das diferentes alternativas e *trade-offs* associados (BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012). Nesse sentido, o desenvolvimento da abordagem simplificada para avaliação do ciclo de vida proposta no presente trabalho se justifica como adequada para endereçar as lacunas ao nível de projeto (teórico) e implementação prática. A seção a seguir apresenta como esta dissertação foi estruturada para o desenvolvimento do método proposto.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. Além deste capítulo que apresenta as considerações iniciais do trabalho, o Capítulo 2 apresenta o estado da arte no que diz respeito à literatura de PSS e sustentabilidade, e identificação da principal oportunidade de pesquisa endereçada na dissertação. A partir da oportunidade de pesquisa identificada (*i.e.* necessidade de métodos e ferramentas para avaliação do potencial de um PSS da perspectiva do seu ciclo de vida, integrados às fases iniciais de projeto), a literatura de métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida durante o projeto de produtos e serviços também foi analisada para fornecer subsídios para estruturação da proposta do trabalho. A partir da análise da literatura sobre métodos simplificados, a “análise de *hotposts*” foi identificada como adequada para servir como base para a estruturação da proposta da dissertação. O principal resultado do capítulo é um panorama geral da literatura sobre PSS e sustentabilidade, e síntese dos principais métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida que podem ser aplicados às fases de projeto de produtos e serviços.

Na seqüência, o Capítulo 3 apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos adotados para condução do trabalho, ou

seja, descreve como a abordagem proposta nesta dissertação foi desenvolvida. O capítulo descreve as três principais fases da pesquisa, subdivididas em: (i) análise da teoria existente, (ii) desenvolvimento conceitual, e (iii) verificação da proposta, bem como detalha suas respectivas etapas.

A estruturação da proposta é apresentada no Capítulo 4, onde são expostos os resultados do trabalho. Essa estruturação é composta por quatro etapas: (i) definição das fases do ciclo de vida de um PSS, (ii) definição dos aspectos na dimensão ambiental (*i.e.* os aspectos que serão analisados ao longo do ciclo de vida), definição das categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto a serem consideradas na dimensão social (*i.e.* os aspectos que serão analisados ao longo do ciclo de vida do ponto de vista dos *stakeholders* envolvidos em um PSS), (iii) estruturação da etapa de análise de relevância das fases do ciclo de vida, categorias e subcategorias e, finalmente, (iv) estruturação da etapa de identificação e análise dos *hotspots*. Todas as etapas foram baseadas na literatura de análise de *hotspots*, adotada como ponto de partida para estruturação da proposta do trabalho, e em publicações sobre avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço. Após a estruturação da análise de *hotspots*, uma consulta com especialistas da área (pesquisadores das áreas de sistemas produto-serviço e avaliação da sustentabilidade) foi realizada para verificação da análise de *hotspots* desenvolvida considerando diversos critérios, e os mesmos fizeram uma série de sugestões de melhorias. As sugestões foram analisadas e as sugestões alinhadas com critérios estabelecidos para sua consideração serviram de subsídios para retroalimentação do trabalho. Uma segunda versão da proposta após melhorias é então apresentada na sequência do capítulo. Por fim, o Capítulo 4 apresenta um exemplo de aplicação da análise de *hotspots* para o desenvolvimento fictício de um PSS orientado ao resultado, para fins de demonstração de aplicação prática em situação de projeto. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as principais conclusões e contribuições do trabalho, bem como as limitações e perspectivas para trabalhos futuros.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO: PSS E SUSTENTABILIDADE

Este capítulo apresenta as bases teóricas da dissertação, iniciando com o conceito de sistemas produto-serviço e principais benefícios ambientais, econômicos e sociais desses modelos de negócio. Inicialmente uma análise da literatura (revisão narrativa<sup>5</sup>) foi conduzida, e foi constatado que as publicações em geral discutem o PSS como uma solução sustentável e optou-se por explorar esse eixo da literatura sobre sistemas produto-serviço. Uma revisão sistemática da literatura sobre PSS e sustentabilidade foi então realizada, e uma análise descritiva e de conteúdo são apresentadas, bem como as principais lacunas de pesquisa sobre o tema.

Uma vez que o desenvolvimento de métodos para avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço foi identificado como uma lacuna de pesquisa na literatura sobre PSS e sustentabilidade, os principais métodos e ferramentas disponíveis na literatura são sumarizados. Com a análise da literatura sobre avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço e identificação dos métodos e ferramentas existentes para avaliar o potencial sustentável de um PSS, a oportunidade de pesquisa foi formulada (necessidade de métodos e ferramentas para avaliação de um PSS, de uma perspectiva que considere o seu ciclo de vida, integrada ao projeto).

A partir da definição da oportunidade de pesquisa, a literatura sobre métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida de produtos e serviços foi analisada, para identificação dos métodos disponíveis para avaliações simplificadas do ciclo de vida nas fases iniciais de projeto aplicadas ao desenvolvimento de produtos e serviços. A partir da análise dessa literatura, identificou-se a “análise de *hotspots*” como adequada para estruturação de uma proposta para avaliação do ciclo de vida de um PSS nas fases iniciais de projeto. Finalmente, a literatura sobre análise de *hotspots* também foi revista, uma vez que serviu de subsídios para estruturação da proposta do trabalho. A seguir, são introduzidos o conceito de PSS sustentáveis e os principais benefícios desses modelos de negócio, extraídos da revisão sistemática da literatura conduzida.

---

<sup>5</sup> A revisão narrativa busca identificar o que foi escrito sobre um assunto ou tema. Não há tentativa de generalização ou conhecimento acumulado. As análises narrativas são geralmente seletivas, não implicam uma busca sistemática e abrangente de toda literatura relevante. Geralmente não fornecem explicações de como o processo de revisão foi conduzido (PA RÉ *et al.*, 2015).

## 2.1 SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO

De acordo como Goedkoop *et al.* (1999), um sistema produto-serviço pode ser definido como uma oferta integrada de produtos, serviços, rede de atores e infraestrutura de apoio que continuamente se esforça para ser competitivo, satisfazer as necessidades dos consumidores e apresentar menores impactos ambientais que os modelos de negócio tradicionais. Sistemas produto-serviço são um caso especial de servitização (BAINES *et al.*, 2007). Na realidade, sistemas produto-serviço correspondem a uma oferta que entregam valor em uso, enquanto servitização envolve inovação das capacidades e processos de uma organização para criação de valor mútuo através de uma mudança da venda de produtos para a oferta de sistemas produto-serviço (NEELY, 2009).

Um PSS possui quatro elementos essenciais (MONT, 2004): (i) produtos (artefatos tangíveis do sistema); (ii) serviços (necessários para tornar os produtos disponíveis (serviços de aluguel, compartilhamento, etc.) e serviços para gerenciar os produtos durante e no fim de sua vida útil); (iii) rede de atores (compreende todos os atores envolvidos na entrega de um PSS); e (iv) infraestrutura (inclui os sistemas coletivos e privados necessários para operação do sistema).

Os sistemas produto-serviço também são comumente classificados em três categorias principais (TUKKER, 2004): (i) orientado ao produto, (ii) orientado ao uso, e (iii) orientado ao resultado. Em PSS orientados ao produto, o modelo de negócio tradicional de venda de produtos é mantido, agregando-se alguns serviços extras. Em PSS orientados ao uso, o produto tradicional ainda desempenha o papel principal no processo, mas o modelo de negócio não é voltado para a venda de produtos, permanecendo os mesmos sob propriedade do provedor. Soluções de PSS orientados ao resultado objetivam a entrega de um resultado ao consumidor. O provedor mantém a propriedade do produto e o usuário paga pela prestação dos resultados acordados. Dentre as principais categorias discutidas anteriormente, diversas subcategorias de sistemas produto-serviço se inserem, conforme sugerido por Tukker (2004).

O potencial sustentável, principalmente no que diz respeito aos benefícios ambientais, tem sido apontado na literatura desde que o conceito de PSS foi introduzido pela primeira vez por Goedkoop *et al.* (1999). O conceito de um PSS como solução sustentável tem evoluído com diversas definições, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Conceitos de sistemas produto-serviço.

Referência	Conceito
Mont (2004)	“Um PSS é um sistema de produtos, serviços, rede de atores e infraestrutura que são desenvolvidos para serem competitivos, satisfazer as necessidades dos consumidores e ter um menor impacto ambiental que os modelos de negócio tradicionais”
Vezzoli; Penin (2006)	“Um PSS sustentável é um modelo radical e inovador em busca da sustentabilidade”
Ceschin (2013)	“Um PSS eco-eficiente desassocia o valor econômico do consumo de energia e materiais”
Chou; Chen; Conley (2015)	“Um PSS sustentável significa soluções combinadas de produto e serviço que geram valor ao consumidor e satisfazem os requisitos de sustentabilidade ao mesmo tempo”
Vezzoli <i>et al.</i> (2015)	“Um PSS sustentável pode ser definido como um modelo de negócio que oferece um mix integrado de produtos e serviços que em conjunto são capazes de satisfazer as necessidades dos consumidores, baseados em inovações interativas entre os <i>stakeholders</i> da cadeia de valor, onde os interesses competitivos dos provedores buscam soluções socialmente e ambientalmente benéficas”
Anarelli, Battistella, Nonino (2016)	“Um PSS é um modelo de negócio focado na provisão de produtos e serviços, desenvolvidos para serem economicamente, ambientalmente e socialmente sustentáveis, com o objetivo final de satisfazer as necessidades dos consumidores”

Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

Nota: estas definições foram escolhidas por abordarem aspectos de sustentabilidade de um PSS.

Conforme apresentado no Quadro 1, inicialmente o conceito de PSS enfatizava os benefícios ambientais desses modelos de negócio. Mais recentemente, o conceito de PSS como solução sustentável passou a abordar as dimensões econômica e social da sustentabilidade. Sistemas produto-serviço também podem ser definidos como “modelos de negócios sustentáveis” (BOONS *et al.*, 2013; BOCKEN *et al.*, 2014), no sentido que são sistemas destinados a entregar propostas de valor que, simultaneamente, atendem as necessidades econômicas, ambientais e

sociais concentrando-se na funcionalidade final a ser atendida ou a satisfação das necessidades dos consumidores (HANNON; FOXON; GALE, 2015). O aspecto chave desses modelos de negócio é que, se devidamente concebidos, as soluções de PSS têm potencial para desassociar o valor econômico do consumo de recursos e propriedade de produtos, e assim tem um potencial sustentável (CESCHIN, 2013). As soluções de PSS com potencial para redução de impactos ambientais podem ser definidas como modelos de PSS eco-eficientes (UNEP, 2002; CESCHIN, 2014a) onde os interesses econômicos dos atores convergem com o interesse de otimizar o consumo de recursos naturais. O projeto e implementação em grande escala de soluções de PSS sustentáveis, que abordam além da dimensão ambiental as dimensões econômica e social, têm sido extensivamente discutidos na literatura como abordagens promissoras para transição para uma sociedade sustentável (CESCHIN, 2013; LIEDTKE *et al.*, 2015).

É importante ressaltar, no entanto, que nem todos os modelos de PSS são eco-eficientes ou sustentáveis (PIGOSSO; MCALOONE, 2016), uma vez que um PSS precisa ser especificamente concebido, desenvolvido e entregue para atingir um potencial sustentável (VEZZOLI *et al.*, 2015). Em primeiro lugar, um PSS deve ser concebido de forma a proporcionar benefícios econômicos a todos os atores envolvidos na oferta (CESCHIN, 2014b). O desempenho ambiental de um PSS depende da concepção do sistema e da incorporação de critérios ambientais nas fases iniciais de projeto, pois somente a entrega de “funções” ao invés de produtos não garante melhorias ambientais (MONT, 2004; GAZIULUSOY, 2015). A dimensão social considera os impactos sociais que serão gerados a todos os atores, tais como geração de empregos, bem estar e segurança (LEE *et al.*, 2012; XING; NESS; LIN, 2013).

A configuração dos elementos de um PSS (*i.e.* produtos, serviços, atores e infraestrutura) e a interação de todas as partes interessadas constitui o ponto de partida para alcançar benefícios ambientais, e é somente através do projeto adequado dos elementos do sistema que esses benefícios podem ser alcançados (CESCHIN, 2014b). O desenvolvimento de soluções de PSS como um sistema integrado apresenta potencial para gerar alternativas que apresentam inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais, e diversos benefícios têm sido discutidos pelas publicações. O Quadro 2 apresenta os principais benefícios ambientais que podem ser proporcionados pelas soluções de PSS identificados nas publicações.

Quadro 2 - Benefícios ambientais proporcionados pelo PSS.

Benefícios ambientais	Referências
Redução do número de produtos produzidos pela introdução de cenários alternativos de uso	Mont (2002; 2004); Beuren; Ferreira; Cauchick-Miguel (2013)
Otimização do consumo de materiais e energia	UNEP (2002); Manzini; Vezzoli (2003); Evans; Partidário; Lambert (2007); Bocken <i>et al.</i> (2014)
Redução do uso de recursos renováveis	Baines <i>et al.</i> (2007); Vezzoli (2007); Bocken <i>et al.</i> (2014)
Aumento do ciclo de vida dos produtos por meio da realização de serviços de manutenção, reparo, etc.	UNEP (2002); Vezzoli (2007); Bocken <i>et al.</i> (2014)
Uso intensivo dos produtos por mais consumidores	Vezzoli (2007); Ceschin (2014b)
Uso de tecnologias mais eficientes	Mont (2004); Ceschin (2014b)

Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

Do ponto de vista econômico, a colaboração entre os diversos atores proporciona uma série de vantagens econômicas (MONT, 2004). Para as empresas, a transição para o PSS oferece oportunidades de mercado, melhoria do posicionamento estratégico e aumento da competitividade (BAINES *et al.*, 2007; NEELY, 2009). O relacionamento com os consumidores é melhorado através do contato mais freqüente com os mesmos, possibilitando uma melhor compreensão de suas necessidades (MANZINI; VEZZOLI; CLARK, 2001), bem como permitindo que as empresas sejam capazes de responder de forma mais rápida às mudanças de mercado (UNEP, 2002). Para os consumidores e sociedade em geral, estes modelos de negócio proporcionam satisfação sem a necessidade de aquisição de produtos (CESCHIN, 2014b). O Quadro 3 sintetiza alguns dos principais benefícios econômicos proporcionados pelo PSS para as empresas e consumidores/sociedade.

As soluções de PSS também podem oferecer benefícios sociais para os consumidores e sociedade em geral, uma vez que pela entrega de funções ao invés da venda de produtos permitem que mais consumidores

tenham acesso ao uso de produtos previamente inacessíveis pelo custo de aquisição (CESCHIN, 2014b).

Quadro 3 - Principais benefícios econômicos do PSS para os provedores e consumidores.

Benefícios econômicos	Atores	Referências
Oportunidades de mercado e melhoria no posicionamento estratégico	Provedor	UNEP (2002); Baines <i>et al.</i> , (2007); Neely (2009); Ceschin (2014b)
Competitividade pela oferta de soluções que permitem oferecer menor preço ao consumidor	Provedor	Mont; Tukker (2006); Tukker; Tischner (2006); Baines <i>et al.</i> (2007)
Redução de custos pela entrega de valor com menor uso de materiais e energia	Provedor	Manzini; Vezzoli (2003); Baines <i>et al.</i> (2007)
Acesso às funções de produtos com menor custo, previamente inacessíveis devido ao custo	Consumidor	Mont; Tukker (2006); Ceschin (2014b)
Valor adicionado para os consumidores pela satisfação de suas necessidades sem necessidade de aquisição de produtos	Consumidor	UNEP (2002); Mont (2004); Ceschin (2014b)
Fidelidade dos consumidores	Provedor	UNEP (2002); Mont; Tukker (2006)

Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

Com enfoque na “satisfação” do consumidor, os modelos de PSS também apresentam potencial para geração de soluções benéficas especialmente em países emergentes e contextos de baixa renda (DEVISSCHER; MONT, 2008; CHOU; CHEN; CONLEY, 2015; VEZZOLI; CESCHIN, DIEHL, 2015). O Quadro 4 apresenta os principais benefícios sociais que podem ser gerados pelas soluções de PSS para os consumidores e sociedade.

Quadro 4 - Principais benefícios sociais do PSS para os consumidores e sociedade.

Benefícios sociais	Atores	Referências
Melhoria da qualidade de vida pela oferta de soluções com foco nas necessidades e no valor entregue	Consumidor	Tukker; Tischner (2006); Ceschin (2014b)
Aumento da satisfação pelo envolvimento do consumidor no desenvolvimento e customização da oferta	Consumidor	Tukker; Tischner (2006); Ceschin (2014b)
Não requer a compra de produtos, possibilitando maior acesso para consumidores com menor poder aquisitivo e regiões emergentes e com poucas possibilidades econômicas	Consumidor	UNEP (2002); Vezzoli; Ceschin; Diehl (2015)
Educação dos consumidores para uso dos produtos e reorientação dos atuais padrões de produção e consumo	Consumidor	Mont (2004); Bocken <i>et al.</i> (2014)
Aumento dos empregos gerados localmente e melhoria das competências locais, devido ao enfoque nas relações com consumidor intensificadas	Sociedade	UNEP (2002) Bocken <i>et al.</i> (2014)
Criação de novas oportunidades de negócio para os empreendedores locais	Sociedade	Tukker; Tischner, (2006); Partidário; Lambert; Evans (2007); Ceschin (2014b)
Enfoque na economia local, pois são modelos de negócio focados no contexto de utilização	Sociedade	Tukker; Tischner (2006); Vezzoli (2007)

Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

Conforme já mencionado, uma vez que nem todas as soluções de PSS podem ser consideradas como soluções “sustentáveis”, é necessário desenvolver critérios, métodos e ferramentas para concepção e avaliação do potencial sustentável de um sistema produto-serviço (VEZZOLI *et al.*, 2015). O projeto de um PSS desempenha um papel central na concepção de soluções sustentáveis (PIGOSSO; MCALOONE, 2016).

Como um sistema, o desenvolvimento e avaliação de um PSS requerem novas considerações, uma vez que o componente serviço introduz novas exigências, entre as quais a necessidade de considerar um PSS da perspectiva do seu ciclo de vida (CAVALIERI; PEZZOTTA; SHIMOMURA, 2012; KIM *et al.*, 2016) e a integração de métodos e técnicas para avaliação do potencial sustentável de um PSS durante as fases de projeto (DOUALLE *et al.*, 2016). A seção a seguir apresenta uma análise da literatura no que diz respeito à consideração do ciclo de vida de um PSS pelas publicações.

### **2.1.1 Ciclo de vida de sistemas produto-serviço**

Apesar de a literatura demonstrar que sistemas produto-serviço precisam ser desenvolvidos e avaliados da perspectiva do seu ciclo de vida (TRAN; PARK, 2016), o ciclo de vida completo de um PSS tem sido pouco abordado na literatura até o momento (KIM *et al.*, 2016). Poucos trabalhos têm discutido o ciclo de vida de um PSS de maneira integrada, considerando o ciclo de vida de produtos e serviços (*e.g.* AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006; TAN; MCALOONE; ANDREASEN; 2006; YANG; XING; LEE, 2010a,b; WIESNER *et al.*, 2015). Um PSS precisa ser planejado e desenvolvido com conhecimento de sua *performance* ao longo do ciclo de vida (VASANTHA *et al.*, 2012; STARK *et al.*, 2014), principalmente no que diz respeito ao potencial sustentável.

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada para identificar o estado da arte acerca do ciclo de vida de um PSS. Trabalhos que considerassem o desenvolvimento de um PSS do ponto de vista do seu ciclo de vida e trabalhos que considerassem a avaliação de um PSS do ponto de vista do seu ciclo de vida foram selecionados para análise. Os principais trabalhos (considerando apenas publicações provenientes de periódicos revisados por pares) e as respectivas fases do ciclo de vida de um PSS abordadas pelos mesmos são apresentados no Quadro 5.

O ciclo de vida de um PSS tem sido discutido de perspectivas diferentes, mas as fases do ciclo de vida consideradas nos trabalhos relacionam-se em sua grande maioria com o ciclo de vida do produto, sendo predominantemente focados em sistemas produto-serviço orientados ao produto, conforme a classificação de sistemas produto-serviço proposta por Tukker (2004), apresentada anteriormente.

Quadro 5 - Trabalhos que abordam o ciclo de vida de um PSS e respectivas fases consideradas.

Fases do ciclo de vida de um PSS consideradas	Referências
Concepção, extração de matéria prima, produção, distribuição, uso e fim da vida útil	Maxwell; Van Der Vorst (2003)
Identificação da demanda, análise de viabilidade, desenvolvimento do conceito, modelagem de serviços, planejamento de realização, teste dos serviços	Aurich; Fuchs; Wagenknecht (2006)
Planejamento e desenvolvimento, fabricação do produto, realização dos serviços correspondentes	Aurich <i>et al.</i> (2009)
Fabricação, manutenção, transporte e remanufatura	Sundin; Lindahl; Ijomah (2009)
Desenvolvimento, fabricação, realização, disposição ao consumidor, uso, reciclagem e fim de vida	Meier; Roy; Seliger (2010)
Fabricação, transporte, instalação e utilização	Lelah; Mathieu x; Brissaud (2011)
Extração dos recursos, <i>design</i> , fabricação, venda/distribuição, utilização, manutenção, fim do uso do produto	Zhu <i>et al.</i> (2012)
Planejamento, desenvolvimento, implementação, operação e fim da vida útil	Song <i>et al.</i> (2013)
Planejamento e desenvolvimento, implementação, operação	Abramovici <i>et al.</i> , (2014)
Extração de materiais, fabricação do produto, distribuição, uso (estágios de <i>stand-by</i> , uso e manutenção)	Amaya; Lelah; Zwolinski (2014)
Planejamento, desenvolvimento, implementação, operação e fim da vida útil	Lagemann; Dorka; Meyer (2014)
Definição do conceito, design integrado, produção, implementação, criação, uso, fim da vida	Peruzzini; Germani (2014)
Definição do conceito, uso, oferta do serviço, manutenção, a reutilização, remodelamento, eliminação	Herterich; Uebemickel; Brenner (2015)
Extração, produção, transporte, vendas, instalação, utilização, manutenção e eliminação	Nemoto; Akasaka; Shimomura (2015)
Ideação, identificação dos requisitos, <i>design</i> , realização, entrega, suporte, evolução	Wiesner <i>et al.</i> (2015)

Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

O ciclo de vida de modelos de PSS classificados nas outras duas principais categorias (*i.e.* PSS orientados ao uso e PSS orientados ao resultado), ainda são pouco abordados na literatura. Nos modelos de PSS orientados ao uso e ao resultado, o componente do serviço é considerado o core do sistema enquanto os produtos físicos são apenas os “meios” para prestação dos serviços (YANG *et al.*, 2010b; ZHU *et al.*, 2012). Cada categoria tem um ciclo de vida geral de planejamento, desenvolvimento, implementação operação e final da vida útil, que é determinado pelas fases dos ciclos de vida do produto/serviço (SONG *et al.*, 2013). Porém, a literatura até o momento do fechamento do presente trabalho, não apresenta um ciclo de vida específico para cada categoria de PSS com base nas características específicas de cada tipo de PSS.

Na realidade, o ciclo de vida de um PSS precisa levar em consideração três grandes fases (CAVALIERI; PEZZOTTA; SHIMOMURA, 2012): (i) início da vida ou *beginning of life* (BoL), (ii) meio da vida ou *middle of life* (MoL) e (iii) fim da vida ou *end of life* (EoL). O ciclo de vida de um PSS considerado no presente trabalho inicia com a fase de “ideação” (geração de ideias), onde o conceito de uma solução integrada de produtos e serviços é planejado. A partir do conceito da solução a ser criada, os requisitos dos clientes, que se tornaram os requisitos do PSS são então identificados. A partir dos requisitos identificados o PSS pode ser desenvolvido, considerando todos os elementos de um PSS (*i.e.* produtos, serviços, rede de atores e infraestrutura), envolvendo projeto conceitual e detalhado. Uma vez que o PSS é planejado, o produto passa a ser desenvolvido (fabricado) para a solução posteriormente ser implementada e disponibilizada ao consumidor. As fases de implementação e entrega envolvem a operação do sistema. O “meio” do ciclo de vida (*middle of life*) envolve o uso e também inclui uma fase de suporte durante a entrega da oferta, onde os serviços de suporte para entrega da função do sistema (*e.g.* manutenção) são realizados.

Além disso, um PSS deve ser monitorado durante a fase de uso, para análise do comportamento de uso do consumidor e avaliação dos impactos ambientais decorrentes do uso. Na realidade, um PSS precisa ser suportado para manter a sua funcionalidade, disponibilidade e resultados aos consumidores (WIESNER *et al.*, 2015). O fim da vida de um PSS diz respeito ao PSS após utilização pelos consumidores, e inclui substituição, reciclagem e devolução dos produtos (ZHU *et al.*, 2012). Alguns componentes do produto serão reutilizados em novos produtos e as partes não reutilizáveis são recicladas (ZHU *et al.*, 2012). Na

realidade, no caso de um PSS não atender mais à sua aplicação e finalidade, a oferta entra em um estágio de evolução, retornando para o início do ciclo de vida (WIESNER *et al.*, 2015).

Tran e Park (2016) consideram que abordagens de projeto do ciclo de vida de um PSS precisam envolver as fases de geração da ideia (ideação), planejamento, definição dos requisitos, desenvolvimento do conceito, projeto detalhado, testes, implementação e suporte, retirada e reciclagem (TRAN; PARK, 2016). No presente trabalho consideram-se como relevantes para fins de aplicação da abordagem proposta (*i.e.* para identificação dos *hotspots* ao longo do ciclo de vida) as fases subsequentes ao projeto de um PSS, do ponto de vista do provedor, pois é a partir da fabricação do produto que os principais impactos são gerados, conforme já apontado por Peruzzini e Germani (2014). Sobre a avaliação da sustentabilidade de um PSS do ponto de vista que considere seu ciclo de vida, uma análise da literatura sobre PSS e sustentabilidade foi conduzida, e a seção a seguir apresenta o estado da arte no que diz respeito a como a sustentabilidade tem sido considerada na literatura de sistemas produto-serviço.

## 2.2 ESTADO DA ARTE SOBRE SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO E SUSTENTABILIDADE

Diversas publicações têm demonstrado o panorama atual da pesquisa sobre sistemas produto-serviço (*e.g.* BAINES *et al.*, 2007; BEUREN; FERREIRA; CAUCHICK-MIGUEL, 2013; VASANTHA; ROY; CORNEY, 2015; ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; QU *et al.*, 2016), mas não foi identificado, até o momento, trabalhos de revisão de literatura que sintetizam quais são as principais contribuições e lacunas de pesquisa em relação ao projeto de PSS sustentáveis. Nesse sentido, uma revisão sistemática da literatura foi conduzida, cujos resultados são apresentados nas seções a seguir por análise (i) descritiva (bibliométrica), seguida de (ii) análise de conteúdo.

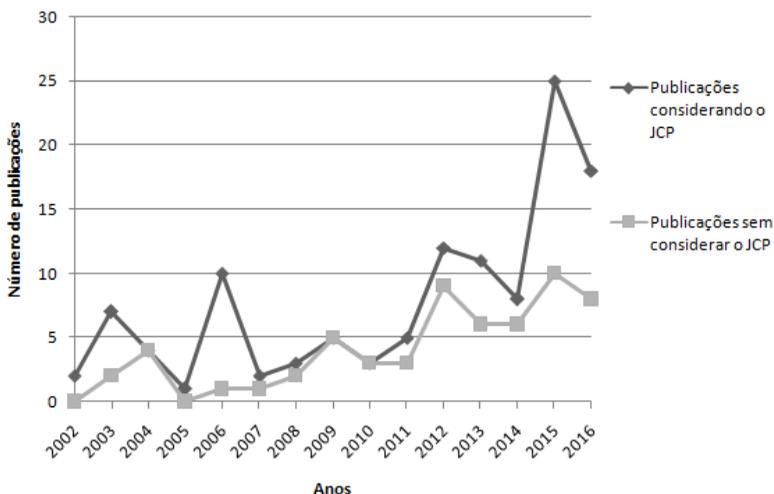
### 2.2.1 Análise bibliométrica: sistemas produto-serviço e sustentabilidade

Inicialmente uma análise descritiva das publicações selecionadas é apresentada, visando oferecer subsídios para a posterior análise de

conteúdo. A busca bibliográfica<sup>6</sup> resultou em 116 publicações para análise. A Figura 1 apresenta a distribuição das publicações que relacionam PSS e sustentabilidade em aproximadamente 14 anos.

Observa-se que, desde 2012, o número de publicações que relaciona os dois temas tem aumentado. Uma das razões para o crescimento das publicações no período foram duas edições especiais do *Journal of Cleaner Production* (JCP) publicadas em 2006 e 2015, focadas em trabalhos que abordassem as dimensões multidisciplinares do PSS, visando contribuir com o projeto e a implementação de modelos de PSS sustentáveis. Essas edições especiais explicam o número considerável de publicações em 2006 e principalmente 2015, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição das publicações sobre PSS e sustentabilidade no período analisado.



Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

Observa-se também que a grande quantidade de publicações sobre o tema deve-se principalmente às publicações desse periódico, especialmente nos anos em que houve as edições especiais (2006 e

<sup>6</sup> A busca considerou 3 bases de dados (*Scopus*, *Web of Science* e *Compendex*), combinação de palavras-chave relacionadas ao PSS e sustentabilidade, sem recorte temporal (maiores detalhes sobre os procedimentos metodológicos são apresentados no Capítulo 3).

2015), conforme mostram as duas curvas da Figura 1. Além disso, outras edições especiais focadas em sistemas produto-serviço dos periódicos *Computers in Industry* (2012) e *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (2015) também contribuíram para o aumento no número de publicações nos últimos anos, mas em proporção bem menor em relação ao JCP. O aumento das publicações, bem como as edições especiais dos periódicos relacionando o projeto e implementação de sistemas produto-serviço demonstram a difusão do tema e a evolução da pesquisa.

O *Journal of Cleaner Production* também foi o periódico com o maior número de publicações no período analisado (56 artigos). Foram identificados 44 periódicos no total, e os principais periódicos (com três ou mais publicações) são apresentados no Quadro 6. O Apêndice A apresenta a lista completa das publicações selecionadas, periódicos identificados e quantidade de publicações por periódico.

Quadro 6 - Periódicos identificados com três ou mais publicações.

Periódico	Número de publicações
<i>Journal of Cleaner Production</i>	56
<i>International Journal of Production Research</i>	5
<i>Business Strategy and the Environment</i>	3
<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>	3
<i>Ecological Economics</i>	3
<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>	3

Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

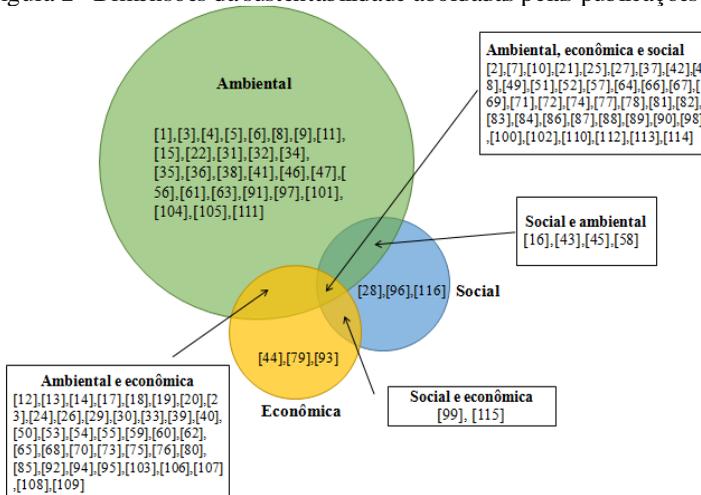
Em relação às dimensões da sustentabilidade consideradas nas publicações, a Figura 2 mostra a distribuição das publicações e dimensões da sustentabilidade consideradas pelas mesmas.

A dimensão ambiental é a mais abordada (isoladamente ou em conjunto com as dimensões econômica e social). A dimensão social, embora abordada em 39% das publicações, contempla predominantemente aspectos relacionados à aceitação do consumidor, saúde dos trabalhadores e consumidores, sem considerar os impactos a todos os *stakeholders* envolvidos na oferta.

Para classificar os métodos de pesquisa adotados pelas publicações, uma abordagem proposta por Wacker (1998) na área de gestão de operações foi adotada. Duas macro-categorias para

classificação dos métodos de pesquisa são propostas nessa classificação, divididas em seis subcategorias (WACKER, 1998): (i) analítica: ‘conceitual’, ‘matemática’ e ‘modelagem estatística’; (ii) empírica: ‘projeto experimental’, ‘estatística’ e ‘estudo de caso’. Essas macrocategorias têm sido utilizadas para classificação de abordagens metodológicas em diversas publicações (e.g. CAVALIERI; PEZZOTTA; SHIMOMURA, 2012; TATICCHI *et al.*, 2015). Do total de publicações (116), dois terços encontram-se na categoria ‘analítica’ (63% do total de publicações nesta categoria estão na sub-categoria ‘teórico conceitual’) e o restante (34%) na categoria ‘empírica’ (predominantemente estudos de caso).

Figura 2 - Dimensões da sustentabilidade abordadas pelas publicações.



Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

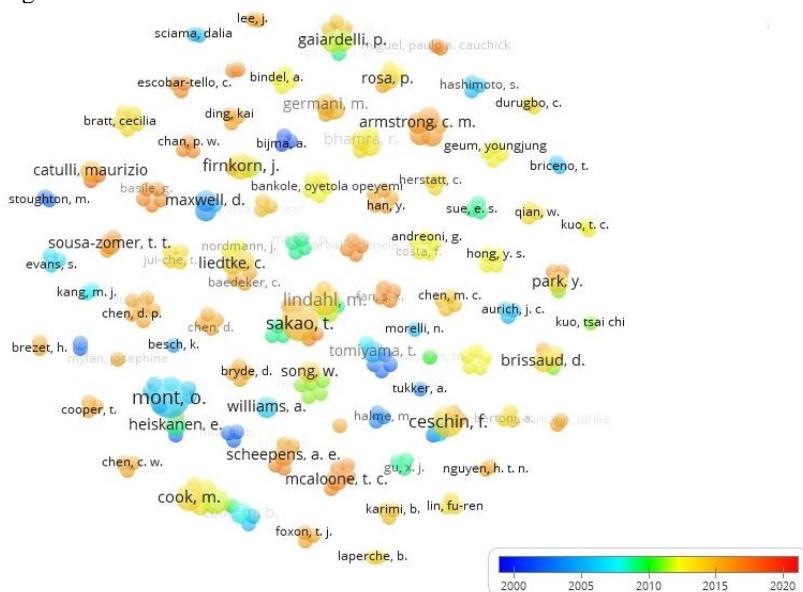
Nota: as publicações representadas pelos números entre colchetes são detalhadas no Apêndice A.

As publicações empíricas, no entanto, estão predominantemente centradas em estudos de caso únicos. O potencial sustentável das soluções de PSS também é raramente analisado nas publicações (no caso dos estudos de caso). As fases do ciclo de vida de um PSS também são apresentadas isoladamente e em poucos trabalhos sobre avaliação da sustentabilidade e projeto de um PSS (11 publicações), sendo as fases de uso e etapas finais do fim do ciclo de vida ainda menos consideradas, conforme já apontado por Cavalieri, Pezzotta e Shimomura (2012). Os

impactos aos diversos outros *stakeholders* envolvidos na cadeia de valor (e.g. parceiros de negócio, trabalhadores, comunidade local onde o PSS será inserido) também são raramente abordados, com foco predominante nos impactos ao consumidor e provedor. A escassez de trabalhos considerando os aspectos anteriormente citados é uma indicação de que ainda existem lacunas de pesquisa na literatura relativa ao desenvolvimento de sistemas produto-serviço sob uma perspectiva do ciclo de vida, implementação e avaliação do potencial sustentável desses modelos de negócio.

Os meta-dados das publicações também foram analisados por meio de redes sociais de co-autoria (principais autores) e termos centrais mais utilizados no período. Visualizações sobrepostas dessas redes sociais são apresentadas na Figura 3 e na Figura 4.

Figura 3 - Rede de co-autoria.

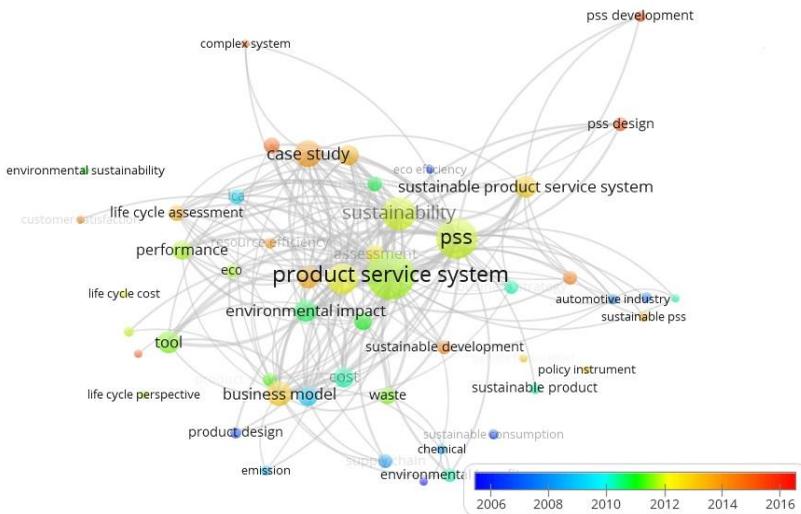


Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica e utilização do software *VOSviewer*<sup>®</sup>.  
Observação: a escala temporal é definida pelo *software*.

A cor dos nós em uma visualização de sobreposição indica certa propriedade do nó (VAN ECK; WALTMAN, 2014). Os nós da Figura 3 representam a co-autoria, e as cores do nó indicam os anos em que os

artigos foram publicados (2000-2016). Os círculos de maior diâmetro representam pesquisadores com uma maior quantidade de publicações. Quanto mais próximos estão os pesquisadores na rede, mais fortemente estão relacionados. Observa-se que há poucos pesquisadores com um grande número de publicações, como Tomohiko Sakao e Oksana Mont, com publicações distribuídas em períodos distintos. A maioria das publicações é recente, com vários autores de diferentes nacionalidades (e.g. países como o Brasil, China, Dinamarca, França, Japão, e Holanda). A Figura 4 fornece uma visualização de uma rede de co-ocorrência de termos extraídos dos títulos e resumos das publicações. Os principais termos que foram citados três ou mais vezes foram selecionados. Cada círculo representa um termo. O diâmetro de um círculo indica a frequência em que o termo correspondente aparece nas publicações. Os termos com maior frequência de co-ocorrência tendem a serem próximos uns dos outros na rede.

Figura 4 - Rede de co-ocorrência de termos.



Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica e utilização do software *VOSviewer*<sup>®</sup>.

Observação: a escala temporal é definida pelo *software*.

Por meio da comparação da Figura 3 e da Figura 4 pode-se constatar que as mesmas apresentam um quadro consistente da estrutura da pesquisa no período analisado. Os temas mais abordados no início de

2000 pela maioria dos autores (e.g. VOGTLANDER; BIJMA; BREZET, 2002; AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006) estavam relacionados aos benefícios ambientais das soluções PSS e projeto dos produtos envolvidos na oferta, abordando o PSS como uma solução eco-eficiente. Entre 2010 e 2012, os termos mais citados foram associados à análise de desempenho ambiental, métodos e ferramentas para conduzir a avaliação do potencial sustentável de soluções de PSS principalmente na dimensão ambiental. Estes aspectos foram relatados em publicações no período (e.g. GOTTBORG; LONGHURST; COOK, 2010; FIRNKORN; MULLER, 2011; LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011). A partir de 2012, as contribuições para o projeto e avaliação do potencial sustentável do PSS continuaram a aumentar, mas outros aspectos emergiram, como a implementação do PSS e a visão do PSS como um sistema que precisa ser implementado de acordo com as características culturais específicas do contexto onde se insere.

Algumas constatações principais podem ser feitas a partir da análise bibliométrica realizada. Primeiramente, as publicações que discutem o PSS como uma solução sustentável (i.e. considerando as três dimensões da sustentabilidade), começaram a ser abordadas recentemente (a partir de 2012 principalmente) conforme refletido pelos termos “*sustainable PSS*” e “*sustainable product-service system*” apresentados na Figura 4, que foram citados principalmente nos últimos anos. Esse aspecto pode refletir nas lacunas existentes no que diz respeito à avaliação do potencial sustentável das soluções de PSS considerando as três dimensões da sustentabilidade, conforme apresentado na introdução do trabalho.

Além disso, termos como PSS design e PSS development, também foram abordados principalmente nas publicações recentes, conforme apresenta a Figura 4. Esse aspecto também pode refletir nas lacunas no que diz respeito à escassez de integração de aspectos da sustentabilidade no projeto de um PSS, uma vez que os termos têm sido abordados apenas recentemente. A quantidade reduzida de trabalhos que abordam as fases do ciclo de vida, bem como a ocorrência de termos como “*life cycle assessment*” e “*life cycle perspective*” a partir de 2012 também demonstra que a perspectiva do ciclo de vida para avaliação e projeto de um PSS foram abordadas mais recentemente na literatura. A seção seguinte aprofunda a discussão relatando e discutindo sobre a análise de conteúdo realizada.

## 2.2.2 Análise de conteúdo: panorama e evolução da pesquisa sobre PSS e sustentabilidade

Conforme mencionado anteriormente, a discussão sobre o conceito de PSS como solução sustentável iniciou-se enfatizando a perspectiva ambiental. No entanto, recentemente, novas definições começaram a integrar os benefícios sociais que o PSS proporciona para assim serem considerados como uma solução realmente sustentável. A maioria das publicações, entretanto, ainda refere-se aos conceitos que abordam apenas o potencial ambiental das soluções de PSS. Além disso, os benefícios ambientais e econômicos do PSS são os mais citados nos artigos identificados no portfólio bibliográfico. A maioria das publicações (91%) aborda os benefícios ambientais e a dimensão ambiental da sustentabilidade.

Apesar desse fato, a literatura sobre PSS e sustentabilidade tem evoluído ao longo dos anos. A Figura 5, construída com base na análise de conteúdo realizada fornece uma visão geral do cenário de pesquisa no contexto de sistemas produto-serviço, abrangendo as principais abordagens, métodos e ferramentas desenvolvidas para o projeto e avaliação da sustentabilidade de PSS. Conforme já salientado por Ceschin e Gaziulusoy (2016), os pesquisadores inicialmente se concentraram em um projeto de PSS focado em aspectos eco-eficientes (*design for eco-efficiency*), analisando as dimensões econômica e ambiental. Abordagens de concepção de produtos e serviços integrados começaram a ser desenvolvidas, muitas delas como parte de projetos de pesquisas financiados pela União Européia na última década (e.g. *Kathalys*, um método para a inovação de produtos sustentáveis e a metodologia para o desenvolvimento de sistemas de produtos e serviços *Methodology for PSS - MEPSS*, desenvolvido por van Halen; Vezzoli; Wimmer, 2005).

Algumas ferramentas foram desenvolvidas em associação aos métodos para o projeto e avaliação de PSS (especialmente no que diz respeito aos aspectos ambientais), como a avaliação do ciclo de vida (ACV) ou *life cycle assessment (LCA)* de forma qualitativa e focadas na avaliação dos produtos envolvidos no sistema, principalmente. Mais recentemente, a atenção voltou-se para integração de métodos e ferramentas da literatura de engenharia de produtos e serviços no projeto de sistemas produto-serviço (e.g. *Analytical Hierarchy Process - AHP*, *Quality Function Deployment - QFD*, *Blueprint*). No entanto, o foco permaneceu, principalmente, nos aspectos ambientais e econômicos. Como afirmado por Williams (2006), nos primeiros estágios da pesquisa

sobre sistemas produto-serviço a identificação e avaliação dos aspectos de eco-eficiência de um PSS constituíam-se uma abordagem mais simples do que aspectos mais complexos como aceitação do consumidor, e essa é uma das possíveis razões pelas quais aspectos relacionados à eco-eficiência foram os mais abordados nos estágios iniciais da pesquisa sobre o tema.

Entre poucas exceções (*e.g.* HALME; JASCH; SCHARP, 2004), foi somente nos últimos cinco anos que a dimensão social da sustentabilidade começou a ser enfatizada na literatura de PSS. Pouco mais de um terço do total<sup>7</sup> de publicações aborda a dimensão social e, em geral, a análise dos benefícios sociais do PSS está integrada aos aspectos ambientais. Os impactos sociais a todas as partes interessadas devido à introdução do PSS geralmente não são explorados nos artigos. Nos últimos anos (2015-2016), porém, surgiram discussões acerca da implementação do PSS e considerações de aspectos associados a mudanças nas normas sociais, valores culturais e estruturas e condições institucionais que normalmente estão fora do foco do contexto de eco-design (KANDA; SAKAO; HJELM, 2016). Os pesquisadores passaram a integrar no projeto do PSS a dimensão sócio-ética da sustentabilidade, e uma nova, crescente, e relevante perspectiva de pesquisa começou a emergir na literatura. Diversas lacunas, no entanto ainda permanecem quanto à integração da dimensão social da sustentabilidade nos métodos de projeto e avaliação de um PSS (CHOU; CHEN; CONLEY, 2015).

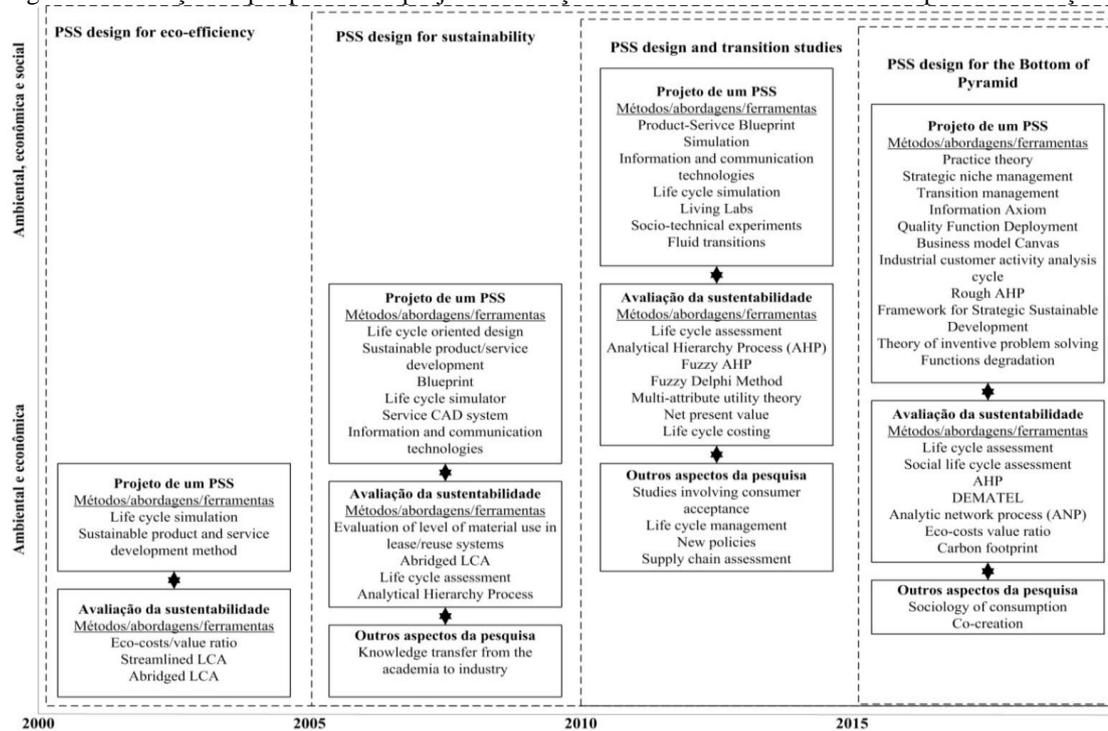
O projeto e implementação de sistemas produto-serviço no contexto de países em desenvolvimento também começaram a ser tratados mais recentemente (*e.g.* CESCIN, 2014a; EMILI; CESCIN; HARRISON, 2016; RETAMAL, 2016). Embora os modelos de PSS representem uma abordagem promissora e ambientalmente correta para o desenvolvimento econômico em países em desenvolvimento (VEZZOLI; CESCIN, DIEHL, 2015), a quantidade de publicações que exploram as barreiras de implementação e os benefícios do PSS nesses contextos é ainda limitado (*e.g.* DEVISSCHER; MONT, 2008; ZHANG *et al.*, 2015; EMILI; CESCIN; HARRISON, 2016). Os estudos de campo, em geral, tendem a investigar economias desenvolvidas, e uma série de situações de PSS têm sido explorados em países europeus (Finlândia, França, Holanda, Reino Unido dentre outros).

---

<sup>7</sup> Baseado na análise de 116 artigos já anteriormente mencionada.



Figura 5 - Evolução da pesquisa sobre projeto e avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço.



Fonte: elaborado pela autora com base na análise de conteúdo.



Além disso, outro aspecto importante é compreender o processo de introdução e difusão do PSS. Alguns pesquisadores nos últimos anos começaram a investigar a integração entre o projeto do PSS, teorias de transição (*transition studies*) e a sociologia do consumo (e.g. CESCHIN, 2013; JOORE; BREZET, 2015; MYLAN, 2015), mas a literatura ainda encontra-se em seus estágios iniciais e mais estudos que integrem teorias de inovação sistêmica (e.g. *multilevel perspective*) e PSS precisam ser conduzidos, uma vez que a implementação de um PSS encontra diversas barreiras a nível micro e macro (JOORE; BREZET, 2015).

A análise da evolução dos temas PSS e sustentabilidade possibilitou identificar os principais métodos e ferramentas desenvolvidos e propostos para projeto e avaliação do potencial sustentável das soluções, conforme apresentado na Figura 5. Os métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de um PSS são discutidos em mais detalhes na seção a seguir.

#### 2.2.2.1 Análise de conteúdo: panorama e evolução da pesquisa sobre PSS e sustentabilidade

A avaliação da sustentabilidade é uma questão crítica que precisa ser cuidadosamente tratada para assegurar que um PSS resultará em menores impactos ao longo do ciclo de vida (DOUALLE *et al.*, 2016). Conforme já citado, um PSS não é necessariamente uma solução mais sustentável quando comparado com os modelos de negócio convencionais. Sendo assim, o desempenho de um PSS precisa ser quantificado e analisado (KJAER *et al.*, 2016), e a necessidade de métodos e ferramentas para avaliação do potencial sustentável das soluções tem sido apontada em diversas publicações (e.g. LEE *et al.*, 2012; CHOU; CHEN; CONLEY, 2015). Diferentes métodos e ferramentas de avaliação de sustentabilidade têm sido discutidos na literatura para análise PSS durante o projeto e para a avaliação de desempenho após a implementação da solução (e.g. HU *et al.*, 2012; KIM *et al.*, 2016). A avaliação da sustentabilidade dos conceitos de PSS durante as fases de projeto, especialmente durante o projeto conceitual<sup>8</sup>,

---

<sup>8</sup> Neste caso, o projeto conceitual diz respeito à fase do processo de desenvolvimento de produtos e serviços em que o conceito da solução é definido e selecionados a partir de uma série de requisitos de engenharia e funções requeridas de acordo com as necessidades dos clientes (BOHM *et al.*, 2010).

desempenha um papel vital no desenvolvimento de soluções de PSS sustentáveis. No caso de produtos, por exemplo, é amplamente reconhecido na literatura que mais de 80% dos impactos ambientais de um produto e custos ao longo do ciclo de vida são determinados durante as fases de projeto conceitual (BOHM *et al.*, 2010). A avaliação cuidadosa nos estágios iniciais do projeto, nesse sentido, deve ser realizada antes de colocar a solução em prática nas fases subsequentes para garantir o potencial sustentável da solução final (CHEN *et al.*, 2015). Quanto antes os possíveis impactos de um sistema são identificados e avaliados, mais cedo o projeto pode ser direcionado para a melhoria e minimização desses impactos (DOUALLE *et al.*, 2016). Além disso, conforme discutido anteriormente, a concepção e avaliação de um PSS devem ser conduzidas de uma perspectiva que considere todo o ciclo de vida (KIM *et al.*, 2016) e dimensões da sustentabilidade (LEE *et al.*, 2012). O Quadro 7 apresenta as publicações que propõem métodos e ferramentas para a avaliação da sustentabilidade de um PSS ou conduzem a avaliação do potencial de um PSS utilizando métodos e ferramentas provenientes da literatura de produtos, e se as mesmas consideram a perspectiva do ciclo de vida de um PSS, se são passíveis de aplicação nas fases iniciais de projeto e as dimensões da sustentabilidade endereçadas.

Conforme apresentado no Quadro 7 ainda há um número restrito de estudos que abordam avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço. Somente o método proposto por Peruzzini e Germani (2014) foi identificado entre as publicações como passível para ser aplicado nas fases iniciais de projeto, permite a consideração do ciclo de vida de um PSS e aborda as três dimensões da sustentabilidade. No entanto, essa publicação apresenta limitações. A mesma propõe a aplicação de avaliações do ciclo de vida nas três dimensões (LCA, *life cycle costing* - LCC e SLCA), porém não oferece bases metodológicas de como proceder tais avaliações. Uma vez que há diversas limitações para aplicação de avaliações do ciclo de vida para avaliação de sistemas como um PSS (AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014), a simples sugestão de aplicação dessas abordagens não é suficiente para aplicação prática.

Além disso, o planejamento do projeto centrado no ciclo de vida é essencial para alcançar melhorias e garantir menores impactos (RAMANI *et al.*, 2010). No entanto, somente as publicações que

Quadro 7 - Métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço.

Referência	Métodos/abordagens propostas	Dimensões da sustentabilidade consideradas			Aplicação nas fases iniciais de projeto	Perspectiva do ciclo de vida
		Amb	Eco	Soc		
Vogtlander; Bijma; Brezet, (2002)	Proposta de um indicador para avaliação de eco-eficiência	X	X			X
Lelah; Mathieux; Brissaud, (2011)	Análise das conseqüências de um PSS utilizando a LCA	X				X
Hu <i>et al.</i> (2012)	Proposta considerando uma série de aspectos e Fuzzy AHP para determinar ocasiões um produto ou serviço é adequado para um PSS	X	X	X		
Lee <i>et al.</i> (2012)	Proposta utilizando sistemas dinâmicos para avaliar aspectos multidimensionais de um PSS	X	X	X	X	
Xing; Wang; Qian (2013)	Proposta de método baseado na LCA e valor presente líquido para avaliação de <i>performance</i> ambiental e econômica no ciclo de vida	X	X			X
Amaya; Lelah; Zwolinski (2014)	Proposta de adaptação da LCA para avaliação do ciclo de vida de um PSS	X			X	X

Continua

Quadro 7 - Métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço - continuação.

Referência	Métodos/abordagens propostas	Dimensões da sustentabilidade consideradas			Aplicação nas fases iniciais de projeto	Perspectiva do ciclo de vida
		Amb	Eco	Soc		
Peruzzini; Germani (2014)	Proposta para integração de diversos métodos como LCA e SLCA para aplicação nas fases iniciais de projeto	X	X	X	X	X
Settani <i>et al.</i> (2014)	Análise da extensão em que a literatura sobre LCC fornece uma base metodológica suficiente para a análise de custos de um PSS		X			
Chen <i>et al.</i> (2015)	Proposta para identificação dos critérios a serem durante a avaliação de um PSS e como tratar aspectos de incerteza durante a avaliação	X	X	X	X	
Chou; Chen; Conley (2015)	Proposta de um índice único e integrado para avaliação da sustentabilidade de um PSS	X	X	X		
Sousa-Zomer; Cauchick Miguel (2015)	Análise da aplicabilidade da SLCA para avaliação dos impactos sociais de um PSS			X		
Kim <i>et al.</i> (2016)	Proposta para avaliação da sustentabilidade de um PSS considerando 94 indicadores nas três dimensões	X	X	X	X	
Kjaer <i>et al.</i> (2016)	Análise da aplicação da LCA para avaliação de um PSS considerando três diferentes escopos	X			X	X

Fonte: elaborado pela autora com base na análise de conteúdo realizada.

Nota: Amb – ambiental; Eco - econômica; Soc - social.

abordam a avaliação do ciclo de vida para análise de um PSS tratam das fases do ciclo de vida (e.g. VOGTLANDER *et al.*, 2002; LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011; AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014). Embora a LCA venha sendo discutida como uma abordagem com potencial para a avaliação do PSS e aplicada em alguns estudos para avaliação de soluções de PSS (e.g. LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011; AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014; LINDAHL; SUNDIN; SAKAO, 2014), a condução de um LCA completa durante as fases de projeto, especialmente durante as fases iniciais, é um desafio, bem como no caso do projeto de produtos (RAMANI *et al.*, 2010).

De acordo com Bhandar, Hauschild e Mcalooone (2003) e Poudelet *et al.* (2012), há quatro desafios para a adoção da LCA nas fases iniciais de projeto. Primeiramente, a LCA requer uma grande quantidade de dados acerca do produto/serviço, que não estão disponíveis nas fases iniciais de desenvolvimento. Além disso, a coleta de dados é intensiva e demanda tempo, sendo complicada de ser realizada nas fases iniciais de desenvolvimento quando decisões precisam ser tomadas em um curto intervalo de tempo. Em terceiro lugar, o processo de desenvolvimento é iterativo e diversas mudanças são feitas ao longo do projeto, enquanto a LCA é uma abordagem estática, onde os parâmetros são definidos inicialmente e mantidos ao longo do estudo. Finalmente, a interpretação de uma LCA requer conhecimentos e competências específicas, que podem não ser viáveis na maioria das organizações (BHANDER; HAUSCHILD; MCALOONE, 2003; POUDELET *et al.*, 2012).

Na realidade, mesmo para as fases subseqüentes de desenvolvimento a aplicação de uma LCA para avaliação de sistemas produto-serviço é complexa e diversos desafios permanecem, uma vez que metodologias para cálculo dos impactos para estratégias de ciclo de vida “não clássicos” como o de um PSS, que envolve múltiplos elementos intangíveis e tangíveis, não existem (AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014; KJAER *et al.*, 2016). Assim, a avaliação de um PSS da perspectiva do seu ciclo de vida permanece uma lacuna de pesquisa, conforme apresentado na seção a seguir que discute as principais oportunidades de pesquisa identificadas com a condução da análise de conteúdo das publicações.

#### 2.2.2.2 Principais lacunas e oportunidades de pesquisa

A partir da análise de conteúdo realizada, algumas oportunidades de pesquisa foram identificadas, conforme discutido anteriormente, e as mesmas são sumarizadas no Quadro 8.

Quadro 8 - Principais lacunas e oportunidades de pesquisa sobre PSS e sustentabilidade.

Oportunidades de pesquisa	Referência
Métodos e ferramentas para avaliação de um PSS que considerem a dimensão social da sustentabilidade	Lee <i>et al.</i> , (2012); Chou; Chen, Conley (2015)
Adaptações metodológicas da LCA para aplicação na avaliação de um PSS	Amaya; Lelah; Zwolinski (2014); Kjaer <i>et al.</i> (2016)
Métodos para avaliação do potencial sustentável de um PSS durante o projeto	Doualle <i>et al.</i> (2016); Chen <i>et al.</i> (2015)
Envolvimento dos diversos <i>stakeholders</i> no projeto de um PSS	Doualle <i>et al.</i> (2016)
Estudos empíricos que avaliem a <i>performance</i> ambiental, econômica e social de um PSS	Boehm; Thomas (2013); Tukker (2015); Retamal (2016)
Estudos empíricos sobre aplicação de soluções de PSS e seu potencial sustentável em países em desenvolvimento	Vezzoli; Ceschin; Diehl (2015); Emilli <i>et al.</i> (2016); Retamal (2016)

Fonte: elaborado pela autora com base na análise de conteúdo realizada.

Conforme apresentado pelos objetivos do trabalho, as lacunas de pesquisa que dizem respeito à necessidade de métodos para avaliação de um PSS considerando a dimensão social principalmente, ciclo de vida e aplicação durante o projeto (fases iniciais) foram endereçadas nessa dissertação.

Na realidade, no que diz respeito ao ciclo de vida, a literatura tem apontado a necessidade de desenvolvimento teórico sobre avaliações do ciclo de vida para avaliação de um PSS (AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014; KJAER *et al.*, 2016). Kjaer *et al.* (2016) discutem três escopos que essa metodologia poderia ser utilizada. O primeiro escopo centra-se na otimização de um PSS, a fim de identificar *hotspots* e avaliar diferentes opções de melhoria. Os autores anteriormente citados apontam ainda que este tipo de avaliação é relevante tanto na concepção de um PSS, para melhoria de desempenho da solução que está sendo concebida, quanto para otimização uma oferta de PSS já existente. O segundo escopo se concentra na comparação de soluções de PSS e o terceiro escopo avalia as conseqüências, para um sistema

existente, da implementação de uma solução de PSS. Como existem desafios metodológicos para aplicação de uma LCA para avaliação de um PSS e essa metodologia não é passível de aplicação nas fases iniciais de projeto, conforme já discutido anteriormente, o desenvolvimento de uma LCA foi abordada no presente trabalho pela consideração de um método simplificado de avaliação do ciclo de vida, uma vez que conforme apontado por Kjaer *et al.* (2016), avaliações simplificadas do ciclo de vida, como no caso da análise de *hotspots* apontada pelos autores, podem ser úteis para o projeto de um PSS. Nesse sentido, a literatura de métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida foi revista para identificação de abordagens para integração às fases iniciais de projeto e que considerem o ciclo de vida, no caso do desenvolvimento de produtos e serviços, conforme apresentado na seção a seguir.

### 2.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AO LONGO DO CICLO DE VIDA DURANTE AS FASES DE PROJETO

Diversos métodos e ferramentas de avaliação da sustentabilidade e integração ao projeto têm sido propostos na literatura (BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012). Esses métodos e ferramentas envolvem matrizes, *checklists*, *guidelines*, etc. Os mesmos têm sido desenvolvidos para propósitos diversos, como avaliação de impactos ambientais, identificação de aspectos ambientais críticos, comparação entre diferentes estratégias e conceitos de produtos e prescrição de estratégias de melhoria (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006). Alguns métodos e ferramentas também consideram a perspectiva do ciclo de vida (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012). O desenvolvimento de avaliações de ciclo de vida para aplicação durante o projeto é complexo (POUDELET *et al.*, 2012). Nesse sentido uma série métodos simplificados que permitem uma avaliação do ciclo de vida têm sido desenvolvidos para mitigação da complexidade de desenvolvimento das LCAs (ANDRIANKAJA *et al.*, 2015). Os principais métodos e ferramentas identificados na literatura para aplicação às fases iniciais de projeto e que consideram a perspectiva do ciclo de vida são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Métodos e ferramentas para integração às fases iniciais de projeto e que consideram a perspectiva do ciclo de vida.

Método/ferramenta	Descrição	Dimensões	Referência
<i>The Environmental and Responsible Product Assessment Matrix</i> (ERPA)	Uma matriz é utilizada para estimar o desempenho ambiental das fases do ciclo de vida de um produto utilizando cinco critérios, considerando uma escala de quatro pontos. <i>Checklists</i> são desenvolvidos para classificar os critérios	Ambiental	Graedel; Allenby (1995)
<i>MET-Matrix</i>	Permite identificar os problemas ambientais mais importantes durante o ciclo de vida	Ambiental	Brezet; van Hemel (1997)
<i>LiDS-wheel</i>	Fornecer uma visão geral do potencial de melhoria do produto. Estratégias de melhoria são propostas e o produto de referência é analisado de acordo com tais estratégias	Ambiental	Brezet; van Hemel (1997)
<i>Philips Fast Five Awareness</i>	Permite julgar e comparar conceitos de produtos diferentes em relação a um produto de referência utilizando cinco critérios	Ambiental	Meinders (1997)
MECO (material, energy, chemical)	Uma estimativa dos impactos em cada fase do ciclo de vida é realizada por estimativas das quantidades de materiais, energia e componentes químicos	Ambiental	Wenzel et al. (1997)

Continua

Quadro 9 - Métodos e ferramentas para integração às fases iniciais de projeto e que consideram a perspectiva do ciclo de vida - continuação.

Método/ferramenta	Descrição	Dimensões	Referência
<i>Streamlined life cycle assessment</i>	Permite identificar os <i>hotspots</i> e principais oportunidades de melhorias ambientais. É útil para comparar os impactos de diferentes produtos	Ambiental	Benett; Graedel (2000)
<i>Eco design checklist</i>	Permite identificar os principais problemas ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto. O usuário deve avaliar se as soluções são boas, indiferentes, ruins ou irrelevantes de acordo com o <i>checklist</i> proposto	Ambiental	Tischner <i>et al.</i> (2000)
<i>ABC-Analysis</i>	Permite avaliar os impactos ambientais considerando 11 critérios	Ambiental	Tischner <i>et al.</i> (2000)
<i>Strategy list</i>	Permite analisar a <i>performance</i> ambiental do conceito de um produto ou comparar diferentes conceitos. Consiste em uma lista de sugestões para cada fase do ciclo de vida para melhoria da <i>performance</i> ambiental	Ambiental	Tischner <i>et al.</i> (2000)
<i>Hotspot analysis</i>	Permite uma rápida análise de possíveis impactos ao longo do ciclo de vida utilizando uma variedade de fontes de informação	Ambiental, econômica e social	Liedtke <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2014)

Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

Uma vez que a maioria dos métodos a serem integrados às fases iniciais de projeto considera a dimensão ambiental, conforme os métodos e ferramentas identificados e sumarizados no Quadro 9 e conforme já apontado por Hallstedt, Bertoni e Isaksson (2015), ainda são necessários métodos que considerem aspectos como custo, e aspectos sociais (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; BOVEA;

PÉREZ-BELIS, 2012). A análise de *hotspots*, no entanto, permite a consideração das outras dimensões da sustentabilidade além da dimensão ambiental. Esse método permite identificar os possíveis *hotspots* ao longo do ciclo de vida, que conforme apresentado anteriormente, são aspectos ambientais, econômicos e sociais numa fase específica do ciclo de vida que assumem grande relevância no contexto de toda a cadeia (LIEDTKE *et al.*, 2013). Uma vez que a análise de *hotspots* foi apontada recentemente como relevante para aplicação nas fases iniciais de projeto de um PSS para análise dos possíveis impactos ao longo do ciclo de vida e otimização da oferta desenvolvida (KJAER *et al.*, 2016), porém ainda não há demonstrações de sua aplicação na literatura, e que a mesma permite a consideração de outras dimensões da sustentabilidade, a análise de *hotspots* foi considerada como ponto de partida para estruturação da proposta nas fases iniciais de projeto. A seguir são apresentados mais detalhes acerca da análise de *hotspots*.

### **2.3.1 Análise de *hotspots* no ciclo de vida de produtos e serviços**

A análise de *hotspots* consiste em um instrumento de avaliação qualitativo, que objetiva identificar impactos ao longo do ciclo de vida de produtos e serviços (LIEDTKE *et al.*, 2010; ROHN *et al.*, 2014), e aspectos relevantes de um produto e serviço que necessitam de gestão ao longo do ciclo de vida (UNEP/SETAC, 2014). Análises de *hotspots* têm sido freqüentemente discutidas na literatura como precursoras de uma LCA completa. A análise de *hotspots* permite uma rápida análise de uma variedade de fontes de informação, incluindo estudos baseados no ciclo de vida, estudos de mercado, publicações científicas, opinião de especialistas e preocupações dos *stakeholders* envolvidos no ciclo de vida (UNEP/SETAC, 2014). Os resultados dessa análise podem ser utilizados para identificar soluções potenciais e priorizar ações em torno dos impactos econômicos, ambientais, e sociais mais significativos, ou benefícios associados a um país específico, setor industrial, organização, portfólio de produtos, categoria de produto ou serviço (UNEP/SETAC, 2014). Na realidade, as análises de *hotspots* podem ser utilizadas em vários níveis (*i.e.* país, setor, portfólio de produtos, categoria de produto) conforme apresentado em UNEP/SETAC (2014).

Um dos tipos de análise de *hotspots* considerada como base no presente trabalho é a *Sustainability Hotspot Analysis – SHSA* (LIEDTKE *et al.*, 2010; UNEP/SETAC, 2014). Esta abordagem foi identificada como adequada por entre os tipos de análise de *hotspots* existentes a mesma considerar a dimensão social e pertencer à tipologia

de abordagens para avaliação de produtos e serviços, conforme UNEP/SETAC (2014). Considerações mais detalhadas acerca da escolha dessa abordagem como potencial para estruturação da proposta do trabalho são discutidas no Capítulo 3.

A análise de *hotspots* apresentada anteriormente foi introduzida na Alemanha (LIEDTKE *et al.*, 2010) como uma abordagem prática de apoio à decisão baseada em informações agregadas como o objetivo de identificar impactos ambientais e sociais de uma forma rápida e com baixo custo (BIENGE *et al.*, 2009). Desde 2002, essa abordagem vem sendo utilizada pelas organizações para avaliação dos impactos sociais e ambientais considerando a cadeia de valor do produto (ROHN *et al.*, 2014) incluindo inclusive aplicações durante o projeto de produtos (LIEDTKE *et al.*, 2013). O principal objetivo de uma análise de *hotspots* é identificar aspectos chave das categorias de impacto analisadas (UNEP/SETAC, 2014). Os resultados da análise denominados de *hotspots* podem servir de ponto de partida para melhorias ao longo do ciclo de vida (VON GEIBLER *et al.*, 2016). No entanto, para uma análise mais específica e quantitativa dos aspectos identificados, sugere-se na literatura que instrumentos adicionais como, por exemplo, uma análise do ciclo de vida, seja aplicada após a condução de uma análise de *hotspots* (LIEDTKE *et al.*, 2010).

Em termos metodológicos, a *Sustainability Hotspot Analysis* é composta por três fases (BIENGE *et al.*, 2009; LIEDTKE *et al.*, 2010; LIEDTKE *et al.*, 2013; UNEP/SETAC, 2014):(i) identificação das fronteiras do sistema incluindo as fases do ciclo de vida e os aspectos ambientais, econômicos e sociais a serem considerados; (ii) avaliação da relevância das fases do ciclo de vida e avaliação dos aspectos abordados no ciclo de vida; (iii) identificação dos *hotspots* por meio de uma análise integrada dos passos anteriores.

Primeiramente, o ponto de partida de uma análise de *hotspots* é a identificação das fronteiras do sistema, que incluem a identificação e definição das fases do ciclo de vida que serão abordadas. Em segundo lugar, os aspectos ambientais, econômicos e sociais que serão cobertos na análise são identificados. Na dimensão ambiental, por exemplo, os seguintes aspectos ambientais são sugeridos pela *Sustainability Hotspot Analysis* (BIENGE *et al.*, 2009; LIEDTKE *et al.*, 2010; LIEDTKE *et al.*, 2013; UNEP/SETAC, 2014): (i) uso de recursos, (ii) uso de energia, (iii) consumo de água, (iv) uso da terra, (v) geração de resíduos, (vi) emissão de poluentes ao ar, (vii) emissões para a água.

Na dimensão social, os aspectos sociais sugeridos pela *Sustainability Hotspot Analysis* incluem as condições de trabalho,

treinamento e educação, segurança social, saúde e segurança dos trabalhadores, direitos humanos, saúde e segurança do consumidor, qualidade do produto (BIENGE *et al.*, 2009; LIEDTKE *et al.*, 2010; LIEDTKE *et al.*, 2013; UNEP/SETAC, 2014). Essas categorias, no entanto, podem ser adaptadas de acordo com os desenvolvimentos recentes (ROHN *et al.*, 2014). No caso de um PSS, as mesmas precisam ser adaptadas para satisfazer as questões específicas do sistema, como por exemplo, a consideração dos impactos sociais aos diversos atores envolvidos na oferta de um PSS, ou seja, os impactos ao provedor, consumidores, trabalhadores, comunidade local onde o PSS será inserido, etc., uma vez que a *Sustainability Hotspot Analysis* inclui aspectos sociais genéricos.

No que diz respeito às fases do ciclo de vida dos produtos, as fases consideradas pela *Sustainability Hotspot Analysis* envolvem a extração da matéria prima, processamento, uso e tratamento no fim da vida útil (VON GEIBLER *et al.*, 2016). A *Sustainability Hotspot Analysis* considera todos os impactos relacionados ao produto e serviço, e impactos que não estão relacionados diretamente ao produto ou serviço (*e.g.* relacionados aos transportes realizados), não são considerados diretamente como uma fase do ciclo de vida (BIENGE *et al.*, 2009). Os impactos gerados pelos transportes, por exemplo, são alocados às fases do ciclo de vida as quais se relacionam, como por exemplo, o transporte de matérias primas para a etapa de processamento é alocado à etapa de processamento (BIENGE *et al.*, 2009).

A segunda etapa envolve a análise de relevância das fases do ciclo de vida no contexto do produto/serviço em estudo e da dimensão da sustentabilidade analisada (ambiental ou social) (BIENGE *et al.*, 2009), utilizando-se escores para realização dessa análise de relevância. Para cada fase do ciclo de vida deve ser atribuído um peso em uma escala de 4 pontos variando de 0 a 3, onde 0 significa nenhuma relevância (ou deve ser atribuído quando não há informações suficientes para estabelecer um julgamento), 1 representa pouco significativo (baixa relevância), 2 moderadamente significativo (média relevância) e 3 altamente significativo (alta relevância) (BIENGE *et al.*, 2009; LIEDTKE *et al.*, 2010; LIEDTKE *et al.*, 2013). Caso o escore 0 seja atribuído, o analista deve documentar que fontes de informação não foram encontradas para atribuição dos escores (BIENGE *et al.*, 2009). As fases do ciclo de vida com maiores impactos devem receber escore 3, enquanto as com menores impactos escore 1 (ROHN *et al.*, 2014). Os julgamentos da relevância das fases do ciclo de vida devem ser estabelecidos com base na literatura a respeito dos produtos e serviços

envolvidos e estudos relacionados, como por exemplo, avaliações de ciclo de vida realizadas anteriormente para os produtos e serviços envolvidos, bem como outras fontes de informação secundárias como relatórios sobre os produtos, setor, etc. (LIEDTKE *et al.*, 2010).

Na realidade, avaliações do ciclo de vida do produto em análise são úteis para auxílio ao estabelecimento dos escores às fases do ciclo de vida (VON GEIBLER *et al.*, 2016). Uma das limitações das análises de *hotspots* é que as mesmas se baseiam em estudos existentes sobre os produtos e serviços envolvidos (LIEDTKE *et al.*, 2010). No entanto, uma vez que durante as fases iniciais de desenvolvimento ainda não se tem informações detalhadas acerca dos produtos e serviços que estão sendo desenvolvidos, a adoção de sistemas de referência<sup>9</sup>, como no caso de produtos e serviços existentes que fazem parte do sistema, são frequentemente empregados por outros métodos de avaliação integrados às fases iniciais de projeto.

Após as fases do ciclo de vida serem avaliadas, a análise dos aspectos ambientais e sociais ao longo das fases do ciclo de vida deve ser realizada, também considerando a escala de 0 a 3 anteriormente apresentada para atribuição dos escores para cada aspecto em cada fase do ciclo de vida (BIENGE *et al.*, 2009; LIEDTKE *et al.*, 2010; LIEDTKE *et al.*, 2013). As bases para realizar o julgamento da relevância dos aspectos em cada fase do ciclo de vida também são a literatura acerca dos sistemas de referência e fontes externas e secundárias (UNEP/SETAC, 2014). Ao realizar a coleta de dados de fontes secundárias, o respaldo científico da fonte de dados deve ser considerado, e sempre que possíveis fontes de dados confiáveis devem ser priorizadas, como artigos científicos envolvendo estudos anteriores sobre o ciclo de vida dos produtos e serviços analisados, dados de instituições internacionais, etc. (VON GEIBLER *et al.*, 2016). De acordo com os procedimentos sugeridos pela *Sustainability Hotspot Analysis* o escore 3, que significa alta relevância, deve ser atribuído aos aspectos ambientais e sociais que possivelmente tem os impactos mais significativos na fase do ciclo de vida em análise. O escore que diz respeito à relevância moderada (2 pontos) é atribuído aos aspectos significativos mas menos graves em comparação com os impactos classificados como altamente relevantes. A relevância baixa, por fim, é atribuída para aspectos pouco significativos em relação à fase do ciclo de vida analisada (VON GEIBLER *et al.*, 2016).

---

<sup>9</sup> Sistemas de referência significam os produtos/serviços envolvidos no PSS que dizem respeito ao cenário atual (modelos de negócio atuais).

Finalmente, os *hotspots* são identificados pela multiplicação do escore atribuído à fase do ciclo de vida na respectiva dimensão da sustentabilidade em análise pelo escore atribuído o aspecto ambiental ou social na respectiva fase do ciclo de vida (UNEP/SETAC, 2014). Os valores finais irão variar entre 1 a 9, e os aspectos nas respectivas fases do ciclo de vida que apresentarem escores 6 e 9 resultantes da multiplicação são considerados como *hotspots* nas respectivas fases do ciclo de vida analisadas (ROHN *et al.*, 2014). Quanto mais *hotspots* são identificados em uma fase do ciclo de vida, maior a prioridade da respectiva fase, que precisa ser examinada e endereçada nas fases subsequentes de projeto. Finalmente, *stakeholders* externos são consultados para revisão dos resultados para verificação da completeza do estudo realizado e para garantir a confiabilidade do estudo (BIENGE *et al.*, 2009). No caso de um PSS, os *stakeholders* a serem consultados devem envolver os atores do sistema. Após os *hotspots* serem identificados e o estudo verificado junto aos *stakeholders*, a equipe de projeto deve procurar soluções para minimizar tais impactos nas fases do ciclo de vida identificadas, tomando o devido cuidado para a otimização de características da solução de modo a não gerar outros impactos e influenciar outros aspectos sociais e ambientais (LIEDTKE *et al.*, 2013).

No entanto, uma vez que um PSS é um sistema e envolve múltiplos atores, e que os impactos sociais aos diversos atores devem ser considerados, uma adaptação da *Sustainability Hotspot Analysis* tanto na dimensão ambiental quanto na social (principalmente) é realizada no presente trabalho, considerando diversas categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social ao invés de aspectos sociais genéricos como sugerido pela *Sustainability Hotspot Analysis*. Para complementação da abordagem, a análise de *hotspots* sugerida nas diretrizes da UNEP/SETAC (2009) para condução de uma SLCA também foi identificada, selecionada e adotada. A seção a seguir apresenta considerações gerais acerca de uma SLCA de acordo com as diretrizes para condução da mesma proposta pela UNEP/SETAC (2009), e UNEP/SETAC (2013) que servirão de subsídios para estruturação do trabalho.

### **2.3.2 Avaliação do ciclo de vida social (SLCA)**

A avaliação do ciclo de vida social ou *social lifecycle assessment* - SLCA pode ser entendida como um método de apoio à decisão no que diz respeito aos impactos relacionados aos ciclos de vida dos produtos

(JØRGENSEN *et al.*, 2012). A SLCA tem diversas aplicações, entre elas sua utilização para obter conhecimento sobre o ciclo de vida de produtos/serviços e realização de melhorias ao longo do ciclo de vida, por meio da análise de *hotspots*. A SLCA pode ser utilizada para identificar, aprender, comunicar e relatar impactos sociais ao longo do ciclo de vida, e assim direcionar estratégias e planos de ação para redução dos impactos sociais (BENOÎT *et al.*, 2010).

A SLCA segue o *framework* técnico para condução da LCA proposto na ISO 14040 (ISO, 2006), e sempre que possível faz menção ao mesmo. Esse *framework* envolve quatro grandes fases: (i) objetivo e escopo do estudo, (ii) análise de inventário, (iii) avaliação de impacto e (iv) interpretação, porém essas fases não serão apresentadas nesse capítulo, apenas os conceitos básicos que suportam a aplicação do *framework*, pois os mesmos servirão de base para a estruturação da proposta do trabalho.

Conforme discutido anteriormente, uma SLCA avalia os impactos sociais e socioeconômicos de todos os estágios do ciclo de vida de um produto, do “berço ao túmulo” (UNEP/SETAC, 2009). Cada uma das fases do ciclo de vida (e seus processos unitários) pode ser associada às localizações geográficas onde os processos são realizados. Em cada uma dessas localizações geográficas os impactos sociais e sócio-econômicos podem ser observados em relação a cinco principais categorias de *stakeholders* (BENOÎT *et al.*, 2010): (i) trabalhadores, (ii) comunidade local, (iii) sociedade (contexto nacional), (iv) consumidores (abrange os consumidores finais, bem como a os consumidores que fazem parte de cada etapa da cadeia de valor), (v) atores da cadeia de valor (incluindo fornecedores). Essas categorias de *stakeholders* serão consideradas na proposta de análise de *hotspots* estruturada no presente trabalho, embora na outra análise de *hotspots* adotada como ponto de partida (SHSA), as mesmas não sejam consideradas.

As categorias de *stakeholders* são um conjunto de partes interessadas que compartilham interesses em comum em relação ao sistema produto investigado (UNEP/SETAC, 2009). Categorias adicionais de *stakeholders* podem ser definidas de acordo com cada caso. Como categorias de impacto são temas gerais, subcategorias de impacto foram definidas pela UNEP/SETAC para descrição as áreas sociais de interesse mais especificamente de acordo com cada grupo de *stakeholders*. Essas categorias e subcategorias foram definidas com base em acordos internacionais, de acordo com as melhores práticas produtivas e respectivos impactos (BENOÎT *et al.*, 2010). O Quadro 10

apresenta a lista de subcategorias de impacto recomendadas pelas diretrizes da UNEP.

Quadro 10 - Categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto.

Categorias de <i>stakeholders</i>	Subcategorias
Trabalhadores/empregados	Liberdade de associação
	Trabalho infantil
	Salário justo
	Horas de trabalho
	Igualdade de oportunidades/discriminação
	Saúde e segurança
	Benefícios sociais/seguridade social
Consumidor	Saúde e segurança
	Benefícios sociais/seguridade social
	Mecanismos de <i>feedback</i>
	Privacidade
	Transparência
	Responsabilidade no final da vida útil do produto
Comunidade local	Acesso a recursos materiais
	Acesso a recursos imateriais
	Deslocalização e migração
	Herança cultural
	Condições de vida seguras
	Respeito aos direitos das comunidades locais
	Engajamento da comunidade
	Geração de empregos local
	Condições de vida segura
Sociedade	Comprometimento da comunidade com questões de sustentabilidade
	Contribuição para o desenvolvimento econômico
	Prevenção de conflitos
	Desenvolvimento tecnológico
	Corrupção
Atores da cadeia de valor	Competição justa
	Promoção da responsabilidade social
	Relações entre os provedores
	Respeito aos direitos de propriedade intelectual

Fonte: Benoît *et al.* (2010).

Contextos diferentes de aplicação ao longo da cadeia de suprimentos estabelecem desafios que requerem níveis de avaliação diferentes e consideração de subcategorias diferentes. Em cada caso, as subcategorias apropriadas devem ser identificadas e analisadas. Nesse sentido, no caso da proposta desenvolvida no trabalho, as subcategorias de impacto sugeridas pelas diretrizes da UNEP/SETAC (2009) serão analisadas para identificação de quais são apropriadas no contexto do ciclo de vida de um PSS de forma genérica (*i.e.* que se aplicam à avaliação de qualquer categoria de PSS) para serem aplicadas durante o projeto.

Na fase da avaliação de impactos pode-se, adicionalmente, organizar as subcategorias sociais e socioeconômicas de acordo com categorias de impacto. Uma categoria de impacto pode estar relacionada a várias categorias de *stakeholders*, e uma categoria de *stakeholders* pode ser afetada por diferentes categorias de impacto. O objetivo da classificação das subcategorias de acordo com grupos de *stakeholders* é certificar-se de que a SLCA corresponde ao objetivo e escopo e está avaliando o ciclo de vida de forma holística (BENOIT *et al.*, 2010). Os *stakeholders* podem variar, no entanto, não apenas de um estudo para outro, mas também dentro de cada etapa da cadeia de valor. As subcategorias representam a base da SLCA, mas esforços precisam ser feitos para a definição e adequação dos indicadores apropriados para avaliação das subcategorias de acordo com o contexto específico. Na abordagem proposta, as subcategorias não foram agrupadas em categorias, uma vez que o objetivo é identificar os *hotspots* ao nível das subcategorias para melhor subsidiar as fases seguintes de desenvolvimento no que diz respeito às ações para mitigação dos impactos relacionados às subcategorias e categorias de *stakeholders*, e não categorias de impacto gerais.

Os conceitos anteriormente apresentados são os que suportam o desenvolvimento da proposta do presente trabalho, e por isso essa seção se limita a apresentação dos mesmos. A aplicação de uma SLCA para avaliação de um PSS é sugerida de ser realizada nas fases subsequentes de desenvolvimento após a análise de *hotspots* que será desenvolvida no presente trabalho, porém uma vez que não é o escopo do trabalho, suas fases não serão apresentadas.

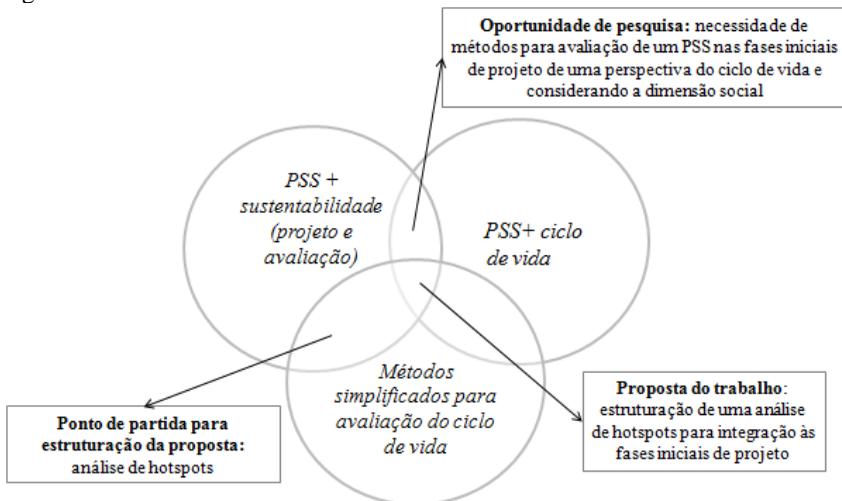
Em resumo, a literatura anteriormente consultada serviu de base para estruturação da proposta para análise de *hotspots* desenvolvida no presente trabalho. A seção a seguir apresenta uma síntese da literatura analisada, considerando como diversos aspectos da mesma estão

relacionados à identificação da oportunidade de pesquisa e subsequente desenvolvimento conceitual do trabalho.

## 2.4 SÍNTESE DA LITERATURA ANALISADA

Conforme discutido anteriormente, a revisão de literatura conduzida envolveu diversos temas. A análise da literatura considerando os diversos assuntos relacionados permitiu desde a identificação da oportunidade de pesquisa até o refinamento da mesma e estruturação conceitual do trabalho. A Figura 6 apresenta uma visão geral do cruzamento da literatura analisada para identificação da oportunidade de pesquisa e formulação da proposta do trabalho.

Figura 6 - Cruzamento da literatura analisada no trabalho.



Fonte: elaborado pela autora com base na busca, organização e análise bibliográfica.

Inicialmente, a literatura geral de sistemas produto-serviço foi analisada e observou-se que a avaliação do potencial sustentável de um PSS permanece incipiente, embora diversas publicações tenham reportado como benefícios desses sistemas o potencial que os mesmos apresentam em termos ambientais, econômicos e sociais, quando comparados com os modelos de negócio convencionais. A literatura sobre PSS e sustentabilidade foi então analisada em maior profundidade por meio de uma revisão sistemática da literatura, e identificou-se que

um PSS precisa ser avaliado, quanto ao seu potencial sustentável, nas fases iniciais de projeto e sobre uma perspectiva que considere o seu ciclo de vida, para garantia de possíveis impactos não vão surgir ao longo do ciclo de vida de um PSS, quando comparado com os modelos de negócio convencionais. A literatura sobre PSS e ciclo de vida também foi analisada para identificação de como o ciclo de vida de um PSS tem sido abordado, bem como as respectivas fases.

Foram identificados poucos trabalhos sobre a avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço, principalmente no que diz respeito às fases iniciais de projeto e que considerem todo o ciclo de vida. Também foi identificado que as dimensões da sustentabilidade têm sido abordadas de forma desigual na literatura, com poucos trabalhos envolvendo a dimensão social. No entanto, para ser considerado como uma solução sustentável, um PSS precisa apresentar potencial ambiental, econômico e social, e as três dimensões devem ser consideradas no projeto e avaliação de um PSS.

A partir da constatação da necessidade de avaliar o potencial de um PSS nas fases iniciais de projeto e considerando o seu ciclo de vida, a literatura sobre métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida nas fases iniciais de projeto foi revista, uma vez que avaliações completas do ciclo de vida não são passíveis de realização nas fases iniciais de desenvolvimento de produtos e serviços, uma vez que não se tem muitas informações detalhadas acerca dos mesmos e que são necessárias para proceder à avaliação do ciclo de vida. Além disso, como um sistema composto por elementos tangíveis e intangíveis, a avaliação do ciclo de vida de um PSS é mais complexa, sendo então identificado na revisão de literatura conduzida que ainda há diversos desafios metodológicos para avaliação do ciclo de vida de sistemas produto-serviço. Sendo assim, abordagens simplificadas para avaliação do ciclo de vida podem ser consideradas como mais adequadas. A revisão de literatura sobre métodos simplificados permitiu identificar as abordagens propostas, e constatar que a maioria considera apenas a dimensão ambiental. Entre as abordagens que consideram as demais dimensões da sustentabilidade, a *hotspot analysis* foi identificada como adequada para adoção como ponto de partida para estruturação de uma abordagem para avaliação de um PSS.

No entanto, existem diversos tipos de análise de *hotspots* disponíveis na literatura. Uma análise dos métodos existentes, disponíveis em um relatório da UNEP/SETAC (2014), permitiu identificar dois tipos de análise de *hotspots* que são complementares e poderiam ser promissoras para adoção como ponto de partida do

trabalho, a *Sustainability hotspots analysis* e a análise de *hotspots* precursora de uma avaliação do ciclo de vida social (SLCA). Uma visão geral das duas abordagens foi então apresentada no presente capítulo.

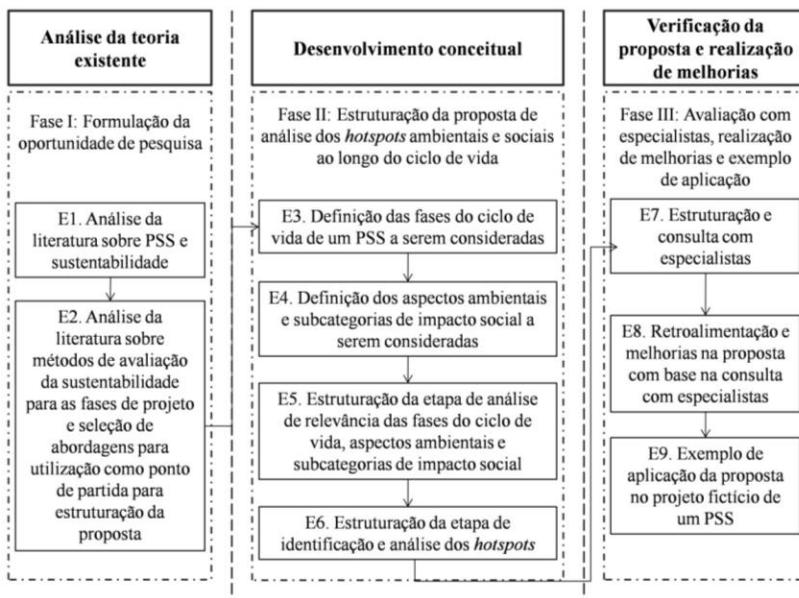
A *Sustainability hotspots analysis* adotada como ponto de partida possui aspectos positivos no que diz respeito ao procedimento de análise que oferece, adotado para estruturação da proposta. A *hotspots analysis* precursora da SLCA permite a avaliação de uma perspectiva que considera diversos grupos de *stakeholders*, o que também é adequado para a avaliação de um PSS, uma vez que o mesmo envolve uma rede de atores. Os impactos aos diversos atores envolvidos em um PSS precisam ser analisados, porém a maioria dos métodos existentes para avaliação da sustentabilidade de um PSS identificados durante a revisão de literatura considera os impactos de uma perspectiva do provedor e consumidor apenas.

A partir das análises de *hotspots* discutidas anteriormente, a proposta do trabalho foi estruturada, e o capítulo a seguir apresenta os procedimentos metodológicos para estruturação da abordagem proposta.

### 3. DELINEAMENTO DA PESQUISA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo tem por finalidade apresentar os procedimentos metodológicos de pesquisa adotados para condução do presente trabalho. A proposta dessa dissertação foi dividida em três principais fases e nove etapas, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Estrutura metodológica, fases e etapas da pesquisa.



Fonte: elaborado pela autora.

Inicialmente, duas revisões sistemáticas da literatura foram conduzidas na primeira fase do trabalho. A condução dessa fase teve como propósito levantar o estado da arte sobre os temas, identificar lacunas de pesquisa e formular a oportunidade/problema de pesquisa (conforme apresentado no capítulo de introdução). Também teve como propósito fornecer subsídios para elaboração da proposta da dissertação a partir das oportunidades de pesquisa identificadas. O principal resultado dessa fase é um panorama geral da literatura sobre PSS e sustentabilidade, ainda não abordado por publicações anteriores que realizaram revisões sistemáticas da literatura sobre sistemas produto serviço (e.g. BAINES *et al.*, 2007; BEUREN; FERREIRA;

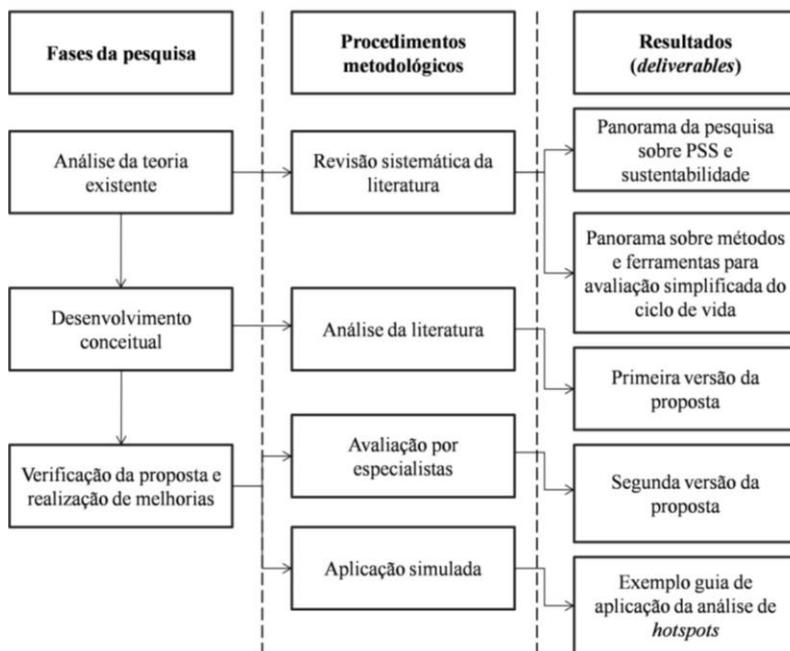
CAUCHICK-MIGUEL, 2013; BOEHM; THOMAS, 2013; TUKKER, 2015; QU *et al.*, 2016).

A partir da identificação da oportunidade de pesquisa, uma segunda revisão da literatura sobre métodos simplificados que permitam a consideração do ciclo de vida, integrados ao projeto de produtos, foi realizada para seleção de possíveis abordagens que poderiam servir de base para estruturação da proposta desta dissertação. O principal resultado dessa fase é um levantamento sobre os principais métodos simplificados que permitem avaliação de uma perspectiva do ciclo de vida, conduzindo a uma seleção de uma abordagem para análise do PSS com base em critérios pré-definidos, descritos posteriormente na seção 3.1.2 do presente capítulo.

Na segunda fase do trabalho de pesquisa (Figura 7), uma proposta para identificação de possíveis *hotspots* ambientais e sociais no ciclo de vida de um PSS foi estruturada em seis etapas, conforme descrito em mais detalhes na seção 3.2. O principal resultado dessa fase é uma versão inicial de uma análise de *hotspots* estruturada para integração às fases iniciais de projeto de um PSS.

Na Fase III (Figura 7), foi realizada uma avaliação da proposta com especialistas em PSS, sustentabilidade e/ou avaliação do ciclo de vida. A consulta com especialistas permitiu realizar melhorias na proposta da dissertação a partir das recomendações feitas pelos mesmos. O principal resultado dessa primeira etapa da terceira fase foi uma segunda versão da proposta após realização de melhorias. Posteriormente, a análise de *hotspots* foi aplicada no desenvolvimento simulado (como exemplo) de um PSS “orientado ao resultado” (para classificação de sistemas produto-serviço, ver TUKKER, 2004). O principal resultado dessa etapa é uma demonstração de cunho prático da proposta, que pode ser útil para guiar a aplicação posterior por uma equipe de projeto. A Figura 8 sintetiza os procedimentos metodológicos adotados em cada fase do trabalho e as respectivas entregas de cada fase.

Figura 8 - Fases da pesquisa, procedimentos metodológicos e resultados (“entregas”).



Fonte: elaborado pela autora.

Os procedimentos metodológicos, métodos e técnicas de pesquisa adotados nas fases e respectivas etapas são descritos em mais detalhes nas próximas seções.

### 3.1 FASE I - ANÁLISE DA TEORIA EXISTENTE E FORMULAÇÃO DA OPORTUNIDADE DE PESQUISA

A primeira fase da pesquisa envolveu revisão da literatura sobre os temas relacionados e a identificação da oportunidade de pesquisa, conforme apresentado no Capítulo 1. O referencial teórico (Capítulo 2) é o principal resultado desta fase. Os procedimentos metodológicos adotados em cada etapa da Fase I são detalhados a seguir.

#### 3.1.1 Etapa 1 - Análise literatur sobre PSS e sustentabilidade

A análise do estado da arte sobre PSS e sustentabilidade permitiu identificar os métodos e ferramentas já propostos para avaliação da

sustentabilidade de sistemas produto-serviço, dimensões da sustentabilidade abordadas, aspectos ambientais, econômicos e sociais considerados e refinamento das principais lacunas e oportunidades de pesquisa.

Para análise da literatura relacionada, foi realizada uma “revisão sistemática da literatura”, seguindo uma adaptação dos procedimentos metodológicos sugeridos por Tranfield, Denyer e Smart (2003), que consiste em três principais estágios: (i) planejamento da revisão, (ii) condução da revisão, e (iii) análise do material e elaboração do relatório. O estágio de “planejamento da revisão” diz respeito à identificação da necessidade de se conduzir uma revisão sistemática da literatura, a preparação de uma proposta para revisão e o desenvolvimento de um protocolo para guiar o processo de identificação de publicações e análise. A “condução da revisão” (estágio 2) envolve todas as atividades relacionadas ao processo de identificação e seleção das publicações. Já o estágio de “análise do material” envolve a síntese das publicações selecionadas e extração de informações relevantes em relação ao tema investigado.

A “revisão sistemática de literatura” foi selecionada em relação às outras tipologias de revisões de literatura (*e.g.* revisão crítica, revisão teórica, etc.) por ser um procedimento replicável e transparente (CERCHIONE; ESPOSITO, 2016), e também porque esse tipo de revisão é útil para identificação da direção de um efeito, sua dimensão, bem como se é consistente em toda a literatura (PARÉ *et al.*, 2015). A Figura 9 ilustra os estágios da revisão sistemática (lado esquerdo da figura) e suas entregas principais (lado direito da figura).

Para conduzir a revisão sobre PSS e sustentabilidade, as questões de pesquisa foram formuladas (Figura 9) e um protocolo para guiar a revisão da literatura foi desenvolvido (Apêndice B). No segundo estágio, a busca e seleção das publicações foram realizadas. Foram consideradas apenas publicações provenientes de periódicos revisados por pares em língua inglesa, sem recorte temporal. Três bases de dados internacionais foram consultadas (*Compendex*, *Scopus* e *Web of Science*<sup>10</sup>), considerando a combinação de palavras-chave relacionadas a

---

<sup>10</sup> Essas bases de dados foram selecionadas por indexarem a maior quantidade de publicações na área de engenharia e ciências ambientais. Outras bases de dados foram consultadas (*Springer Link* e *Emerald*), porém foi verificado que os periódicos nas áreas de interesse estavam todos compreendidos nas bases de dados selecionadas, e por isso as demais bases foram desconsideradas, pelo número de publicações duplicadas ser consideravelmente alto. Além disso, as

sistemas produto-serviço (*product-service system, product service system, industrial product-service system, integrated product service offering, integrated product service engineering, servitization e servicification*), identificadas em outras publicações que realizam revisões da literatura sobre o tema (e.g. BAINES *et al.*, 2007; TUKKER *et al.*, 2015) e sustentabilidade (*sustain\**, *environ\**, *triple bottom line, social, economic e life cycle*). Essas bases de dados foram selecionadas por indexarem periódicos nas áreas de interesse da pesquisa e por serem as bases utilizadas por publicações anteriores que demonstraram o estado da arte sobre a pesquisa em sistemas produto-serviço (e.g. TUKKER, 2015; QU *et al.*, 2016). Para a identificação de publicações acerca do tema no contexto nacional, a base de dados *Scielo*<sup>11</sup> também foi consultada. Duas publicações sobre sistemas produto-serviço foram identificadas nessa base, porém nenhuma delas abordava os aspectos sustentáveis de um PSS, e por isso foram descartadas. Esse resultado sugere uma carência de publicações sobre o tema no país. O banco de teses e dissertações da Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) também foi consultado para identificação de teses e dissertações sobre PSS. Apenas quatro dissertações sobre sistemas produto-serviço foram identificadas no país, mas nenhuma abordando a relação entre sustentabilidade e PSS. Uma tese sobre sistemas produto-serviço também foi identificada (BEUREN, 2014), porém com foco no desenvolvimento conceitual de sistemas produto-serviço. O trabalho considera aspectos de sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de um PSS. No entanto, não aborda a avaliação de um PSS do ponto de vista do seu potencial ambiental, econômico e social durante o desenvolvimento,

Os termos anteriormente citados foram buscados em títulos, resumos e palavras-chave e somente publicações do tipo article ou review foram consideradas com o propósito de selecionar somente literatura qualificada. O software *Endnote X7*<sup>®</sup> foi utilizado para armazenamento e organização dos trabalhos identificados. Inicialmente, 276 publicações foram identificadas e após eliminação dos trabalhos duplicados, leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, 116 trabalhos foram selecionados. Posteriormente, realizou-se a leitura dos textos na

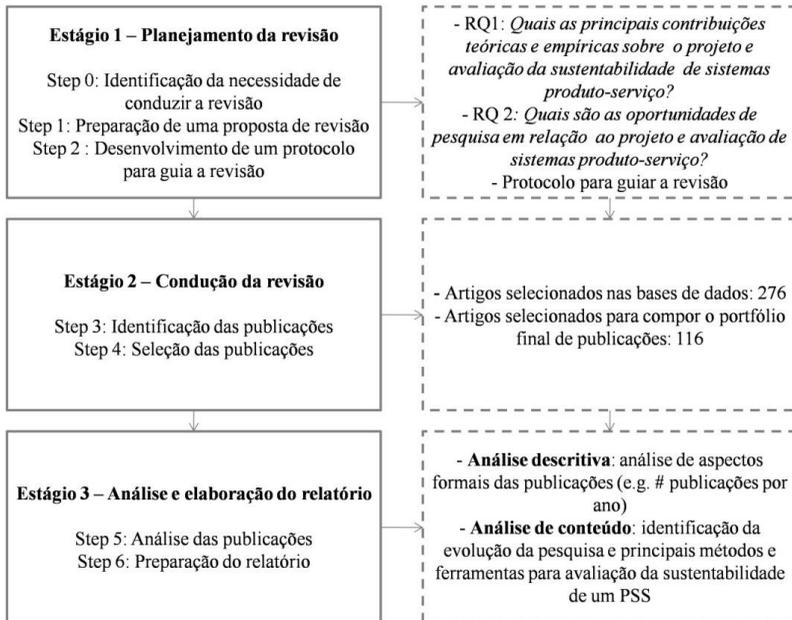
---

bases de dados anteriormente citadas e excluídas indexaram diversas publicações não relacionadas com o tema, apesar da combinação das palavras-chave utilizadas.

<sup>11</sup> A *Scielo* é uma biblioteca eletrônica que abrange uma coleção selecionada de periódicos científicos brasileiros.

íntegra. Uma vez que o foco foi na seleção de publicações que propõem métodos, técnicas e ferramentas para avaliação e para o projeto de um PSS, os artigos que apenas mencionavam aspectos sustentáveis (e.g. benefícios ambientais, econômicos e sociais) de um PSS, mas não abordavam o projeto de PSS sustentáveis ou avaliação do potencial sustentável das soluções foram descartados. Observou-se que o número de publicações que compõe o portfólio final também estava alinhado com o número de publicações identificado por Annarelli, Battistella e Nonino (2016), em uma revisão da literatura sobre PSS recentemente conduzida e que também abordou, embora de forma mais genérica, aspectos relacionados ao potencial sustentável das soluções de PSS.

Figura 9 - Visão geral dos estágios e passos adotados para condução da revisão da literatura.



Fonte: construído pela autora com base em Tranfield, Denyer e Smart (2003).

O terceiro estágio (“análise e elaboração do relatório”) diz respeito à análise das publicações selecionadas, envolvendo análise descritiva (bibliométrica) e de conteúdo. Primeiramente, dimensões descritivas foram utilizadas para classificar as publicações e fornecer

subsídios para posterior análise de conteúdo, conforme sugerido por Taticchi *et al.*, (2015) e apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 - Dimensões consideradas na análise descritiva.

Dimensão	Descrição
Número de publicações	Dimensão do conhecimento existente sobre o tema
Distribuição das publicações ao longo do tempo	Tendências da pesquisa (desenvolvimento da pesquisa ao longo do tempo, tendências observadas)
Periódicos	Principais veículos onde os artigos têm sido publicados
Métodos de pesquisa adotados	Principais abordagens metodológicas adotadas, e principais lacunas quanto às abordagens metodológicas e estágio de desenvolvimento da pesquisa
Sustentabilidade e suas dimensões	Principais dimensões da sustentabilidade ( <i>i.e.</i> ambiental, econômica e abordadas pelas publicações, lacunas em relação à abordagem das dimensões da sustentabilidade)
Redes sociais de co-autoria	Principais autores ao longo do período analisado
Redes sociais de termos	Termos centrais abordados no período analisado (1999-2016) que demonstram a evolução da pesquisa

Fonte: construído pela autora com base em Taticchi *et al.* (2015).

Conforme apresentado no Quadro 11, o número de publicações e respectiva distribuição das mesmas ao longo dos anos foram analisados visando identificar o estágio de desenvolvimento da pesquisa. Com relação à análise das abordagens metodológicas adotadas nos trabalhos, os métodos de pesquisa abordados também foram classificados analiticamente, adotando-se a taxonomia proposta por Wacker (1998), utilizada em outras revisões de literatura sobre PSS e em outras áreas da gestão de operações (*e.g.* CAVALIERI; PEZZOTTA; SHIMOMURA, 2012; TATICCHI *et al.*, 2015), conforme apresentado no Capítulo 2. As dimensões da sustentabilidade abordadas pelas publicações (*i.e.* consideradas pelos métodos e ferramentas existentes), também foram analisadas. O software *VOSviewer*<sup>®</sup> foi utilizado para estruturação e visualização de redes sociais de co-autoria e termos frequentemente citados. O *VOSviewer*<sup>®</sup> fornece visualizações temporais, sendo

adequado para a presente análise uma vez que buscou-se analisar a evolução dos termos utilizados entre 1999 e 2016 e, conseqüentemente, os principais métodos e ferramentas propostas na literatura.

Além da análise descritiva, uma análise de conteúdo também foi conduzida, uma vez que a mesma é adequada para revisões sistemáticas, análises qualitativas e quantitativas do conteúdo da literatura em uma determinada área (HARKONEN; HAAPASALO; HANNINEN, 2015). Dimensões estruturais e categorias analíticas para classificação das publicações foram definidas de forma dedutiva (*i.e.* antes de o material ser analisado), conforme sugerido por Mayring (2003). A literatura foi interpretada considerando as seguintes dimensões estruturais: (i) projeto de sistemas produto-serviço, e (ii) avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço.

Primeiramente, uma visão geral da evolução das abordagens para concepção de um PSS (*PSS design for eco-efficiency*, *PSS design for Sustainability*, e *PSS design for the Bottom of the Pyramid*), bem como os métodos e ferramentas integradas para avaliação da sustentabilidade foram identificados, seguindo a classificação de métodos para projeto de um PSS sugerido por Ceschin e Gaziulusoy (2016). Posteriormente, os principais métodos e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de um PSS foram identificados e analisados, visando selecionar as abordagens existentes e principais oportunidades de pesquisa. Os resultados da análise da literatura foram sumarizados no Capítulo 2.

A partir da análise de conteúdo das publicações, identificaram-se lacunas de pesquisa no que diz respeito a métodos e técnicas a serem integrados nas fases iniciais de projeto de um PSS e que considerem a dimensão social da sustentabilidade (CHEN *et al.*, 2015; CHOU; CHEN; CONLEY, 2015). Identificou-se também a necessidade de métodos que permitam a avaliação da sustentabilidade nas fases iniciais de projeto sob uma perspectiva de ciclo de vida. No entanto, a avaliação de ciclo de vida foi verificada como inadequada para avaliação de um PSS nas fases iniciais de projeto<sup>12</sup>. Porém, avaliações simplificadas do

---

<sup>12</sup> Conforme discutido no Capítulo 2, a avaliação de ciclo de vida não é adequada para utilização nas fases iniciais de projeto, pois requer uma grande quantidade de informações acerca dos produtos/serviços que ainda não foram definidas nas fases iniciais de desenvolvimento, bem como demanda tempo para condução e expertise específica para interpretação (RAMANI *et al.*, 2010; POUDELET *et al.*, 2012). Além disso, conforme já apontado por Amaya, Lelah e Zwolinski (2014) e Kjaer *et al.* (2016) ainda há diversos desafios metodológicos para aplicação da avaliação do ciclo de vida para avaliação de sistemas mais complexos, como um PSS.

ciclo de vida foram citadas como promissoras em publicações recentes (e.g. KJAER *et al.*, 2016), mas ainda carecem de desenvolvimento teórico. Nesse sentido, a integração de uma avaliação simplificada nas fases iniciais de projeto foi considerada como uma oportunidade de pesquisa para o presente trabalho.

Na seqüência, a literatura de desenvolvimento de produto e serviços foi analisada para identificação de possíveis métodos e ferramentas para avaliação simplificada do ciclo de vida que têm sido adotados no projeto de produto, e que poderiam ser utilizados durante o projeto de um PSS ou adotados como ponto de partida para estruturação de uma proposta adequada para avaliação de sistemas produto-serviço. Os procedimentos adotados para revisão da literatura sobre o tema são apresentados na seção a seguir.

### **3.1.2 Etapa 2 - Análise da literatura sobre métodos de avaliação do ciclo de vida integrados ao projeto de produtos e seleção de uma abordagem como base para estruturação da proposta**

A análise da literatura envolvendo métodos e ferramentas para avaliação simplificada do ciclo de vida durante o projeto de produtos seguiu os mesmos procedimentos metodológicos descritos na seção anterior, no que diz aos critérios para busca por publicações. Palavras-chave relacionadas ao tema, identificadas em outras publicações sobre métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida (*streamlined lifecycle assessment, streamlined assessment, life cycle, ecodesign, eco-design, Sustainability assessment, conceptual design, product design, service design e early design stages*) foram combinadas e utilizadas para identificação de publicações. Após eliminação dos artigos duplicados, 80 publicações foram selecionadas. Após leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, 54 artigos foram considerados. As publicações foram analisadas para identificação de métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida integrados ao projeto (e outros métodos citados pelas publicações) e para identificação e seleção de possíveis métodos e ferramentas que fossem adequados para servir de ponto de partida para estruturação da proposta do trabalho. A maioria das publicações identificadas abordava predominantemente aspectos na dimensão ambiental. Foram levados em conta diferentes métodos para propósitos distintos (e.g. comparação de conceitos de soluções, métodos e ferramentas prescritivos) envolvendo também procedimentos para simplificação como eliminação de fases a montante e a jusante do ciclo de vida, uso de dados qualitativos, etc. Os resultados dessa etapa de

análise da literatura são apresentados no Capítulo 2 como os principais métodos e ferramentas identificados (que consideram a perspectiva do ciclo de vida).

Uma abordagem simplificada e que emprega dados qualitativos, denominada “análise de *hotspots*” foi identificada entre as publicações e selecionada como adequada, a partir dos seguintes critérios para seleção: (i) deveria permitir considerar principalmente a dimensão social, que foi identificada com uma lacuna de pesquisa na literatura de PSS; (ii) deveria permitir análise de uma perspectiva do ciclo de vida durante as fases iniciais de projeto.

Existem diversos tipos de análises de *hotspots* disponíveis na literatura, e alguns tipos de análise de *hotspots* permitem abordar aspectos nas três dimensões da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida e são passíveis de serem aplicadas nas fases iniciais de projeto de produtos/serviços. Além disso, durante a análise da literatura de PSS, foi identificada uma publicação recente (KJAER *et al.*, 2016) que apontou a utilização de análise de *hotspots* durante as fases iniciais de projeto de um PSS, sendo assim considerada como adequada para desenvolvimento de soluções com melhor potencial sustentável. Porém, nenhuma publicação foi encontrada, até o momento, que apresente uma aplicação e desenvolvimento teórico da análise de *hotspots* para avaliação de um PSS. Assim, entre os métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida identificados, a análise de *hotspots* foi identificada como a mais apropriada para ser utilizada como ponto de partida para estruturação do trabalho.

As dimensões ambiental e social foram selecionadas para serem consideradas na análise de *hotspots* proposta no presente trabalho. A dimensão econômica não foi abordada neste trabalho, pois a maioria dos aspectos econômicos do modelo de negócio e os impactos gerados são associados principalmente ao perfil e estratégias adotadas pelas organizações envolvidas, não unicamente ao tipo de PSS que está sendo desenvolvido. Uma vez que o foco são as fases iniciais de desenvolvimento e o propósito é identificar os possíveis impactos decorrentes do modelo de negócio e possíveis produtos e serviços associados, apenas os impactos ambientais e sociais em potencial foram considerados, pois esses são decorrentes principalmente do próprio modelo de negócio e localidade onde será inserido o PSS, e não decorrentes de decisões e estratégias adotadas pelas organizações.

Uma vez que a análise de *hotspots* foi identificada como uma abordagem adequada, uma revisão da literatura também foi conduzida para levantar o estado da arte sobre a análise de *hotspots*, utilizando as

mesmas bases de dados anteriormente citadas. As palavras-chave *Sustainability hot spot analysis* ou *Sustainability hotspot analysis* e *hot spots analysis* ou *hotspots analysis* combinadas com *Sustainability* foram utilizadas para busca por publicações. Foram utilizados os mesmos procedimentos para seleção e filtragem das publicações descritos anteriormente para a primeira revisão de literatura (seção 3.1.1). Após eliminação dos trabalhos duplicados, restaram 12 publicações que, após leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, somente 7 publicações foram consideradas para compor do portfólio final.

Diante do número baixo de publicações no tema, uma busca no google acadêmico foi conduzida para identificação de outros tipos de publicações. Foram então recuperados alguns relatórios técnicos (e.g. UNEP/SETAC, 2014) e publicações provenientes de anais de eventos que também foram levadas em conta para a análise. Diversas iniciativas e relatórios técnicos têm sido desenvolvidos pela *Life Cycle Initiative* organizada pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) e da *United Nations Environment Programme* (UNEP) para condução de estudos do ciclo de vida, e os mesmos são relevantes no contexto em análise uma vez que análises do ciclo de vida na dimensão social, por exemplo, ainda são escassas na literatura (CHHIPI-SHRESTHA *et al.*, 2014; MATTIODA *et al.*, 2015; ARCESE *et al.*, 2016). Na realidade, a maioria dos estudos de ciclo de vida na dimensão social realizados até o momento tem por base os relatórios técnicos publicados pela UNEP em 2009 (CHHIPI-SHRESTHA *et al.*, 2014).

De fato, existe uma variedade de tipos de análise de *hotspots* disponíveis na literatura, conforme mostrado pela UNEP/SETAC (2014) em diferentes níveis (*i.e.* no nível de produtos, no nível setorial e no nível nacional). Para fins de identificação da abordagem adequada para avaliação de um PSS, tomou-se a decisão de adotar somente abordagens de análise de *hotspots* que podem ser aplicadas para avaliações ao nível de produtos ou serviços e respectivo ciclo de vida (conforme a classificação proposta por UNEP/SETAC, 2014). Entre as modalidades de análise de *hotspots* para avaliação de produtos, as abordagens que permitem considerar a dimensão social da sustentabilidade foram primeiramente escolhidas para análise.

A escolha de um método simplificado para avaliação do ciclo de vida deve considerar um equilíbrio entre a simplificação do método e o tipo de resultados esperados (HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003). Assim, entre os tipos de análise de *hotspots* identificadas ao nível do produto (apresentadas pela UNEP/SETAC, 2014) e que consideram a

dimensão social, a abordagem proposta pelo Instituto *Wuppertal (Sustainability hotspots analysis - SHSA)* foi identificada como adequada e utilizada como ponto de partida. Um dos benefícios deste método é que o mesmo é relativamente fácil de utilizar e não requer conhecimento de especialistas ou experiência da equipe de projeto, o que pode ser relevante no contexto do projeto de um PSS, uma vez que ainda é necessário transferir o know-how da academia para as empresas e projetistas/designers (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2016). No entanto, em uma *survey* com especialistas conduzida pela UNEP/SETAC (2014) para identificar a aplicabilidade de vários métodos de análise *hotspots*, a *Sustainability Hotspots Analysis* foi classificada com “média relevância” para o propósito a que se destina.

A avaliação do ciclo de vida social (SLCA), no entanto, abrange outro método de análise de *hotspots* ao nível de produto que permite considerar a dimensão social (UNEP/SETAC, 2009). Em uma *survey* conduzida pela UNEP/SETAC (2014), a análise de *hotspots* compreendida em uma SLCA foi considerada “essencial” para a finalidade a qual se destina. Uma vez que ambos os métodos de análise de *hotspots* consideram a dimensão social, e a *Sustainability Hotspots Analysis* permite também considerar a dimensão ambiental e ambos apresentam benefícios complementares, os mesmos foram combinados para utilização como ponto de partida para adaptação e proposição de uma análise de *hotspots* adaptada às especificidades de um PSS. A seção a seguir apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para construção da proposta.

## 3.2 FASE II - DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL PARA CONSTRUÇÃO DA PROPOSTA

O desenvolvimento conceitual da proposta envolve as etapas 3 a 6 da Figura 7, descritas nas subseções a seguir. Os resultados dessa fase são apresentados no Capítulo 4 (Resultados).

### 3.2.1 Etapa 3 - Definição das fases do ciclo de vida de um PSS a serem abordadas

A primeira etapa em qualquer avaliação que considere a perspectiva do ciclo de vida é a definição das fronteiras do sistema, bem como as fases do seu ciclo de vida. Para identificação das fases do ciclo de vida de um PSS e assim estruturar a base de análise, uma segunda revisão da literatura complementar de PSS foi conduzida. Para busca por

publicações foram utilizadas palavras-chave em língua inglesa relacionadas ao ciclo de vida (*lifecycle* e *life cycle*), combinadas com palavras-chave associadas ao PSS (*product-service systems* e PSS). As mesmas bases de dados internacionais utilizadas para a primeira revisão sistemática (seção 3.1.1) foram consultadas, utilizando e os mesmos critérios de busca. Após a eliminação dos trabalhos duplicados e leitura dos títulos, resumos e palavras-chave, 124 trabalhos foram obtidos. Após leitura dos trabalhos completos, 15 foram considerados para compor o portfólio de artigos final de artigos, pois os mesmos apresentavam em detalhes as fases do ciclo de vida de um PSS, conforme apresentado no Capítulo 2. A partir das publicações identificadas, o ciclo de vida de um PSS considerado no presente trabalho foi estruturado. As fases do ciclo de vida abordadas pela maioria das publicações, e que dizem respeito à operação do sistema, foram inicialmente selecionadas, pois são nessas fases que os impactos são gerados. O detalhamento das fases selecionadas é apresentado no próximo capítulo. A seção a seguir apresenta a etapa de definição dos aspectos ambientais e sociais a serem analisados pela abordagem proposta.

### **3.2.2 Etapa 4 - Definição dos aspectos ambientais e subcategorias de impacto social a serem considerados na proposta**

A segunda etapa do desenvolvimento da proposta consiste na definição dos aspectos ambientais e sociais que serão considerados durante a análise. Nos métodos e ferramentas propostos na literatura para avaliação do potencial sustentável considerando a perspectiva do ciclo de vida, conforme apresentado no Capítulo 2, alguns consideram a prescrição de aspectos ambientais e sociais (*e.g.* ERPA, MECO), e outros propõem aspectos gerais (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006). As análises de *hotspots* adotadas como ponto de partida no presente trabalho (*i.e.* *Sustainability Hotspots Analysis* e *hotspots analysis* na perspectiva da SLCA) propõem aspectos ambientais e sociais (*Sustainability Hotspots Analysis*) e subcategorias de impacto social (*hotspots analysis* no contexto da SLCA). Como ambas foram adotadas como ponto de partida e adaptações foram feitas considerando a literatura de PSS, no presente trabalho os aspectos considerados na

dimensão ambiental são denominados “aspectos ambientais <sup>13</sup>” seguindo a terminologia adotada na SHSA, e os aspectos sociais são denominados “subcategorias de impacto social<sup>14</sup>”, conforme abordado pela SLCA. Na realidade, um conjunto de subcategorias de impacto social contribui para uma determinada categoria de impacto social (UNEP/SETAC, 2009), de forma semelhante que diversos aspectos ambientais podem compor uma categoria de impacto ambiental. Nesse sentido, embora as terminologias adotadas sejam diferentes, dizem respeito a um mesmo nível de análise. Os aspectos ambientais e subcategorias de impacto social sugeridas por ambas as abordagens foram analisadas, e consideradas se alinhadas com a literatura e contexto de um PSS.

No que diz respeito à dimensão social, uma vez que um PSS compreende uma série de atores envolvidos no ciclo de vida, os impactos sociais<sup>15</sup> aos diversos *stakeholders* devem ser levados em consideração. Uma categoria *stakeholder* é um conjunto de atores que têm interesses comuns (UNEP/SETAC, 2009). Em um PSS há uma série de *stakeholders* envolvidos, por se tratar de um sistema (MONT, 2002), e os impactos sociais relativos a todos devem ser considerados. No entanto, a *Sustainability Hotspots Analysis*, adotada como ponto de partida para estruturação da proposta, conforme descrito anteriormente, aborda uma série aspectos sociais de forma genérica, ou seja, sem fazer distinção aos diversos grupos de atores impactados ao longo do ciclo de vida. A SLCA, por outro lado, faz uma distinção dos impactos sociais aos diversos grupos de *stakeholders*, e o procedimento adotado pela mesma foi considerado. Foram então consideradas categorias de *stakeholders* (e.g. consumidores, trabalhadores, comunidade local onde o PSS será inserido, etc.) e uma análise dos impactos a cada um deles, conforme sugerido pela análise de *hotspots* no contexto da SLCA (UNEP/SETAC, 2009; BENOIT *et al.*, 2010). Assim, as subcategorias de impacto social foram organizadas de acordo com os grupos de

---

<sup>13</sup> De acordo com a ISO 14001:2004, aspectos ambientais são elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente (ISO, 2004).

<sup>14</sup> De acordo com as diretrizes da UNEP/SETAC (2009) para realização de uma análise do ciclo de vida na dimensão social, as subcategorias de impacto são definidas como temas sociais e sócio-econômicos relevantes, e são questões componentes de uma categoria de impacto social.

<sup>15</sup> O termo “impacto social” significa conseqüências de pressões positivas ou negativas sobre parâmetros sociais (ou seja, bem-estar dos *stakeholders*) (UNEP/SETAC, 2009).

*stakeholders* envolvidos conforme recomendado por UNEP/SETAC (2009) e BENOIT *et al.* (2010).

As principais categorias de *stakeholders* são válidas para qualquer tipo de PSS. Estas foram identificadas com base na literatura de PSS e nas diretrizes da UNEP/SETAC (2009). Para a condução da SLCA são sugeridas cinco categorias de *stakeholders*: (i) consumidores, (ii) trabalhadores, (iii) comunidade local, (iv) atores da cadeia de valor, e (v) sociedade. As subcategorias de impacto que são adequadas para análise de um PSS considerando cada *stakeholder* envolvido foram identificadas como subcategorias de impacto social que podem ser analisadas independente do tipo de oferta (*i.e.* se é um PSS orientado ao produto, ao uso ou ao resultado), das organizações envolvidas e das práticas de gestão adotadas pelas mesmas. As subcategorias foram definidas com base nas diretrizes da UNEP/SETAC (2009) para condução da SLCA e literatura sobre o tema (*e.g.* BENOIT *et al.*, 2010; BENOIT *et al.*, 2011; UNEP/SETAC, 2013). A literatura de PSS (*i.e.* publicações que abordam a avaliação da sustentabilidade de um PSS na dimensão social e aspectos sociais considerados), e de avaliação de *hotspots* também serviram de subsídio para identificação das subcategorias de impacto social que seriam apropriadas para avaliação de um PSS.

Para seleção das subcategorias de impacto social seguindo as diretrizes da UNEP/SETAC, os critérios adotados foram: (i) a subcategoria não deve estar relacionada exclusivamente com o comportamento das organizações envolvidas, ou seja, a subcategoria deveria estar relacionada ao processo/modelo de negócio e fases do ciclo de vida; (ii) a subcategoria deveria ser genérica suficientemente para avaliação de qualquer tipo/categoria de sistemas produto-serviço (*i.e.* de acordo com a classificação de PSS proposta por Tukker, 2004). Uma vez que as subcategorias de impacto sugeridas pelas diretrizes da UNEP/SETAC (2009) estão em sua grande maioria relacionados ao comportamento e conduta das organizações, e essa conduta não é conhecida nas fases iniciais de projeto, apenas as subcategorias que não tivessem essa característica unicamente foram selecionadas para serem incluídas na abordagem, conforme já realizado por Lehmann *et al.* (2013). Por exemplo, os autores citados utilizaram subcategorias apropriadas para análise de novos sistemas para provisão de água (novas tecnologias) a serem implementadas em uma determinada região e consideraram as subcategorias de impacto social sugeridas pelas diretrizes da UNEP/SETAC (2009) que poderiam ser associadas aos sistemas analisados, ou seja, ao tipo de tecnologia, não comportamento

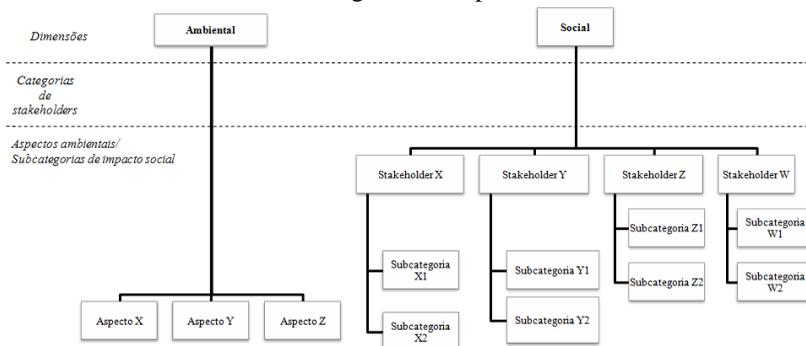
das organizações envolvidas ou práticas adotadas pelas mesmas. Os resultados das categorias de *stakeholders* e respectivas subcategorias de impacto social identificadas com base nas diretrizes da UNEP/SETAC (2009) para condução da SLCA e selecionadas para compor a proposta por estarem alinhadas com o contexto de um PSS são apresentadas em detalhes no Capítulo 4. Como exemplo de subcategoria de impacto social identificada como relevante para o grupo de *stakeholders* “trabalhadores” destaca-se a subcategoria “saúde e segurança” dos mesmos, pois aspectos de saúde e segurança estão totalmente relacionados ao modelo de negócio em questão, e não necessariamente e unicamente à conduta da organização. Maiores detalhes acerca das categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social serão apresentados posteriormente.

Em relação à dimensão ambiental, os aspectos ambientais a serem considerados na proposta foram identificados com base na literatura de PSS e sustentabilidade e análise de *hotspots*. A literatura de PSS foi analisada e foram selecionados trabalhos que abordam a avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço, conforme apresentado no Quadro 7 da seção 2.2.2.1 do Capítulo 2. Os aspectos ambientais considerados por esses trabalhos foram identificados<sup>16</sup>, e os aspectos ambientais abordados por dois ou mais trabalhos, genéricos o suficiente para serem adotados no projeto de qualquer categoria de sistemas produto-serviço (*i.e.* qualquer tipo de PSS) e que também são abordados na literatura de análise de *hotspots* foram selecionados. O conjunto de aspectos ambientais selecionados será apresentado no Capítulo 4. A Figura 10 apresenta uma estrutura hierárquica que relaciona os aspectos ambientais, categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social, cujos resultados completos são apresentados no Capítulo 4.

---

<sup>16</sup> Por exemplo: consumo de recursos (HU *et al.*, 2012); consumo de energia (HALME *et al.*, 2004; Chou; Chen; Conley,(2015).

Figura 10 - Estrutura hierárquica das dimensões, categorias de impacto ambiental e *stakeholders* e subcategorias de impacto social.



Fonte: construído pela autora com base nos aspectos ambientais identificados na literatura para compor a proposta e categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social com base em Benoit *et al.* (2010).

### 3.2.3 Etapa 5 - Estruturação da avaliação de relevância das fases do ciclo de vida, aspectos ambientais e subcategorias de impacto social

Após os aspectos ambientais e sociais terem sido definidos, a análise de tais aspectos deve ser realizada ao longo do ciclo de vida de um PSS. O procedimento de análise adotado foi estruturado e seguiu o procedimento sugerido pela SHSA, considerada como ponto de partida para estruturação da proposta. Assim as fases do ciclo de vida devem ser primeiramente comparadas entre si para avaliação da relevância entre elas (para identificação de quais fases podem contribuir mais para geração de impactos ambientais) por meio de atribuição de escores, adotando-se a escala de 4 pontos conforme sugerido pela *Sustainability Hotspots Analysis* (LIEDTKE *et al.*, 2010; UNEP/SETAC, 2014) e apresentado na seção 2.3.1 do Capítulo 2. A maioria dos métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida integrados ao projeto, identificados na revisão de literatura, utiliza escalas semelhantes (*e.g.* ABC Analysis, ERPA). Assim, uma comparação pareada entre as fases do ciclo de vida deve ser feita pela equipe de projeto, e o julgamento deve ser realizado com base no tipo de PSS planejado (*i.e.* de acordo com a função que o PSS visa oferecer, os produtos e serviços envolvidos), informações disponíveis na literatura (*e.g.* estudos de ciclo de vida passados sobre os produtos envolvidos) e outras fontes secundárias (*e.g.* bases de dados, relatórios técnicos do setor, etc.)

acerca dos sistemas de referência<sup>17</sup>. Mais especificamente, o julgamento realizado pela equipe de projeto baseia-se em informações advindas de outras fontes e que dizem respeito aos produtos e serviços semelhantes envolvidos.

Para cada dimensão da sustentabilidade, realiza-se a ponderação das fases do ciclo de vida de acordo com o seu impacto relativo de cada fase. Segundo a escala adotada e sugerida pela SHSA, o escore 1 significa “baixa relevância”, o 2 “moderada relevância” e o 3 “alta relevância”. Em caso de não se encontrarem informações acerca dos sistemas de referência para estabelecer os julgamentos, o escore 0 deve ser atribuído. Em caso de dados não confiáveis é recomendado que seja atribuído o escore 2 ao invés de 3, pois se a fase do ciclo de vida apresentar *hotspots*, esse aspecto também será refletido quando a análise dos aspectos ambientais e subcategorias de impacto social for realizada. Às fases do ciclo de vida que mais contribuem para a geração de impactos ambientais como um todo (de acordo com a análise dos sistemas de referência) atribui-se os escores mais altos. Por exemplo, ao analisar um PSS que visa oferecer mobilidade por meio da oferta do serviço de *car-sharing*, ao analisarem-se estudos do ciclo de vida de carros convencionais, baseados no modelo de negócio convencional, observa-se que a fase de uso é que a mais contribui para geração de impactos ambientais. Nesse sentido, a fase de uso deve receber o escore 3 “alta relevância”, que significa que essa fase do ciclo de vida, devido aos produtos envolvidos (no caso, o automóvel), pode contribuir para geração de impactos e possíveis *hotspots* devem ser identificados.

Após a ponderação das fases do ciclo de vida, a fase seguinte é proceder a análise de cada subcategoria de impacto social e cada aspecto ambiental em relação às fases do ciclo de vida, utilizando-se fontes de informação secundárias, conforme descrito anteriormente, sobre os sistemas de referência que o PSS visa substituir (e.g. avaliações de ciclo de vida passadas disponíveis na literatura, bases de dados, etc.). A escala a ser utilizada para ponderação (de 0 a 3 pontos) também foi estabelecida seguindo a escala sugerida pela *Sustainability Hotspots Analysis* (LIEDTKE *et al.*, 2013; UNEP/SET AC, 2014). Por exemplo, para o aspecto ambiental “consumo de água” na fase do ciclo de vida “fabricação do produto”, a equipe de projeto deve atribuir um escore, de

---

<sup>17</sup> Conforme já apresentado anteriormente no Capítulo 2, sistemas de referência significam os produtos/serviços envolvidos no PSS que dizem respeito ao cenário atual ao qual o PSS se compara (KJAER *et al.*, 2016).

acordo com os produtos que serão fabricados. A atribuição desse escore deve basear-se em estimativas do consumo de água na fase de fabricação dos produtos envolvidos disponíveis em estudos anteriores realizados (por exemplo, um estudo do ciclo de vida publicado sobre o produto envolvido).

Na realidade, conforme já salientado por Hussain *et al.* (2012), a utilização de dados dos produtos existentes e modelos de negócio convencionais para informar o projeto conceitual de PSS é importante para fornecer à equipe de projeto dados que podem ser relevantes para o projeto da solução (como, por exemplo, onde os possíveis impactos podem ocorrer, como no caso em análise). A análise desses sistemas de referência para obtenção de informações que servirão de subsídios para concepção de soluções de PSS é também uma prática comum adotada por outros estudos sobre concepção e avaliação de sistemas produto-serviço de forma geral (*e.g.* GOEDKOOOP *et al.*, 1999). A seção a seguir apresenta a última etapa do desenvolvimento da proposta: a estruturação da análise dos *hotspots*.

### **3.2.4 Etapa 6 - Estruturação da etapa de identificação e análise dos *hotspots***

Para identificação dos *hotspots* sociais e ambientais ao longo do ciclo de vida, devem ser considerados os escores atribuídos às fases do ciclo de vida e os escores atribuídos na avaliação das subcategorias de impacto social e aspectos ambientais ao longo do ciclo de vida. Utilizando o mesmo procedimento sugerido pela SHSA adotada como ponto de partida, a identificação dos *hotspots* ocorre pela multiplicação dos escores atribuídos a cada fase do ciclo de vida (de acordo com cada dimensão da sustentabilidade) pela pontuação atribuída a cada subcategoria de impacto social/aspecto ambiental.

Se os valores resultantes da multiplicação forem 6 ou 9, a subcategoria de impacto social ou aspecto ambiental podem ser considerados como um *hotspot* naquela fase do ciclo de vida, e deve ser analisada em maiores detalhes nas fases subsequentes de projeto de um PSS para minimizar os possíveis impactos a serem gerados. Por exemplo, supondo-se que a o ao aspecto ambiental “consumo de água” na fase do ciclo de vida “fabricação do produto” a equipe de projeto tenha atribuído o escore 3, por o consumo de água ser significativo, de acordo com constatações feitas ao analisar um estudo de ciclo de vida publicado na literatura sobre o produto envolvido no PSS. Anteriormente à atribuição dos escores relativos à análise de relevância

dos aspectos ambientais, a equipe de projeto atribuiu o escore 2 à essa fase do ciclo de vida, pois identificou que ela é uma das fases que mais contribui para geração de impactos ambientais, de acordo com estudos anteriores sobre os produtos envolvidos. Ao multiplicar os dois escores, o resultado é 6, o que significa que o consumo de água pode ser considerado um “*hotspot*” na fase de fabricação, e ações devem ser realizadas nas fases subsequentes de projeto para minimizar o consumo de água que levaria à geração de possíveis impactos.

Após a identificação dos *hotspots*, conforme sugerido pela UNEP/SETAC (2014), os *hotspots* identificados devem ser avaliados pelos *stakeholders* envolvidos na oferta nas fases subsequentes de projeto para uma análise crítica dos resultados em termos da avaliação e ponderação atribuídas e para conclusões acerca dos *hotspots* identificados e estabelecimento de um plano de ação para mitigação dos possíveis impactos. Além disso, é importante que todas as fontes consultadas para atribuição dos escores, tanto para as fases do ciclo de vida quanto para a análise de relevância dos aspectos ambientais e subcategorias de impacto social, sejam documentadas (UNEP/SETAC, 2014).

Com a condução dessa etapa, o desenvolvimento conceitual da proposta é concluído. Na seqüência, a proposta foi avaliada por especialistas visando inserir melhorias, adotando-se os procedimentos descritos a seguir.

### 3.3 FASE III - CONSULTA COM ESPECIALISTAS E APLICAÇÃO SIMULADA

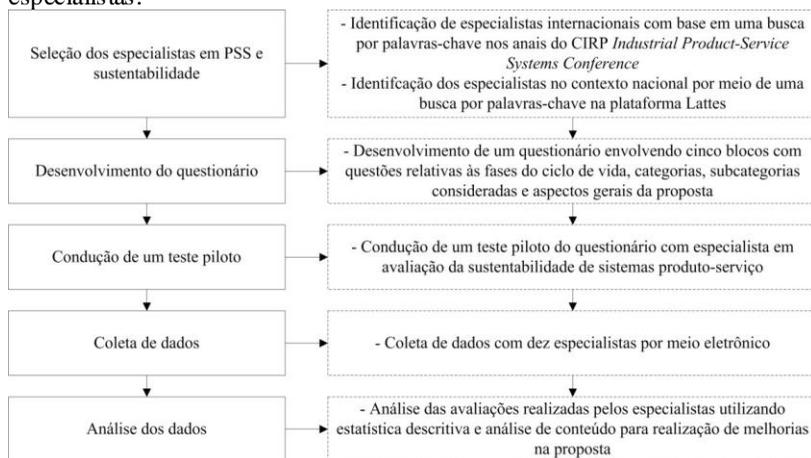
A Fase III envolveu o desenvolvimento e aplicação de um questionário estruturado para avaliação da proposta junto a especialistas de PSS, retroalimentação da proposta com melhorias e demonstração de sua aplicação por meio de um exemplo simulado, uma vez que não foi possível aplicar a proposta em uma situação real de desenvolvimento de um PSS por falta de acesso a uma empresa que estivesse no processo de transição para esses novos modelos de negócio e estivesse realizando o projeto de um PSS. Esta fase envolve as etapas 7 a 9 da Figura 7 e são descritas a seguir.

#### 3.3.1 Etapa 7 - Estruturação e aplicação de uma consulta com especialistas

Nesta etapa, um questionário foi desenvolvido para avaliar a construção da proposta por pesquisadores especialistas em sistemas produto-serviço. Outros trabalhos (e.g. ARENA; AZZONE; CONTE, 2013; UNEP/SETAC, 2014) que propõem métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida nas fases iniciais de projeto também adotaram uma avaliação com especialistas para verificação da adequação das abordagens que propuseram.

Embora a consulta com especialistas não consista em uma *survey*, procedimentos metodológicos similares aos adotados nessa abordagem (e.g. em FORZA, 2002), foram adaptados, consistindo de cinco etapas: (i) seleção dos especialistas; (ii) desenvolvimento do instrumento para coleta de dados; (iii) teste piloto; (iv) coleta dos dados; e (v) análise dos dados. A Figura 11 ilustra as etapas e procedimentos adotados para condução dessa etapa.

Figura 11 - Visão geral das etapas para condução da avaliação com especialistas.



Fonte: construído pela autora com base em Forza (2002).

Para seleção dos especialistas, consideraram-se pesquisadores no contexto brasileiro e do exterior, que foram identificados por uma busca por palavras-chave. Para os pesquisadores no Brasil, as seguintes palavras-chave foram usadas: *product-service systems*, PSS e sistemas produto-serviço para identificação na Plataforma Lattes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os critérios para seleção dos pesquisadores no país foram: (i) possuir título de doutor, (ii) ter conduzido a tese e/ou trabalho de pós-doutorado no

tema sistemas produto-serviço, ou (iii) ser membro de projetos de pesquisa sobre sistemas produto-serviço, ou (iv) ter publicações em periódicos relacionadas ao tema (classificadas nos extratos superiores do Qualis-CAPEs das Engenharias III como B1, A1 e A2).

Além de pesquisadores em PSS, foram identificados outros pesquisadores no contexto nacional que trabalham com avaliação do ciclo de vida ou avaliação de ciclo de vida social, adotando-se os mesmos critérios anteriormente descritos. Uma vez que a avaliação de *hotspots* é geralmente abordada na literatura sobre ciclo de vida, pesquisadores sobre ciclo de vida em geral tendem a possuir conhecimento sobre a abordagem e, por esta razão, foram selecionados. No contexto internacional, alguns pesquisadores que trabalham com avaliação da sustentabilidade e PSS foram identificados por meio de uma busca das palavras-chave relacionadas nos anais do CIRP *Industrial Product-service systems Conference*, uma das mais importantes conferências internacionais sobre sistemas produto-serviço. Foram considerados os seguintes critérios: (i) ter título de doutor, (ii) ter publicações no tema (avaliação da sustentabilidade e/ou avaliação do ciclo de vida de um PSS) ou (iii) ser membro de projetos relacionados ao tema. Ao total, 16 pesquisadores foram identificados como potenciais para avaliação da proposta, cujo perfil é mostrado no Quadro 12.

Quadro 12 - Síntese dos pesquisadores selecionados para avaliação da proposta.

Pesquisador	Filiação	País	Tema principal
Aguinaldo dos Santos	Universidade Federal do Paraná	Brasil 	PSS
Alan Lelah	<i>Grenoble Institute of Technology</i>	França 	PSS, ACV
Aldo Roberto Ometto	Universidade de São Paulo	Brasil 	ACV
Ana Paula Bezerra Barquet	<i>Technische Universität Berlin</i>	Alemanha 	PSS
Daniela Cristina Pigosso	<i>Technical University of Denmark</i>	Dinamarca 	PSS
Fernanda Hansch Beuren	Universidade do Estado de Santa Catarina	Brasil 	PSS
Glauco Henrique de Sousa Mendes	Universidade Federal de São Carlos	Brasil 	PSS

Continua

Quadro 12 - Síntese dos pesquisadores selecionados para avaliação da proposta - continuação.

Pesquisador	Filiação	País	Tema principal
Henrique Rozenfeld	Universidade de São Paulo	Brasil 	PSS
Jairo da Costa Junior	<i>Delf University of Technology</i>	Holanda 	PSS
Jorge Luis Amaya	<i>Grenoble Institute of Technology</i>	França 	PSS, ACV
Khaled Medini	<i>École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne</i>	França 	PSS
Louise Lau mann Kjaer	<i>Technical University of Denmark</i>	Dinamarca 	PSS, ACV
Marcelo Gitirana	Universidade do Estado de Santa Catarina	Brasil 	PSS
Peggy Zwolinski	<i>Grenoble Institute of Technology</i>	França 	PSS, ACV
Rosana Adami Mattioda	PUC – Paraná	Brasil 	ACV social
Sônia Valdívia	UNEP	Brasil 	ACV social

Fonte: elaborado pela autora.

O questionário resultou em um total de 40 questões de múltipla escolha relacionadas a diversos aspectos da proposta, divididas em 5 blocos, conforme mostra o Quadro 13. O primeiro bloco envolveu questões relacionadas às fases do ciclo de vida abordadas, se os especialistas concordavam com as fases do ciclo de vida identificadas, por exemplo, fabricação do produto, implementação, uso, etc. O segundo bloco envolveu perguntas em relação às categorias de *stakeholders* como, por exemplo, se as mesmas são pertinentes para avaliação de um PSS, *e.g.* “trabalhadores”. O terceiro bloco envolveu questões relacionadas às subcategorias selecionadas em cada categoria de *stakeholder*, e se as mesmas eram apropriadas para análise de um PSS, *e.g.* “saúde e segurança”. O quarto bloco envolveu questões relacionadas aos aspectos na dimensão ambiental, se também eram apropriados para análise de qualquer categoria de PSS, *e.g.* “consumo de água”.

Quadro 13 - Conjunto de perguntas do questionário de avaliação.

Blocos	Descrição	No. de questões	Exemplos de referências suporte
1	Questões relacionadas às fases do ciclo de vida*	1	Wiesner <i>et al.</i> (2015)
2	Questões relacionadas às categorias de <i>stakeholders</i> selecionadas*	5	UNEP/SETAC (2009); Benoit <i>et al.</i> , (2010)
3	Questões envolvendo as subcategorias de impacto social*	16	Benoit <i>et al.</i> , (2011); UNEP/SETAC (2013)
4	Questões envolvendo os aspectos ambientais*	5	Halme <i>et al.</i> (2004); Chou; Chen; Conley, 2015 (2015)
5	Questões relacionadas à uma série de aspectos envolvendo a avaliação de modelos**	14	Vernadat (1996)

\* Escala *Likert* de 5 pontos, representada qualitativamente pelas seguintes percepções: 1 (“discordo completamente”), 2 (“discordo”), 3 (“não concordo nem discordo”), 4 (“concordo”), 5 (“concordo fortemente”).

\*\* Escala *Likert*, representada qualitativamente pelas seguintes percepções: 1 (“muito insatisfatório”), 2 (“insatisfatório”), 3 (“nem satisfatório nem insatisfatório”), 4 (“satisfatório”), 5 (“muito satisfatório”).

O quinto bloco envolveu as questões relacionadas a critérios adicionais para avaliação de modelos de referência, conforme sugerido por Vernadat (1996) e adotados por outras publicações para avaliação de métodos simplificados para análise do ciclo de vida (e.g. HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003; ARENA; AZZONE; CONTE, 2013). Um exemplo de questão desse bloco é “como você avalia o escopo da abordagem proposta em relação às dimensões da sustentabilidade consideradas?”. O Quadro 14 apresenta os critérios utilizados para avaliação da proposta. O Apêndice C apresenta o questionário completo. Um teste piloto do questionário foi realizado, por meio de seu envio a um aluno de doutorado do grupo de pesquisa em avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço da *École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne* (França). O envio da versão piloto teve por objetivo verificar se o questionário apresentava clareza, se era suficientemente amplo e se permitia considerar os aspectos necessários para verificação da aplicabilidade da proposta nas

fases de projeto. Após sugestões feitas pelo pesquisador<sup>18</sup>, melhorias na apresentação das questões foram realizadas (por exemplo, em relação à descrição da abordagem proposta).

Quadro 14 - Critérios utilizados para avaliação da proposta pelos especialistas.

Critérios	Descrição
Utilidade	Utilidade do método proposto para identificação e análise dos <i>hotspots</i> durante as fases iniciais de projeto
Completeness	Completeness de abrangência de todas as categorias de <i>stakeholders</i> , categorias de impacto ambiental e subcategorias de impacto social consideradas
Escopo	Adequação do método proposto para avaliação de todos os aspectos considerados (dimensões, categorias de impacto ambiental, categorias de <i>stakeholders</i> , subcategorias de impacto social)
Abstração	Aplicação da abordagem proposta para avaliação de diferentes categorias de PSS
Profundidade	Profundidade do diagnóstico que a abordagem proposta permite realizar
Simplicidade	Simplicidade de aplicação da proposta durante as fases iniciais de projeto e pela equipe de projeto
Clareza	Clareza com a qual os <i>hotspots</i> são identificados e os resultados são apresentados
Objetividade	Objetividade da proposta para identificação dos <i>hotspots</i>
Previsão	Capacidade da proposta em fornecer uma visão geral dos impactos ao longo do ciclo de vida
Mensuração	Adequação dos procedimentos de mensuração adotados pela proposta

Fonte: elaborado pela autora com base em Vernadat (1996).

<sup>18</sup> Foram feitas as seguintes sugestões: (i) melhor detalhamento na descrição da proposta, (ii) agrupamento das questões referentes aos *stakeholders*, (iii) acréscimo de espaço para sugestões, que foram acatadas.

O questionário foi aplicado online, por meio do *Google Forms*, para facilitar as respostas pelos respondentes e análise dos resultados. Os pesquisadores foram contatados por email. Inicialmente, apresentou-se a proposta e, na sequência, as questões a serem analisadas pelos especialistas juntamente com as instruções para preenchimento do questionário. O tempo para responder o questionário foi estimado em 30 minutos. Após o retorno dos questionários, os mesmos foram analisados quanto ao conteúdo para realização de melhorias na proposta. A próxima seção apresenta os procedimentos adotados para verificação dos dados da análise pelos especialistas e realimentação da proposta.

### **3.3.2 Etapa 8 - Retroalimentação da proposta com base na avaliação dos especialistas**

Os dados coletados das respostas dos especialistas foram primeiramente tabulados em uma planilha em *Microsoft Excel*<sup>®</sup>. Uma análise da confiabilidade do questionário para os blocos de questões 3 e 4 foi realizada utilizando-se o coeficiente alfa de Cronbach<sup>19</sup>. Apenas esses dois blocos foram considerados porque os mesmos tratam das mesmas dimensões, *i.e.* no bloco 3 todas as questões tratam de subcategorias de impacto social e no bloco 4 todas as questões dizem respeito aos aspectos ambientais. Os blocos 1, 2 e 5 tratam de questões individuais para cada aspecto analisado, sendo que é recomendado que para o cálculo do alfa o questionário esteja dividido e agrupado em questões que tratem de um mesmo aspecto (HORA *et al.*, 2010). Os resultados obtidos são apresentados em mais detalhes no Apêndice D. É importante ressaltar que os valores do alfa obtidos foram acima de 0,70, que é o recomendado e identificado como “consistência interna alta” (STREINER, 2003).

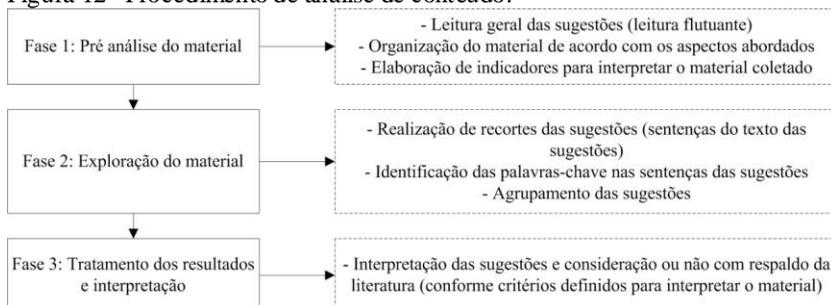
A partir das sugestões dos especialistas, melhorias foram realizadas na proposta, quando apropriado. O conteúdo das questões abertas com as sugestões de melhorias foi analisado, seguindo procedimento semelhante para análise de conteúdo de entrevistas proposto por BARDIN (1977). A Figura 12 ilustra as fases do processo

---

<sup>19</sup> O alfa mede a correlação entre respostas em um questionário através da análise das respostas dadas pelos respondentes, apresentando uma correlação média entre as perguntas (CRONABCH, 1951).

de análise de conteúdo (lado esquerdo da figura) e suas entregas principais (lado direito da figura).

Figura 12 - Procedimento de análise de conteúdo.



Fonte: elaborado pela autora com base em Bardin (1977).

Na primeira fase (Figura 12), inicialmente o conteúdo das respostas foi transcrito para uma planilha eletrônica em formato Excel<sup>®</sup>. O conteúdo das respostas foi integralmente lido, e as respostas foram organizadas de acordo com os aspectos às quais se referiam (*i.e.* fases do ciclo de vida, aspectos ambientais, subcategorias de impacto social, etc.). Critérios foram definidos para interpretação e consideração das sugestões. Primeiramente, para considerar a sugestão para retroalimentação da proposta, a mesma deveria ou estar alinhada com a literatura de PSS (*i.e.* deveria ser mencionado outros estudos que considerem avaliação do ciclo de vida de um PSS, fases do ciclo de vida de um PSS, aspectos ambientais e aspectos sociais), e para identificação de tal alinhamento o portfólio de artigos selecionados na Fase I do trabalho foi revisto; e/ou (ii) estar alinhada com outros métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida durante o projeto, conforme apresentado na seção 2.3 do Capítulo 2.

Além disso, se a sugestão feita diz respeito à inclusão de subcategorias de impacto social ou aspectos ambientais, as mesmas deveriam além de atender os critérios descritos anteriormente, atender aos critérios de seleção/inclusão da subcategoria de impacto social ou aspecto ambiental definidos na segunda fase do trabalho para estruturação da primeira versão da proposta. Os critérios para seleção, conforme descrito na seção 3.2.2 do presente capítulo, dizem respeito às subcategorias de impacto social e aspectos ambientais serem genéricos o bastante para avaliação de qualquer tipo de oferta de PSS (conforme classificação de Tukker, 2004). No caso de sugestão de exclusão de

alguma subcategoria, os argumentos sugeridos para exclusão foram analisados para verificação de seu alinhamento com os critérios utilizados para inclusão da subcategoria (na primeira versão da proposta), e em caso de desalinhamento com os critérios definidos inicialmente, as sugestões foram acatadas.

No que diz respeito às sugestões feitas em relação ao bloco 5 do questionário, que relacionavam-se à aspectos de estrutura da abordagem proposta (ver Quadro 14), para os critérios que foram julgados como “nem insatisfatório nem satisfatório” pela maioria dos especialistas, outros métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida durante o projeto identificados durante a revisão de literatura sobre o tema foram analisados para verificar como os mesmos abordam tais aspectos. A consulta às essas publicações permitiu realizar melhorias na proposta a partir de como o aspecto considerado é abordado por outros trabalhos. Nesse caso, por exemplo, um dos aspectos da proposta (clareza com que os *hotspots* são identificados) foi avaliado por metade dos especialistas como “nem satisfatório nem insatisfatório”. Para realizar melhorias quanto à esse aspecto, uma vez que sugestões não foram realizadas, a literatura de métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida durante o projeto foi consultada. Foi identificado que outras abordagens para realização de análises de impactos ao longo do ciclo de vida utilizam *checklists* para guiar o processo (e.g. ERPA, MET-Matrix) (GRAEDEL; ALLENBY, 1995; BREZET; VAN HEMEL, 1997). Com base nesses *checklists* desenvolvidos por outras publicações (formato das perguntas sugeridas pelos mesmos), um *checklist* foi proposto para guiar a análise e melhorar a clareza com que os *hotspots* são identificados.

Na segunda fase (Figura 12), recortes das sugestões foram feitos (sentenças do texto), e palavras-chave foram identificadas e agrupadas para buscar no portfólio de artigos identificado na primeira fase da pesquisa (Figura 6) tais aspectos e assim realizar as melhorias na proposta. Na terceira fase (Figura 12), as sugestões foram analisadas e consideradas ou não, de acordo com o alinhamento com a literatura conforme definido na Fase I.

A primeira versão da proposta foi então retroalimentada, com base nas sugestões consideradas. Por exemplo, no caso das fases do ciclo de vida, as fases sugeridas pelos especialistas para serem consideradas foram acrescentadas na primeira versão do ciclo de vida estruturado, se tais fases estavam alinhadas com a literatura de ciclo de vida e avaliação do ciclo de vida de um PSS. As melhorias no que diz respeito à estrutura da proposta como um todo (bloco 5 do questionário)

foram realizadas se as mesmas foram consideradas por outros métodos simplificados de avaliação do ciclo de vida durante o projeto, após a análise dos métodos apresentados na seção 2.3 do Capítulo 2.

Na seqüência, a segunda versão da abordagem proposta para análise de *hotspots* (após retroalimentação a partir das sugestões dos especialistas) é aplicada no desenvolvimento hipotético de um PSS, para fins demonstração de aplicação prática, conforme descrito a seguir.

### **3.3.3 Etapa 9 - Exemplo simulado de aplicação da proposta**

Com o propósito de demonstrar como seria a aplicação da proposta durante as fases iniciais de projeto de um PSS, um exemplo simulado de aplicação prática no suposto projeto de um PSS orientado ao resultado (conforme classificação de Tukker, 2004) foi realizada. O PSS analisado já se encontra implementado no Brasil, e foi selecionado por já terem sido realizados estudos anteriores (SOUSA-ZOMER; CAUCHICK-MIGUEL, 2016) sobre o mesmo e, assim, dispõe de informações acerca do sistema. Além disso, este PSS foi considerado como adequado para análise, uma vez que a abordagem proposta é destinada à avaliação do potencial sustentável de sistemas produto-serviço nas fases iniciais de projeto e o PSS em análise apresenta potencial sustentável quando comparado com os modelos de negócio convencionais que visa substituir (venda de purificadores de água ou água engarrafada). No entanto, a suposição aqui feita é que o PSS é ainda inexistente, e a partir do conceito ter sido definido, bem como os possíveis produtos e serviços que fazem parte do sistema para provisão da função principal identificada, a equipe de projeto procederá a análise de *hotspots* para identificação de possíveis impactos ambientais e sociais ao longo do ciclo de vida do PSS. Os produtos e serviços tradicionais (modelos de negócio convencionais) são também identificados para serem adotados como os “sistemas de referência” e para coleta de informações acerca dos mesmos para subsidiar a análise.

O PSS em análise consiste em um sistema de purificação de água. O modelo de negócio foi definido a partir da identificação de uma necessidade de oferecer água potável de qualidade de uma forma sustentável, e consiste na entrega do resultado “água purificada” aos consumidores com o objetivo de oferecer a mesma função que o produto “água mineral engarrafada” ou que “purificadores domésticos” no modelo de negócio convencional. A necessidade de uma solução mais sustentável para oferta de água potável à população foi identificada, pois o Brasil é o quinto maior mercado consumidor de água engarrafada do

mundo, segundo estatísticas do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2014). O crescente consumo de água mineral, no entanto, gera uma série de impactos ambientais associados ao consumo de embalagens plásticas (DIAS; BERNARDES, 2016).

O modelo de negócio consiste na venda volumes de água purificada pré-estabelecidos, em um modelo de PSS orientado ao resultado, segundo a classificação de Tukker (2004). Equipamentos de purificação de água são os principais produtos do sistema, e os mesmos serão instalados em localidades de comum acesso da população para compra de água mineral, como supermercados, padarias e outros pequenos estabelecimentos comerciais. Os serviços previstos consistem na oferta de água purificada propriamente dita, serviços de instalação e manutenção (preventiva ou corretiva) do equipamento durante a fase de uso, desinstalação do equipamento em caso de encerramento do contrato com o estabelecimento comercial e serviços ao fim da vida útil.

Os serviços de manutenção preventiva precisam ser realizados constantemente durante a fase de uso para manutenção da função do sistema. Tais serviços dizem respeito à limpeza dos reservatórios e pequenos reparos com trocas do elemento filtrante. Os serviços de manutenção corretiva são realizados quando ocorre algum problema durante o uso que é detectado pelo cliente, e o provedor do serviço precisa realizar reparos para o que o equipamento de purificação retorne ao funcionamento normal.

Os atores envolvidos na oferta são o provedor dos serviços, o fabricante do equipamento de purificação, os proprietários dos estabelecimentos comerciais onde o equipamento será instalado, a concessionária de abastecimento local que é a fornecedora de água, os consumidores de água engarrafada e a comunidade local onde os equipamentos são instalados. Veículos de apoio serão utilizados para instalação e manutenção dos equipamentos. A infraestrutura consiste na infraestrutura local dos estabelecimentos comerciais para instalação do sistema e a infraestrutura da rede pública de abastecimento de água e de saneamento. A ideia de operação consiste em o consumidor ir até o estabelecimento comercial onde o equipamento encontra-se instalado e adquirir o volume de água desejado, ao invés da aquisição do produto “água mineral engarrafada” ou aquisição de um purificador de água doméstico. Nesse caso, o esquema de aquisição adotado é o denominado “*pay-per-service unit*”, de acordo com a classificação de sistemas produto-serviço propostas por Tukker (2004). Uma descrição mais detalhada de outros aspectos do sistema pode ser encontrada em Sousa-Zomer e Cauchick-Miguel (2016).

A partir da definição do conceito e respectivos produtos e serviços envolvidos, identificaram-se como sistemas de referência purificadores de água (pois um equipamento de purificação de água similar em certos aspectos a um purificador de água doméstico é o principal produto do PSS), e recipientes para aquisição de água (pois será necessário para aquisição da água). Esses são os produtos utilizados nos modelos de negócio tradicionais, para a oferta da mesma função que o PSS visa oferecer (*i.e.* a venda de água engarrafada, e a venda de purificadores de água). Nesse caso, foram consideradas garrafas plásticas, as mesmas utilizadas para aquisição de água mineral, por duas razões: primeiramente para identificar possíveis impactos associados ao consumo de garrafas plásticas, caso as mesmas sejam utilizadas no PSS (a definição de quais recipientes serão utilizados ainda não foi feita, pois se trata das fases iniciais de projeto, mas foi feita a suposição de que recipientes plásticos seriam os mais utilizados, uma vez que outro estudo já apontou que em sistemas semelhantes tais recipientes são os mais utilizados), e segundo porque o reaproveitamento de tais garrafas para consumo de água é uma prática comum na região analisada e onde o PSS será implementado, associada aos aspectos culturais da região.

O ciclo de vida do sistema produto-serviço em análise é primeiramente estruturado, com base nas fases do ciclo de vida definidas na segunda versão da proposta do trabalho, que será apresentada posteriormente no Capítulo 4. Na sequência, informações acerca do ciclo de vida dos produtos de referência (purificador de água e garrafas plásticas), precisam ser levantadas, e uma busca foi conduzida na literatura para identificação de estudos anteriores sobre o ciclo de vida desses produtos. A equipe de projeto procederá da mesma maneira, realizaria uma busca por publicações, relatórios técnicos, e outras fontes de informação acerca desses sistemas de referência. No caso do presente exemplo, uma busca na *Scopus* e *Google Acadêmico* utilizando palavras-chave relacionadas à ciclo de vida, purificadores de água e garrafas plásticas foi conduzida. As fontes de informação identificadas e que serão utilizadas são apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15 - Informações levantadas sobre os sistemas de referência.

Tipo de informação	Referência
Estudo do ciclo de vida de várias opções de oferta de água potável, incluindo equipamentos de purificação que oferecem água de forma semelhante ao modelo de negócio em estudo	Nestlé Waters North America (2010)
Estudo do ciclo de vida de purificadores de água utilizando filtros de osmose reversa	Chun; Lee, (2016)
Estudos do ciclo de vida de embalagens plásticas/água engarrafada	Valt, 2004; Gleick; Cooley, (2009); Griffin, 2009; Chen; Pelton, Smith (2016)
Dados sobre aspectos sociais relacionados a diversos setores envolvidos no ciclo de vida e localidades aonde as fases do ciclo de vida são realizadas	<i>Social Hotspots Database (SHDB)</i>

Fonte: elaborado pela autora com base na busca bibliográfica.

No que diz respeito à dimensão social, uma vez que foi supostamente definido que todas as fases do ciclo de vida seriam realizadas no Brasil (*i.e.* desde a extração de matéria-prima para fabricação do produto até disposição/reciclagem ao fim da vida útil), e que os setores envolvidos em cada fase do ciclo de vida são conhecidos, uma vez que o ciclo de vida é estruturado (*e.g.* na fase de fabricação do produto, sabe-se a partir da estruturação do ciclo de vida e identificação dos produtos envolvidos, que o setor de petróleo e gás está envolvido, uma vez que plásticos são componentes do produto e petróleo é matéria prima dos mesmos), informações sociais acerca de temas sociais de interesse estão disponíveis em uma base de dados para condução de análises de *hotspots* sociais, a *Social Hotspots Database*<sup>20</sup> (SHDB). Essa base de dados fornece estatísticas sobre riscos sociais de acordo com países e setores envolvidos no ciclo de vida dos produtos e serviços, e também foi consultada para obtenção de dados, conforme mostra o Quadro 15. Assumiu-se que todas as fases do ciclo de vida são

<sup>20</sup> A base de dados pode ser acessada em: <http://socialhotspot.org/>

realizadas no Brasil, de forma hipotética, mas no contexto real a equipe de projeto deve identificar onde cada fase do ciclo de vida é realizada.

Com base nas informações levantadas, análise de *hotspots* pode ser conduzida. Primeiramente, a equipe de projeto analisa a relevância das fases do ciclo de vida e atribui os escores (de 0 a 3) para cada fase do ciclo de vida, de acordo com a sua relevância para contribuir com os impactos totais que podem ser gerados pelo sistema, e separadamente para cada dimensão da sustentabilidade considerada. Assim, para a dimensão ambiental, as fontes de informação identificadas que dizem respeito a avaliações do ciclo de vida do purificador de água e das garrafas plásticas foram consultadas e foram identificadas as fases do ciclo de vida de ambos que mais contribuem para a geração de impactos. No momento de atribuição dos escores às fases do ciclo de vida do PSS, essa informação foi utilizada. Por exemplo, supondo que foi identificado que a fase de uso do purificador de água (adotado como sistema de referência) é a que mais contribui para a geração dos impactos totais do sistema. Para o caso das garrafas plásticas, a fase de uso também contribui, mas de forma menos significativa, sendo que para o ciclo de vida das garrafas a fase que mais contribui é a de fabricação. Esse tipo de análise deve ser realizada pela equipe de projeto. Ao atribuir os escores para as fases do ciclo de vida do PSS, os escores 3 ou 2 devem ser atribuídos à fase de uso (comparativamente com as demais fases do ciclo de vida), pois impactos ambientais podem ser gerados nessa fase, uma vez que já são gerados no modelo de negócio tradicional de venda de purificadores, de acordo com as fontes consultadas. É dessa maneira que informações sobre os ciclos de vida dos produtos de referência suportam o processo de atribuição de escores na análise de *hotspots*.

Da mesma forma, para a dimensão social, todos os setores envolvidos nas fases do ciclo de vida são identificados, e uma consulta à base de dados SHBD para os riscos sociais relacionados aos setores foi realizada. Se a consulta a essa base de dados demonstrar que para determinado setor envolvido na fase do ciclo de vida há altos riscos sociais (classificação dos riscos sociais proposta pela base de dados como baixo, médio, alto e muito alto), então o escore 3 deve ser atribuído. Por exemplo, supondo-se que para a fase do ciclo de vida “extração da matéria-prima”, onde os setores de petróleo e gás, e metalurgia são os principais envolvidos, identificou-se pela consulta à base de dados que os riscos sociais (e.g. saúde e segurança dos trabalhadores, risco de acidentes de trabalho, etc.) são extremamente altos na região onde essa fase do ciclo de vida ocorre (Brasil). Para essa fase do ciclo de vida, o escore 3 deve ser atribuído, pois a mesma pode

contribuir significativamente para o total de impactos sociais gerados ao longo do ciclo de vida.

Após atribuição dos escores às fases do ciclo de vida, realiza-se a atribuição dos escores aos aspectos ambientais em cada fase do ciclo de vida, e às subcategorias de impacto social em cada fase do ciclo de vida. Da mesma forma que descrito anteriormente, a atribuição dos escores ocorre com base em estudos anteriores e consulta à base de dados. Na dimensão ambiental, por exemplo, verificou-se pelos estudos do ciclo de vida do purificador que a fase que mais consome energia é a fase de uso. Assim, para a fase de uso do ciclo de vida do PSS, no que diz respeito ao aspecto “consumo de energia”, o escore 3 é atribuído. Para a dimensão social, verificou-se que a fabricação do equipamento oferece diversos riscos sociais aos trabalhadores, e por exemplo há um grande risco de acidentes de trabalho associados ao setor no Brasil. Assim, para a subcategoria de impacto social “saúde e segurança”, no grupo de *stakeholders* “trabalhadores”, na fase do ciclo de vida “fabricação do equipamento”, o escore 3 é atribuído. Dessa forma procede-se a análise de todos os aspectos ambientais e subcategorias de impacto social nas diversas fases do ciclo de vida.

Por fim, os *hotspots* podem ser identificados. Conforme apresentado na seção 3.2.4 do presente capítulo, na etapa de identificação dos *hotspots* os escores atribuídos às fases do ciclo de vida são multiplicados pelos escores atribuídos aos aspectos ambientais, no caso da dimensão ambiental, e pelos escores atribuídos às subcategorias de impacto, no caso da dimensão social. Supondo, por exemplo, que para o aspecto ambiental “consumo de energia” na fase de uso tenha sido atribuído o escore 3. A fase de uso, na análise de relevância das fases do ciclo de vida recebeu o escore 2. Ao realizar a multiplicação ( $2 \times 3$ ), o valor 6 é obtido, o que significa (segundo o sugerido pela SHSA adotada como ponto de partida para estruturação da proposta) que esse aspecto ambiental é um *hotspot* na fase do ciclo de vida analisada e a equipe de projeto deve estabelecer um plano de ação nas fases seguintes de projeto (e.g. definir uma maneira de monitorar o consumo de energia do equipamento durante o uso) para mitigar os impactos que podem ser gerados, e que já são gerados no modelo de negócio convencional.

A demonstração de aplicação da proposta será apresentada no capítulo a seguir, após apresentação dos resultados da estruturação da proposta.

#### 4. PROPOSTA PARA ANÁLISE de *HOTSPOTS* AMBIENTAIS E SOCIAIS NO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO

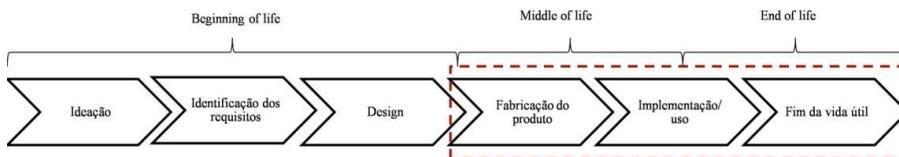
Este capítulo apresenta os resultados do trabalho, iniciando pelos resultados estruturação da primeira versão da proposta. Em seguida, são apresentados os resultados da avaliação realizada por especialistas, e na sequência as melhorias realizadas conforme as suas recomendações. Por fim, uma breve comparação da proposta com a ACV é apresentada. O capítulo finaliza com um exemplo de aplicação da proposta para o desenvolvimento fictício de um PSS do tipo “orientado ao resultado”, por ser uma solução com potencial sustentável e se dispor de dados, conforme descrito na seção 3.3.3.

##### 4.1 ESTRUTURAÇÃO DA PRIMEIRA VERSÃO DA PROPOSTA PARA ANÁLISE DE *HOTSPOTS*

Os aspectos da versão inicial da proposta são apresentados na ordem em que a análise de *hotspots* é realizada e as definições para estruturação da proposta foram feitas, conforme apresentado no Capítulo 3, ou seja, iniciam-se pela definição das fronteiras do sistema (fases do ciclo de vida, aspectos ambientais, subcategorias de impacto social), seguidas pelas demais etapas de análise de relevância e identificação dos *hotspots*.

Conforme apresentado na seção 3.2 do Capítulo 3, as fases do ciclo de vida do PSS foram estruturadas com base nas macro-fases do ciclo de vida de produtos e serviços, conforme apontado por Wiesner *et al.* (2015), ou seja, *beginning of life* (BoL), *middle of life* (MoL) e *end of life* (EoL), do ponto de vista do provedor e alinhadas com outras publicações e com as fases do ciclo de vida sugeridas pelas mesmas (*e.g.* PERUZZINI; GERMANI, 2014; WIESNER *et al.*, 2015). As fases do ciclo de vida identificadas nas publicações sobre projeto e avaliação do ciclo de vida de um PSS foram analisadas, e as fases do ciclo de vida mais abordadas e que dizem respeito às fases operacionais foram consideradas, de forma genérica (*i.e.* fabricação do produto, implementação/uso do PSS e fim da vida útil). Essas fases foram consideradas, pois, conforme já discutido/apontado anteriormente, é nessas fases que os possíveis impactos ambientais e sociais são gerados (PERUZZINI; GERMANI, 2014). A Figura 13 mostra as fases do ciclo de vida de um PSS inicialmente consideradas.

Figura 13 - Fases do ciclo de vida inicialmente consideradas.



Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura e desenvolvimento da proposta.

Destaca-se que estas fases são também abordadas por outras publicações sobre métodos simplificados para a avaliação do ciclo de vida de produtos durante o projeto (e.g. HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003, ARENA; AZZONE; CONTE, 2013).

Os aspectos ambientais<sup>21</sup> - que dizem respeito à segunda dimensão a ser trabalhada na estruturação da análise de *hotspots* foram identificados e selecionados com base em critérios previamente definidos (ver Capítulo 3). O Quadro 16 apresenta os aspectos ambientais selecionados para composição da proposta. Os aspectos ambientais identificados também foram selecionados de forma a serem genéricos o bastante para serem analisados no projeto de qualquer tipo de PSS. Cabe ressaltar, no entanto, que aspectos específicos podem ser acrescentados, alinhados à cada situação específica.

Na dimensão social, os aspectos sociais foram considerados da perspectiva de cada *stakeholder* (ver Capítulo 3, seção 3.2.2). As categorias de *stakeholders* selecionadas com base na literatura de PSS e nas diretrizes da SLCA para análise de *hotspots* foram: (i) trabalhadores (envolvidos nas fases do ciclo de vida de um PSS), (ii) consumidores (do PSS), (iii) comunidade local onde o PSS será inserido, (iv) sociedade<sup>22</sup> (em nível regional e nacional) e (v) parceiros de negócio (e.g. o provedor de serviços, o fabricante dos produtos, quando não é o mesmo que o provedor de serviços, um patrocinador como no caso do

<sup>21</sup> Conforme apresentado no capítulo 3, o termo “aspectos” conforme a ISO 14001 refere-se a elementos das atividades, produtos e serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente e contribuir para geração de impactos.

<sup>22</sup> De acordo com as diretrizes da UNEP/SETAC (2009), a diferença entre os grupos “comunidade local” e “sociedade” é que a sociedade é mais abrangente, ou seja, envolve a esfera nacional e até mesmo global. Os impactos para o grupo sociedade, nesse sentido, são mais abrangentes.

Banco Itaú para o sistema de compartilhamento de bicicleta do *BikeRio*, ou seja, diz respeito à todos os atores da cadeia de valor.

Quadro 16 - Resultados relativos aos aspectos ambientais considerados na proposta.

Aspectos ambientais	Referências (literatura de PSS)	Referências (literatura análise de <i>hotspots</i> )
Consumo de energia	Vogtlander <i>et al.</i> (2001); Halme <i>et al.</i> (2004); Maxwell; Sheate; Van der Vorst (2006); Hu <i>et al.</i> (2012); Chou; Chen; Conley (2015)	Bienge <i>et al.</i> (2009); UNEP/SETAC (2014)
Consumo de água	Halme <i>et al.</i> (2004); Chou; Chen; Conley (2015)	Bienge <i>et al.</i> (2009); Liedtke <i>et al.</i> (2013); UNEP/SETAC (2014)
Geração de resíduos sólidos e líquidos	Halme <i>et al.</i> (2004); Maxwell; Sheate; Van der Vorst (2006) Chou <i>et al.</i> (2015)	Bienge <i>et al.</i> (2009); UNEP/SETAC (2014)
Emissão de poluentes (gases efeito estufa)	Halme <i>et al.</i> (2004); Maxwell; Sheate; Van der Vorst (2006); Hu <i>et al.</i> (2012); Peruzzini; Germani (2014); Chou; Chen; Conley (2015); Kim <i>et al.</i> (2016)	Bienge <i>et al.</i> (2009); Liedtke <i>et al.</i> (2013); UNEP/SETAC (2014)
Consumo de materiais	Halme <i>et al.</i> (2004); Maxwell; Sheate; Van der Vorst (2006) Hu <i>et al.</i> (2012); Lee <i>et al.</i> (2012); Peruzzini; Germani (2014); Kim <i>et al.</i> (2016)	Bienge <i>et al.</i> (2009); UNEP/SETAC (2014)

Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura e desenvolvimento da proposta.

Após definição das categorias de *stakeholders*, as subcategorias de impacto social<sup>23</sup> adequadas para análise nas fases iniciais de projeto foram identificadas na literatura de SLCA para cada grupo de *stakeholder*, adotando-se os critérios descritos na seção 3.2.2 do

<sup>23</sup> Conforme apresentado no Capítulo 3, o termo “subcategorias de impacto” foi considerado para a dimensão social porque é assim abordado na literatura de SLCA (UNEP/SETAC, 2009), a qual foi adotada como ponto de partida para estruturação da proposta do presente trabalho. O termo “impacto social” significa conseqüências de pressões positivas ou negativas sobre parâmetros sociais (ou seja, bem-estar dos *stakeholders*).

Capítulo 3. Para o primeiro grupo de *stakeholders* “trabalhadores”, 8 subcategorias de impacto social são sugeridas pelas diretrizes da UNEP/SETAC (2009): (i) liberdade de associação, (ii) trabalho infantil, (iii) salário justo, (iv) quantidade de horas de trabalho, (v) trabalho forçado, (vi) igualdade de oportunidades/discriminação, (viii) saúde e segurança, (ix) seguridade social/benefícios sociais. No entanto, a maioria das subcategorias para esse grupo diz respeito à atuação e postura das organizações envolvidas, o que implica que as mesmas sejam conhecidas, bem como sua conduta em relação a tais aspectos, o que não é o caso nas fases iniciais de projeto quando não se tem disponível esse tipo de informação. Assim, as subcategorias de impacto social que podem ser relacionados ao tipo de PSS que está sendo projetado (*i.e.* ao tipo de modelo de negócio/produtos e serviços envolvidos) e por isso são passíveis de análise nas fases iniciais de projeto, foram selecionadas. Estas subcategorias são apresentadas no Quadro 17, bem como algumas considerações acerca das mesmas.

Em relação à subcategoria “horas de trabalho”, as horas de trabalho devem cumprir as leis aplicáveis à indústria em questão (UNEP/SETAC, 2009), e por isso estão diretamente relacionadas ao modelo de negócio e setores envolvidos. No que diz respeito à subcategoria “saúde e segurança”, a saúde e segurança dos trabalhadores, que se relaciona à proteção dos mesmos no trabalho contra riscos adversos à saúde (UNEP/SETAC, 2009), também tem relação com o tipo de modelo de negócio envolvido e atividades executadas pelos trabalhadores em cada fase do ciclo de vida. Informações sobre riscos de horas excessivas de trabalho e problemas de saúde também estão disponíveis para os setores econômicos envolvidos no ciclo de vida, de acordo com as regiões onde as fases do ciclo de vida serão realizadas. As demais subcategorias que não foram selecionadas relacionam-se principalmente às práticas adotadas pela organização (UNEP/SETAC, 2009). Uma descrição de cada subcategoria para cada grupo de *stakeholders* é fornecida no Apêndice E, bem como uma descrição das subcategorias que não foram selecionadas por não atenderem aos critérios de seleção para composição da proposta conforme descrito na seção 3.2.2 do Capítulo 3.

Embora dados relativos às demais subcategorias como, por exemplo, “estatísticas sobre trabalho forçado”, possam ser identificadas para as regiões onde as fases do ciclo de vida serão realizadas, as mesmas não se relacionam aos processos e tipo de PSS em desenvolvimento, não atendendo ao critério estabelecido para sua seleção (*i.e.* “relação da subcategoria com os processos”, conforme

Capítulo 3). Tais subcategorias também não foram selecionadas por outras publicações que consideraram o mesmo critério adotado no presente trabalho para selecionar as subcategorias de impacto social (e.g. LEHMANN *et al.*, 2013).

Quadro 17 - Subcategorias de impacto social do grupo de *stakeholders* “trabalhadores”.

Subcategorias	Descrição	Justificativa/observações <sup>24</sup>	Referências
Saúde e segurança	Significa a promoção e manutenção de altos níveis de bem estar físico, mental e social e proteção dos trabalhadores contra riscos	Podem ser relacionada com o modelo de negócio, setores envolvidos em cada uma das fases do ciclo de vida, além de estar relacionada unicamente ao perfil e práticas da organização	UNEP/SETAC (2009); Hu <i>et al.</i> (2012); Lee <i>et al.</i> (2012); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Peruzzini; Germani (2014); UNEP/SETAC (2014); Chou <i>et al.</i> (2015)
Horas de trabalho	Verifica se as horas de trabalho cumprem as leis aplicáveis e os padrões da indústria/setor	Podem ser relacionadas ao modelo de negócio de acordo com o tipo de atividade a ser realizada em cada fase do ciclo de vida de um PSS e localidade onde a fase do ciclo de vida será realizada	

Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura e desenvolvimento da proposta.

Em relação à categoria de *stakeholders* “consumidores”, 5 subcategorias de impacto são sugeridas pelas diretrizes da UNEP/SETAC (2009): (i) saúde e segurança, (ii) mecanismos de *feedback*, (iii) privacidade, (iv) transparência, e (v) responsabilidade no fim da vida útil. Entre as mesmas, quatro delas atendem ao critério de poderem ser relacionadas ao modelo de negócio. As subcategorias

<sup>24</sup> Justifica-se porque a subcategoria foi selecionada para integração da proposta, e observações são pontos que foram obtidos da literatura de PSS que suportam a justificativa, quando relevante.

selecionadas são apresentadas no Quadro 18, bem como uma descrição de cada uma delas e a justificativa para seleção.

Quadro 18 - Subcategorias de impacto social resultantes para os *stakeholder* “consumidores”.

Subcategorias	Descrição	Justificativa/observações	Referências
Saúde e segurança	Diz respeito aos produtos e serviços serem seguros durante a fase de uso	Está relacionada aos tipos de produtos e serviços	UNEP/SETAC (2009); Hu <i>et al.</i> (2012); UNEP/SETAC (2014)
Mecanismos de <i>feedback</i>	Diz respeito aos mecanismos em que os consumidores se comunicam com a organização e revelam sua satisfação	Determinados tipos de PSS requerem alta interação com o consumidor durante a fase de uso, e um PSS precisa ser monitorado para garantir sua funcionalidade, disponibilidade e resultados	Halme <i>et al.</i> (2004); UNEP/SETAC (2009); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Chen <i>et al.</i> (2015)
Privacidade durante o uso	Diz respeito aos mecanismos para respeitar e proteger a privacidade do consumidor	Há soluções de PSS em que o monitoramento durante a fase de uso é intensivo	UNEP/SETAC (2009)
Responsabilidade no fim da vida útil	Diz respeito aos esforços para abordar os impactos sociais e de saúde pública referentes ao fim da vida útil do produto ou serviço	Há soluções de PSS em que a responsabilidade ao fim de vida útil é essencial (por exemplo, no caso de envolver produtos com potenciais e significativos impactos ambientais)	UNEP/SETAC (2009)

Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura e desenvolvimento da proposta.

Apesar de as subcategorias “privacidade durante o uso”, “responsabilidade no fim da vida útil”, e “mecanismos de feedback” também serem relacionadas ao perfil de uma organização, as mesmas têm conexão com o tipo de PSS, produtos e serviços envolvidos e são relevantes para determinados tipos de oferta. A subcategoria “transparência” diz respeito às práticas da organização para comunicar os consumidores sobre suas ações de responsabilidade social (UNEP/SETAC, 2009).

Para a categoria de *stakeholders* “comunidade local”, 9 subcategorias de impacto foram sugeridas na literatura de avaliação de ciclo de vida social (BENOIT *et al.*, 2011; UNEP/SETAC, 2013): (i) deslocalização e migração, (ii) envolvimento dos *stakeholders* da comunidade, (iii) respeito aos direitos indígenas, (iv) herança cultural, (v) geração de empregos locais, (vi) acesso a recursos imateriais, (vii) acesso a recursos materiais, (viii) condições de vida saudável, (ix) condições de vida seguras. O Quadro 19 apresenta as subcategorias selecionadas como apropriadas por relacionarem-se ao modelo de negócio e não unicamente ao perfil da organização.

Embora algumas das subcategorias mostrada no Quadro 19 também tenham relação com o perfil e práticas adotadas pelas organizações envolvidas no ciclo de vida, como no caso da subcategoria “herança cultural”, as mesmas também estão relacionadas com o tipo de modelo de negócio e características da localidade onde a fase do ciclo de vida será realizada. Dessa forma, foram selecionadas, pois podem ser relevantes para o contexto de desenvolvimento de determinados tipos de PSS.

No que diz respeito à categoria de *stakeholders* “atores da cadeia de valor”, as diretrizes da UNEP/SETAC (2009) e os trabalhos de Benoit *et al.* (2010, 2011) sugerem 4 subcategorias: (i) competição justa, (ii) respeito aos direitos de propriedade intelectual, (iii) relacionamento entre os atores, e (iv) promoção da responsabilidade social. Essas subcategorias são predominantemente relacionadas às práticas e comportamento das organizações.



Quadro 19 - Subcategorias de impacto social selecionadas para o *stakeholders* “comunidade local”.

Subcategorias	Descrição	Justificativa/observações	Referências
Condições de vida saudável	Avalia como as organizações influenciam a segurança e a saúde da comunidade	Os impactos das operações também se relacionam ao tipo de modelo de negócio e as atividades envolvidas, e como as mesmas impactam na saúde, segurança e bem estar da comunidade onde serão inseridas	Hu <i>et al.</i> (2012); Lee <i>et al.</i> (2012); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Peruzzini; Germani (2014)
Acesso a recursos materiais	Avalia em que medida as organizações respeitam, trabalham para proteger, fornecer ou melhorar o acesso aos recursos materiais	Um PSS visa permitir que mais indivíduos tenham acesso a produtos originalmente inacessíveis e melhorar o acesso à infraestrutura. Também se relaciona com o tipo de PSS	UNEP/SETAC (2009)
Acesso a recursos imateriais	Avalia em que medida as organizações respeitam, trabalham para proteger, fornecer ou melhorar o a recursos imateriais	Um PSS deve incentivar o envolvimento da comunidade e promover a transferência de tecnologia e o desenvolvimento de competências onde será implementado	UNEP/SETAC (2009)
Envolvimento da comunidade	Diz respeito ao envolvimento de grupos da comunidade que podem ser afetados pelas ações da organização ou pelos produtos/serviços	Um PSS deve incentivar o envolvimento dos <i>stakeholders</i> da comunidade onde será inserido para facilitar o desenvolvimento econômico da região	UNEP (2002); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Ceschin (2014b)

Continua

Quadro 19 - Subcategorias de impacto social selecionadas para o *stakeholders* “comunidade local” - continuação.

Subcategorias	Descrição	Justificativa/observações	Referências
Geração de empregos	Avalia se a organização indiretamente ou diretamente afeta a geração de empregos locais	O tipo de PSS e o modelo de negócio também têm ligação com a geração de empregos locais. Um PSS tem potencial de gerar empregos se a relação com os <i>stakeholders</i> é intensiva	Hu <i>et al.</i> (2012); Lee <i>et al.</i> (2012); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Ceschin (2014b)
Herança cultural	Avalia se uma organização respeita os valores culturais e reconhece que os membros da comunidade onde a solução será inserida têm o direito de manter sua cultura	A implementação de sucesso de um PSS é extremamente sensível a estar alinhada com as características culturais do local onde a solução será inserida	UNEP/SETAC (2009), Lehmann <i>et al.</i> (2013); Ceschin (2014b); Chou <i>et al.</i> (2015)

Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura e desenvolvimento da proposta.

A única subcategoria que foi selecionada como adequada é apresentada no Quadro 20, por a mesma ser a única subcategoria de impacto social que pode ser associada ao tipo de modelo de negócio e as demais estarem relacionadas principalmente ao perfil e práticas adotadas pelas organizações. O tipo de modelo de negócio e atividades associadas pode causar impactos em outras organizações envolvidas na cadeia de valor. Por exemplo, no caso de um modelo de *bike-sharing* ou *car-sharing* que tem publicidade envolvida, a inclusão de publicidade nos produtos, que é comum ao modelo de negócio, pode contribuir para o posicionamento estratégico das organizações que estão sendo promovidas. Esses aspectos são relevantes em alguns tipos de PSS, principalmente durante a fase de uso.

Quadro 20 - Subcategorias de impacto social selecionadas para o *stakeholders* “atores da cadeia de valor”.

Subcategorias	Descrição	Justificativa/observações	Referências
Relacionamento entre os atores	Diz respeito aos impactos e conseqüências não intencionais que as decisões de uma organização podem causar em outras organizações	O tipo de modelo de negócio pode contribuir para o posicionamento estratégico e competitividade das organizações envolvidas na cadeia de valor	Mont (2002)

Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura e desenvolvimento da proposta.

A última categoria de *stakeholders* “sociedade” envolve 5 subcategorias, conforme as diretrizes da UNEP/SETAC (2009): (i) compromisso público com questões de sustentabilidade, (ii) prevenção e mitigação de conflitos, (iii) contribuição para desenvolvimento econômico, e (iv) corrupção e (v) desenvolvimento tecnológico. O Quadro 21 apresenta as subcategorias que foram selecionadas para a proposta.

Quadro 21 - Subcategorias de impacto social selecionadas para o grupo de *stakeholders* “sociedade”.

Subcategorias	Descrição	Justificativa/observações	Referências
Compromisso público com questões de sustentabilidade	Avalia o engajamento das organizações para reduzir os seus impactos	Em um PSS, o provedor e os atores envolvidos devem estar motivados em suas ações para incentivo à reorientação das práticas de consumo insustentáveis, especialmente em determinados tipos de oferta	UNEP/SET AC (2009); Lehmann <i>et al.</i> (2013)
Desenvolvimento econômico	Diz respeito a quanto a organização contribui para o desenvolvimento econômico de uma região e país	Um PSS e respectivo tipo de modelo de negócio podem contribuir direta e indiretamente para o desenvolvimento econômico da comunidade onde será inserido	UNEP/SET AC (2009); Ceschin (2014a)
Desenvolvimento tecnológico	Avalia se a organização desenvolve tecnologias eficientes e ambientalmente responsáveis	Um PSS deve envolver o uso e desenvolvimento de tecnologias avançadas tanto nos produtos quanto no processo produtivo	UNEP/SET AC (2009); Ceschin (2014b)

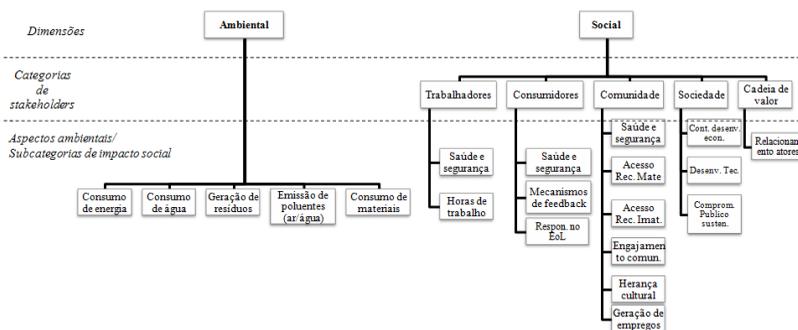
Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura e desenvolvimento da proposta.

Como pode ser visto no Quadro 21, quatro das subcategorias mencionadas foram escolhidas, pois se relacionam ao modelo de negócio e não somente práticas adotadas pelas organizações. Apesar de a subcategoria “compromisso público com questões de sustentabilidade” estar relacionada às práticas da organização, a mesma também está associada ao tipo de modelo de negócio. Dependendo do tipo de oferta, durante a fase de uso de um PSS, o provedor dos serviços deve estar comprometido com a conscientização dos consumidores e redução dos

possíveis efeitos “rebote”<sup>25</sup> decorrentes do mau uso ou uso inapropriado dos produtos que podem minimizar os benefícios ambientais esperados. O provedor, nesse sentido, deve assumir um compromisso com as questões sustentáveis relacionadas ao uso de um PSS.

Em relação ao “desenvolvimento tecnológico”, este é um elemento essencial para promoção da sustentabilidade. Tecnologias modernas podem reduzir, por um lado, os impactos ambientais e auxiliar, por outro lado, a superar o sub-desenvolvimento em diversas regiões. O acesso a tecnologias avançadas é crucial para economias em desenvolvimento (UNEP/SETAC, 2013). Portanto, é uma preocupação social que novos modelos de negócio como um PSS contribua para o desenvolvimento das regiões onde são inseridos e para sociedade em geral, promovendo o uso de tecnologias inovadoras e as mudanças necessárias que facilitem a implementação de modelos de negócio sustentáveis. A Figura 14 apresenta uma síntese dos aspectos ambientais, categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social selecionados para composição da proposta.

Figura 14 - Aspectos ambientais, categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social.



Fonte: construído pela autora com base na análise da literatura e construção da proposta.

<sup>25</sup> O efeito “rebote” (*rebound effect*) compreende todos os mecanismos que reduzem a os benefícios ambientais esperados, como no caso do consumo de energia e os mecanismos que reduzem a poupança de energia esperada das medidas de eficiência energética (FREIRE-GONZÁLEZ, 2017).

Conforme já apresentado na seção 3.2.3 do Capítulo 3, após a definição das fronteiras do sistema, os procedimentos adotados para condução da análise de *hotspots* foram estruturados com base na SHSA adotada como ponto de partida para estruturação da proposta.

Assim, a próxima etapa da análise de *hotspots* verifica a relevância dos aspectos ambientais e subcategorias sociais ao longo das fases do ciclo de vida e a relevância das fases do ciclo de vida, comparativamente, em relação umas às outras, utilizando a escala de 0 a 3. A identificação dos *hotspots* ocorre pela multiplicação dos escores atribuídos aos aspectos ao longo do ciclo de vida pelos pesos atribuídos às fases do ciclo de vida, em cada dimensão da sustentabilidade, conforme apresentado na seção 3.2.4 do Capítulo 3. O Quadro 22 apresenta um exemplo fictício da etapa de identificação e análise dos *hotspots* para a dimensão social, para fins de demonstração.

Quadro 22 - Exemplo de estruturação da análise de *hotspots* para dimensão social.

Fases do ciclo de vida de um PSS		Fabricação do produto	Implementação/Us o	Fim da vida
Dimensão social (pesos das fases do ciclo de vida)		3	2	2
Trabalhad ores	Saúde e segurança	3 ( <i>hotspots</i> = 3 x 3)	1	1
	Horas de trabalho	2		
Consumid ores	Saúde e segurança	3		
	Mecanismos de <i>feedback</i>	0		
	Privacidade durante o uso	0		
	Responsabilidade no fim da vida útil	0		

Fonte: elaborado pela autora.

Supondo que para a fase do ciclo de vida “fabricação do produto”, os escores da etapa de identificação de relevância das subcategorias de impacto na categoria de *stakeholders* “trabalhadores” foram 3 para a subcategoria “saúde e segurança” e 2 para “horas de trabalho”. Cabe ressaltar que esses escores foram atribuídos após uma

consulta à base de dados *Social Hotspots Database* (descrita no Capítulo 3, seção 3.3.3), que permitiu identificar que na região onde a respectiva fase do ciclo de vida será realizada o risco social para as duas subcategorias em análise e respectivos setores envolvidos nas fases do ciclo de vida analisada (fabricação do produto) é alto.

Na seqüência, a identificação dos *hotspots* ocorre pela multiplicação dos escores atribuídos a cada subcategoria e fase do ciclo de vida, conforme explicado na seção 3.2.4 do Capítulo 3. A Equação 1 apresenta o procedimento para identificação de todos os possíveis *hotspots* ao longo do ciclo de vida.

$$X_{n \times m} \times w_{m \times l} = H_{n \times m} \quad (1)$$

Onde:

$X_{n \times m}$  - matriz de escores representando a avaliação para as subcategorias de impacto social ou aspectos ambientais ao longo do ciclo de vida;

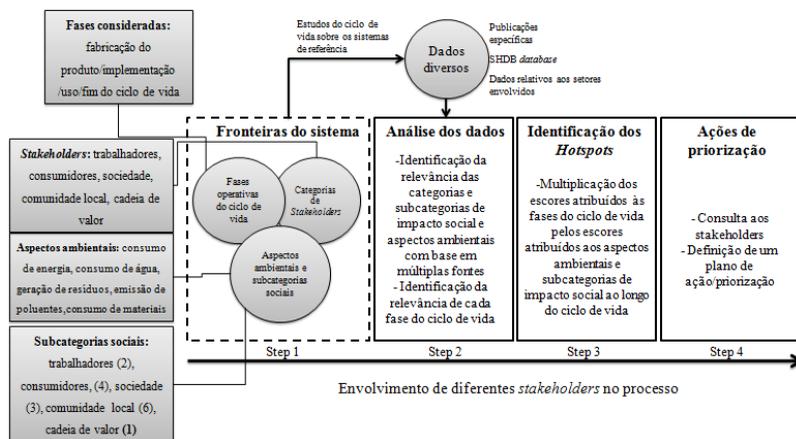
n - subcategorias de impacto social ou aspecto ambiental;

m - fases do ciclo de vida;

w - matriz de pesos para as fases do ciclo de vida;

H - matriz de *hotspots*

A matriz de *hotspots* permite identificar se a subcategoria de impacto social ou aspecto ambiental é um *hotspot* na respectiva fase do ciclo de vida analisada, se o valor de  $H_{i,j}$  corresponder a 6 ou 9, conforme explicado na seção 3.2.4 do Capítulo 3. Para a dimensão ambiental, o procedimento é análogo. Uma vez que a análise é concluída, a equipe de projeto deve consultar os possíveis *stakeholders* envolvidos e estabelecer um plano de ação para priorização dos *hotspots* e tomada de decisão quanto às fases subseqüentes de projeto (UNEP/SETAC, 2014). A Figura 15 apresenta uma síntese da primeira versão de análise de *hotspots* estruturada e mostra os aspectos da análise de *hotspots*, por meio dos passos que devem ser conduzidos pela equipe de projeto durante as fases iniciais de desenvolvimento de um PSS.

Figura 15 - Primeira versão da análise de *hotspots* proposta.

Fonte: construído pela autora com base em UNEP/SETAC (2009); Benoit *et al.* (2010), Liedtke *et al.* (2010), Benoit *et al.* (2011), Liedtke *et al.* (2013) e UNEP/SETAC (2014).

Em resumo, a primeira versão da abordagem proposta compreendeu inicialmente a definição das fronteiras do sistema (*step 1* da Figura 14): (i) fases do ciclo de vida de um PSS, (ii) aspectos ambientais a serem analisados e selecionados a partir de outros trabalhos sobre avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço, e (iii) subcategorias de impacto social selecionadas como base na literatura sobre SLCA e literatura sobre avaliação da sustentabilidade de um PSS na dimensão social. Na seqüência, a proposta foi estruturada (em termos de procedimento de avaliação e identificação dos *hotspots*), baseando-se nas análises de *hotspots* (SHSA) e SLCA adotadas como ponto de partida do trabalho (que compreendeu os *steps 2, 3 e 4* da Figura 14). Em termos de condução prática, partir das definições iniciais feitas, a equipe de projeto procederia a análise de *hotspots* durante as fases iniciais de projeto de um PSS realizando os *steps 2, 3 e 4*, (Figura 15), com suporte de informações secundárias acerca dos produtos de referência (conforme ilustra a Figura 15). A primeira versão da proposta foi avaliada por especialistas, que sugeriram melhorias utilizadas como subsídios para estruturação da segunda versão da análise de *hotspots*, conforme apresentado a seguir.

## 4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO REALIZADA POR ESPECIALISTAS E MELHORIAS REALIZADAS

Conforme descrito na seção 3.3.1 do Capítulo 3, um questionário foi enviado a especialistas nos temas de pesquisa relacionados para avaliação da análise de *hotspots* proposta. A partir das respostas, uma leitura geral das respostas foi realizada inicialmente, conforme descrito na seção 3.3.2 do Capítulo 3. Posteriormente, uma análise das respostas das questões de múltipla escolha e uma análise de conteúdo das respostas das questões abertas foram conduzidas, visando a realização de melhorias na proposta. Dentre os 16 especialistas consultados, 10 respostas foram obtidas (taxa de retorno pouco mais de 60%), sendo 9 especialistas em sistemas produto-serviço (avaliação e projeto de um PSS) e 1 em avaliação do ciclo de vida. Os aspectos mais relevantes extraídos da análise de conteúdo realizada a partir das questões abertas do questionário são discutidos a seguir, pois os serviram de base para a realização de melhorias na proposta e estruturação da segunda versão da mesma.

### 4.2.1 Resultados da avaliação e melhorias na proposta no que diz respeito às fases do ciclo de vida de um PSS consideradas

Conforme os procedimentos de análise de conteúdo adotados (seção 3.3.2 do Capítulo 3), as sugestões de melhoria foram agrupadas de acordo com o tipo de melhoria proposta. A partir dos critérios definidos (*i.e.* alinhamento com a literatura de PSS sobre avaliação da sustentabilidade e/ou outros métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida durante o projeto) foi tomada a decisão de realização ou não das melhorias sugeridas. O primeiro bloco do questionário, e respectivas sugestões de melhorias agrupadas, envolveram a avaliação das fases do ciclo de vida de um PSS. Apesar de 8 entre os 10 pesquisadores consultados terem relatado que “concordam” ou “concordam fortemente” com as fases do ciclo de vida consideradas na proposta, algumas sugestões de melhoria foram realizadas. Estas sugestões são sintetizadas no Quadro 23.

Dois especialistas mencionaram que uma fase do ciclo de vida para distribuição/transporte deveria ser considerada, pois embora as macro-fases de uma LCA tenham sido abordadas, podem ser gerados possíveis impactos decorrentes das atividades de distribuição e transporte. Um deles também apontou que fases que antecedem a produção, como no caso da extração de matéria prima, também

deveriam ser levadas em consideração, pois são comumente abordadas em uma LCA.

Quadro 23 - Sugestões dadas especialistas no que diz respeito às fases do ciclo de vida da proposta.

Sugestão	Melhoria sugerida considerada/realizada <sup>26</sup>
A fase de distribuição e possíveis impactos deveriam ser considerados	Sim/sim
A fase de pré-produção deveria ser levada em consideração	Sim/sim
A macro-fase do EoL deveria ser subdividida	Sim/parcialmente
A fase de uso e a implementação do PSS deveriam ser subdivididas	Sim/sim

Fonte: sintetizado pela autora com base nas respostas dos especialistas.

Também foi feita uma consideração por um dos especialistas no que diz respeito à subdivisão do EoL e abordagem de diferentes estratégias ao fim do ciclo de vida de um PSS. De acordo com um dos especialistas<sup>27</sup> :

“Dependendo da estratégia, o EoL muda. Nos processos da fase de manufatura reversa pode-se medir outros aspectos que levam a outros impactos sociais... imagine a atividade de *taking back*...”

Em relação ao MoL, foi sugerido que as fases de implementação e uso sejam subdivididas, pois envolvem diferentes serviços. Na realidade, não há um consenso na literatura sobre a subdivisão das fases do MoL, pois diferentes publicações (*e.g.* CAVALIERI; PEZZOTTA; SHIMOMURA, 2012; WIESNER *et al.*, 2015) que abordam as fases do

<sup>26</sup> A melhoria pode ter sido considerada, por ser relevante para alguns contextos, mas não realizada integralmente, por não atender ao critério, no caso de sugestões de inclusão de subcategorias de impacto social ou aspectos ambientais, de ser genérica o bastante para aplicação no projeto de qualquer tipo de PSS.

<sup>27</sup> Alguns recortes das respostas dos especialistas foram realizados, de acordo com a Fase II do procedimento de análise de conteúdo adotado (ver seção 3.3.2 do Capítulo 3).

ciclo de vida consideram a subdivisão do BoL e MoL de forma distinta (ver Quadro 5 da Seção 2.2.1 do Capítulo 2), mas a sugestão foi levada em consideração.

No que diz respeito às melhorias realizadas, em relação à sugestão de consideração da fase de distribuição, os impactos decorrentes do transporte e processo de logística reversa (para estratégias que envolvam esse processo), a mesma foi considerada, e os possíveis impactos decorrentes dessa fase serão considerados para análise como pertencentes à fase subsequente do ciclo de vida, conforme é sugerido por outras publicações (e.g. BIENGE *et al.*, 2009; LIEDTKE *et al.*, 2010). Nesse sentido, essa sugestão foi considerada por atender ao critério de estar alinhada com outras publicações que abordam métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida, que no caso é a própria avaliação de *hotspots* (SHSA) adotada como ponto de partida, pois a consideração da fase de distribuição não tinha sido feita na primeira versão da proposta por esta fase não ser geralmente abordada como uma fase no ciclo de vida de um PSS, de acordo com as publicações consultadas para estruturação do ciclo de vida proposto. Nesse sentido, os impactos decorrentes do transporte do produto (após fabricação) até o consumidor (fase de uso) serão analisados como pertencentes à fase de uso. O transporte e os respectivos impactos gerados, principalmente porque em algumas ofertas de PSS alguns serviços como manutenção são intensivos, precisam ser considerados principalmente devido aos impactos ambientais que podem ser gerados.

Em relação à sugestão de inclusão da fase de pré-produção, a mesma geralmente não é considerada pelas publicações que abordam o ciclo de vida de um PSS do ponto de vista do provedor ou life cycle management (e.g. PERUZZINI; GERMANI, 2014; WIESNER *et al.*, 2015), que foi inicialmente abordado no presente trabalho, mas é considerada por publicações que realizam avaliações do ciclo de vida de um PSS (e.g. AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI 2014; CHUN; LEE, 2016) e outras publicações que discutem o ciclo de vida de produtos no contexto de um PSS (e.g. MAXWELL; VAN DER VORST, 2003; ZHU *et al.*, 2012). Na realidade, um PSS deve focar na desmaterialização através da eliminação e/ou redução do uso de materiais (MAXWEL; SHEATE; VAN DER VORST, 2006). Outras publicações sobre métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida de produtos (e.g. ARENA; AZZONE; CONTE, 2013) também consideram a fase de extração de materiais.

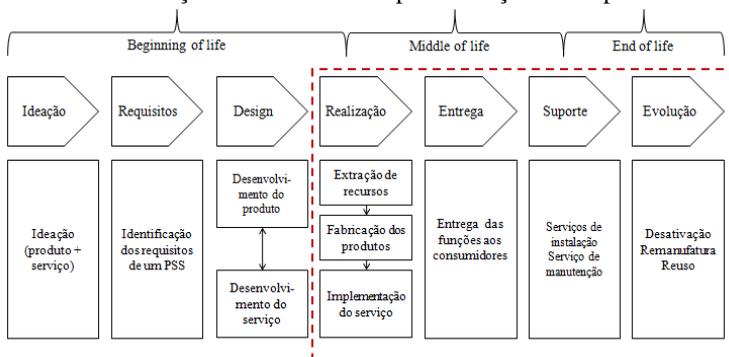
Nesse sentido, a inclusão dessa fase atende ao critério estabelecido para consideração das melhorias sugeridas (a melhoria deve

estar alinhada com a literatura de PSS e/ou métodos simplificados de avaliação do ciclo de vida de produtos). Embora durante as fases iniciais de projeto não se tenham informações detalhadas acerca dos materiais utilizados, a análise da literatura sobre os sistemas de referência na dimensão ambiental e obtenção de dados acerca da localidade de extração de recursos na dimensão social, disponíveis em bases de dados acerca dos riscos sociais (*e.g. Social Hotspots Database*), podem fornecer informações acerca dos possíveis impactos associados à extração de recursos para os produtos envolvidos e localidade da realização da respectiva fase do ciclo de vida (extração de matéria prima).

Em relação à fase de uso, como discutido anteriormente, como não há um consenso na literatura acerca de uma divisão, mas algumas publicações separaram o MoL em operação (entrega da oferta) e serviços de suporte (*e.g. AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014; WIESNER et al., 2015; CHUN; LEE, 2016*). Portanto, a sugestão de melhoria está alinhada com a literatura de avaliação da sustentabilidade de PSS, e embora a divisão não tenha sido estabelecida na primeira versão da proposta, foi considerada para a estruturação da segunda versão da análise de *hotspots* por atender ao critério estabelecido.

No que diz respeito ao fim do ciclo de vida, diferentes estratégias podem ser adotadas conforme apontado por um dos especialistas, como desativação do PSS, reuso, remanufatura, recondicionamento (SHOKOHYAR; MANSOUR; KARIMI, 2014). O fim do ciclo de vida não foi subdividido porque a estratégia ao final do ciclo de vida é dependente do tipo de modelo de negócio que está sendo desenvolvido, mas as opções viáveis são apresentadas na estrutura do ciclo de vida na segunda versão da proposta. Em caso de mais de uma estratégia de EoL ser viável para o PSS em desenvolvimento, as diferentes opções devem ser analisadas para identificação de qual delas possivelmente teria os menores impactos, através do planejamento de cenários. Além disso, essa subdivisão não é realizada por outros estudos sobre avaliação do ciclo de vida de um PSS, que na realidade, realizam uma análise de possíveis cenários no fim do ciclo de vida (*e.g. LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011; AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014*). Assim, a Figura 16 mostra a estrutura revisada do ciclo de vida e respectivas fases da segunda versão da proposta, após as melhorias sugeridas pelos especialistas. O Quadro 24 sumariza as melhorias realizadas.

Figura 16 - Estruturação do ciclo de vida após avaliação dos especialistas.



Fonte: construído pela autora com base nas sugestões dos especialistas e literatura.

Quadro 24 - Melhorias realizadas no que diz respeito à estrutura do ciclo de vida.

Sugestões	Melhoria realizada após sugestão dos especialistas	Literatura de suporte <sup>28</sup>
A fase de distribuição e respectivos possíveis impactos deveriam ser considerados	Os impactos decorrentes da distribuição/transporte serão considerados/analísados na fase subsequente do ciclo de vida	Liedtke <i>et al.</i> , (2010); UNEP/SETAC (2014)
A fase de pré-produção deveria ser levada em consideração	A fase extração de materiais foi considerada	MAxwell; Sheate; Van der Vorst (2006); Amaya; Lelah; Zwolinski (2014); Chun; Lee (2016)
A fase de uso e a implementação do PSS deveriam ser subdivididas	A fase de uso do MoL foi dividida em operação e serviços de suporte	Amaya; Lelah; Zwolinski (2014); Wiesner <i>et al.</i> (2015); Chun; Lee (2016)

Continua

<sup>28</sup> Neste caso, significa a literatura que fornece suporte para a realização ou não das melhorias, ou seja, a literatura consultada em caso de realização da melhoria ou a literatura que foi utilizada como base para não consideração da melhoria (*i.e.*, para manter como foi originalmente tratada na primeira versão da proposta).

Quadro 24 - Melhorias realizadas no que diz respeito à estrutura do ciclo de vida - continuação.

Sugestões	Melhoria realizada após sugestão dos especialistas	Literatura de suporte <sup>28</sup>
A macro fase do EoL deveria ser subdividida	Diferentes estratégias de EoL são apresentadas na nova estrutura do ciclo de vida e sugere-se que em caso de mais de uma opção ser viável, a equipe de projeto deve analisar as diferentes opções	Shokohyar; Mansour; Karimi, 2014 (2014)

Fonte: elaborado pela autora com base nas respostas dos especialistas e análise da literatura.

A seção a seguir apresenta o resultado da avaliação e respectivas sugestões de melhorias em relação às categorias de *stakeholders* selecionadas.

#### 4.2.2 Resultados da avaliação e melhorias na proposta no que diz respeito às categorias de *stakeholders*

No que diz respeito à avaliação das categorias de *stakeholders* identificadas e selecionadas com base na literatura de SLCA e PSS (segundo bloco do questionário), algumas categorias de *stakeholders* apresentaram concordância unânime entre os especialistas (por exemplo: “trabalhadores” e “comunidade local”). Sugestões foram feitas pelos especialistas quanto à consideração dos *stakeholders* propostos, e as mesmas são apresentadas no Quadro 25.

Quadro 25 - Sugestões feitas pelos especialistas para as categorias de *stakeholders*.

Sugestões	Melhoria sugerida considerada/realizada
Os provedores de serviço deveriam ser considerados	Sim/não
A categoria sociedade deveria ser subdividida	Sim/não
Os <i>shareholders</i> deveriam ser considerados como uma categoria de <i>stakeholders</i>	Sim/não

Fonte: sintetizado pela autora com base nas respostas dos especialistas.

Conforme mostrado no Quadro 25, um dos especialistas sugeriu que uma categoria adicional para os provedores fosse considerada. No entanto, o provedor da oferta já está contemplado dentro da categoria “atores da cadeia de valor”. Essa categoria contempla todos os atores envolvidos em cada oferta de PSS, e como não foi identificada uma distinção específica na literatura de PSS e na literatura de métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida durante o projeto, a inclusão não foi realizada. A inclusão de uma categoria de *shareholders* também foi sugerida por outro especialista, porém esses *stakeholders* também já estão contemplados na categoria “atores da cadeia de valor”. A terceira sugestão feita diz respeito à divisão da categoria “sociedade”. Do ponto de vista considerado, essa categoria contempla os impactos sociais na sociedade como um todo (no contexto nacional). Um dos especialistas, no entanto, sugeriu que órgãos reguladores e governo deveriam ser contemplados dentro dessa categoria e que a mesma fosse subdividida. Apesar de a sugestão ser aplicável e relevante no contexto de um PSS, a divisão dessa categoria requer novas subcategorias de impacto social, ainda não estabelecidas e também não identificadas na literatura de PSS e SLCA, e, portanto, a categoria “sociedade” permaneceu abordando os impactos na sociedade como um todo, conforme sugerido inicialmente. Além disso, literatura específica sobre PSS que contemplasse tais divisões não foi identificada, portanto não atendendo o critério para consideração das sugestões. O Quadro 26 apresenta um resumo das justificativas para não consideração das sugestões.

Quadro 26 - Considerações acerca das sugestões de melhoria para as categorias de *stakeholders*.

Sugestões	Considerações após sugestões dos especialistas	Literatura de suporte
Os provedores de serviço deveriam ser considerados	O provedor já está contemplado dentro da categoria de atores da cadeia de valor	UNEP/SETAC (2009); Benoit <i>et al.</i> (2010); Benoit <i>et al.</i> (2011)
A categoria sociedade deveria ser subdividida	Não foi subdividida. Em caso de consideração como categoria separada, novas subcategorias de impacto devem ser definidas no contexto específico	UNEP/SETAC (2009); Benoit <i>et al.</i> (2010); Benoit <i>et al.</i> (2011)

Continua

Quadro 26 - Considerações acerca das sugestões de melhoria para as categorias de *stakeholders* - continuação.

Sugestões	Considerações após sugestão dos especialistas	Literatura de suporte
Os <i>shareholders</i> deveriam ser considerados como uma categoria de <i>stakeholders</i>	Já estão contemplados dentro da categoria de atores da cadeia de valor. Em caso de consideração como categoria separada, novas subcategorias de impacto devem ser definidas no contexto específico com base na literatura	UNEP/SETAC (2009); Benoit <i>et al.</i> (2010); Benoit <i>et al.</i> (2011)

Fonte: elaborado pela autora com base nas respostas dos especialistas e análise da literatura.

A seção seguinte discute as subcategorias de impacto social consideradas para cada grupo de *stakeholders* anteriormente descritos, bem como as respectivas melhorias sugeridas.

#### 4.2.3 Resultados da avaliação e melhorias na proposta no que diz respeito às subcategorias de impacto social

O terceiro bloco do questionário e respectivas sugestões agrupadas para análise diz respeito a questões relacionadas às subcategorias de impacto na dimensão social. As subcategorias de impacto social que apresentaram concordância unânime entre os especialistas foram: (i) saúde e segurança (categoria “trabalhadores”), (ii) mecanismos de feedback (categoria “consumidores”), (iii) saúde segurança (categoria “consumidores”), (iv) saúde e segurança (categoria “comunidade local”), (v) contribuição para o desenvolvimento econômico (categoria “sociedade”). A subcategoria que apresentou a menor concordância entre os respondentes foi a “privacidade na fase de uso” (categoria “consumidores”). O Quadro 27 apresenta sugestões de melhorias feitas pelos especialistas para cada categoria de *stakeholder*.

De acordo com dois especialistas, a subcategoria “privacidade durante o uso” não deveria ser considerada como uma subcategoria de impacto social para o grupo “consumidores”, pois a mesma parece ser específica ao invés de genérica para qualquer PSS. A mesma observação foi feita por outro respondente, que apontou que “privacidade durante o uso” e “responsabilidade no fim da vida útil” não são relevantes no contexto de um PSS. Segundo este especialista, o consumidor não é responsável pelo final do ciclo de vida dos produtos, uma vez que a

propriedade pertence ao provedor, e a privacidade de informações durante o uso não pode ser garantida pelo provedor. As sugestões também consideraram a inclusão de outras subcategorias de impacto social, como, por exemplo, as condições de trabalho (conforme mostrado no Quadro 27).

Quadro 27 - Sugestões realizadas pelos especialistas para as subcategorias de impacto social.

Categoria de <i>stakeholder</i>	Sugestões	Melhoria sugerida considerada/realizada
Trabalhadores	O clima de trabalho deveria ser considerado	Não/não
	As condições de trabalho deveriam ser incluídas como uma subcategoria	Não/não
Consumidores	A subcategoria privacidade durante o uso não deveria ser considerada	Sim/sim
	A subcategoria transferência de conhecimento/conscientização deveria ser considerada	Sim/parcialmente
	A subcategoria geração de renda deveria ser considerada	Sim/parcialmente
	A subcategoria empoderamento deveria ser considerada	Sim/parcialmente
Comunidade local	A subcategoria responsabilidade ao fim da vida útil não deveria ser considerada	Não/não
	A subcategoria geração de renda deveria ser considerada	Sim/parcialmente
Sociedade	A subcategoria empoderamento deveria ser considerada	Sim/parcialmente
	A subcategoria questões políticas/instrumentos políticos deveria ser considerada	Sim/parcialmente
Atores da cadeia de valor	A subcategoria relacionamento com <i>stakeholders</i> que atuam como facilitadores, tais como organizações não governamentais e associações locais, deveria ser considerada	Sim/parcialmente

Fonte: sintetizado pela autora com base nas respostas dos especialistas.

Além disso, um dos pesquisadores apontou que se outros *stakeholders* forem relevantes no contexto do PSS em desenvolvimento, subcategorias de impacto social adicionais deveriam ser consideradas para eles. A sugestão é relevante, uma vez que cada PSS envolve uma rede de atores específica e as diretrizes para condução de uma SLCA (UNEP/SETAC, 2009; BENOIT *et al.*, 2010; BENOIT *et al.*, 2011) prevêm a inclusão de subcategorias de impacto social, quando pertinente. Nesse caso, sugere-se quem em cada caso específico a equipe de projeto verifique se há grupos de *stakeholders* adicionais que precisam ser considerados de forma distinta e identifique com apoio da literatura de PSS possíveis subcategorias de impacto social associadas aos mesmos. Como a adição de subcategorias de impacto social e *stakeholders* específicos são pertinentes para cada caso, apenas subcategorias de impacto social e categorias de *stakeholders* genéricas foram sugeridas e consideradas nesse trabalho.

Em relação à realização das melhorias, um dos especialistas sugeriu que condições de trabalho para a categoria “trabalhadores” (*i.e.* trabalho infantil, discriminação, etc.) fossem acrescentadas como subcategorias de impacto social. Um segundo especialista sugeriu que o ambiente e clima de trabalho também deveriam ser considerados. No entanto, as condições de trabalho oferecidas estão diretamente relacionadas ao perfil e atuação das organizações (o provedor do PSS e outras organizações envolvidas), e não ao modelo de negócio propriamente dito, e por isso tal inclusão não atende ao critério inicialmente definido para seleção das subcategorias e também não foi identificado na literatura de PSS. Embora a SHSA sugira a análise de condições de trabalho de forma genérica (BIENGE *et al.*, 2009), a mesma se aplica para condução de análises de *hotspots* para produtos já existentes, não nas fases iniciais de projeto quando não se tem informações acerca das organizações envolvidas e as condições de trabalho oferecidas.

Na avaliação da categoria de *stakeholders* “consumidores”, um dos especialistas sugeriu que a subcategoria “privacidade durante a fase de uso” parece ser específica para determinados tipos de PSS, conforme discutido anteriormente. De fato, não é para todos os casos de PSS que a privacidade do consumidor na fase de uso é de extrema relevância, como no caso de PSS orientados ao produto em que a propriedade do produto é ainda transferida ao consumidor. Nesse sentido, essa categoria foi considerada em um primeiro momento. Porém, de acordo com o critério de seleção inicialmente estabelecido de que as subcategorias de impacto social deveriam ser genéricas o bastante para avaliação de

qualquer oferta de PSS (*i.e.* orientado ao produto, uso e resultado), a mesma foi desconsiderada de acordo com a sugestão do especialista. Também não foram identificadas evidências na literatura de PSS de que aspectos de privacidade influenciam de alguma forma a fase de uso. Nesse sentido, no caso de a subcategoria ser relevante para o PSS em projeto, a equipe de projeto deve verificar os regulamentos e políticas existentes no país e região onde o PSS será implementado em relação ao compartilhamento de informação e dados e incluir essa subcategoria de impacto na análise.

Outras sugestões de inclusão de subcategorias de impacto social foram feitas para a categoria de “consumidores”, e as mesmas são válidas especialmente em casos de implementação de um PSS em países em desenvolvimento e destinados a atender consumidores da base da pirâmide. O modelo de negócio deve ser desenvolvido de forma a reorientar os padrões de consumo e permitir acessibilidade e ganhos monetários aos consumidores localizados nessas regiões. Na realidade, conforme apontado em publicações recentes (*e.g.* VEZZOLI; CESCHIN; DIEHL, 2015; EMILI; CESCHIN; HARRISON, 2016), quando adequadamente concebido, um PSS pode oferecer às comunidades de baixa renda onde é inserido a possibilidade de acesso a produtos e serviços que os modelos tradicionais de venda de produtos não permitem, e no caso de soluções de PSS que estão sendo desenvolvidas para esses contextos, as subcategorias sugeridas apresentadas no Quadro 27 para o grupo “consumidores” devem ser consideradas durante a análise de *hotspots*. As mesmas não foram incorporadas como subcategorias de impacto genéricas, no entanto, por não serem relacionadas a todos os tipos de PSS, não atendendo ao primeiro critério de inclusão de subcategorias, e também porque não foi identificado na literatura de PSS que tais subcategorias são relevantes para todos os tipos de PSS. Uma consideração de que subcategorias na dimensão dos consumidores específicas ao contexto devem ser consideradas foi adicionada na visão geral da segunda versão da proposta.

Além disso, um dos especialistas sugeriu a remoção da subcategoria “responsabilidade ao final da vida útil”, por o consumidor não ser responsável pela destinação ao fim da vida do produto. No entanto, pela sugestão feita, observou-se que não houve um claro entendimento da representação dessa subcategoria. Essa subcategoria de impacto está relacionada aos impactos do final do ciclo de vida dos produtos em relação aos próprios consumidores. A eliminação do produto pode levar a preocupações ambientais e sociais significativas,

tais como impactos ambientais e de saúde pública decorrentes da acumulação de material perigoso e resíduos eletrônicos (UNEP/SETAC, 2013). As organizações que entram em novos mercados podem encontrar regulamentações nas localidades onde as fases do ciclo de vida são realizadas que não levam em consideração a eliminação de produtos e saúde e segurança do consumidor. Neste caso, as organizações devem promover o consumo sustentável considerando a responsabilidade do fim da vida útil na concepção do produto (UNEP/SETAC, 2013). Nesse sentido, essa subcategoria de impacto foi mantida, por estar relacionada ao modelo de negócio, a estratégia planejada para o fim da vida útil do produto e regulamentações existentes na região onde o PSS será implementado, e deve ser analisada durante as fases iniciais de projeto. Para abordar a falta de entendimento do significado da subcategoria de impacto social e como deve ser analisada, uma *checklist* foi desenvolvido, conforme será discutido posteriormente nas seções a seguir.

Sugestões de inclusão de subcategorias também foram feitas para a categoria “comunidade local”, conforme apresentado no Quadro 27. As subcategorias de impacto social sugeridas são válidas principalmente para o planejamento de soluções de PSS direcionadas a consumidores e comunidades em localidades de baixa renda, conforme o mesmo caso das sugestões feitas para o grupo “consumidores”. Subcategorias de impacto específicas devem ser abordadas pela equipe de projeto no desenvolvimento de soluções de PSS para estes contextos. Por não atenderem ao critério de serem genéricas suficientemente para avaliação de qualquer PSS, que foi um dos critérios de seleção adotados, bem como não foram identificadas na literatura de PSS, tais subcategorias não foram consideradas.

Uma sugestão para inclusão de uma subcategoria relacionada à consideração de políticas públicas no grupo “sociedade” foi realizada, conforme apresentado no Quadro 27. Na realidade, políticas públicas são importantes para promoção de soluções de PSS (CESCHIN; VEZOLLI, 2010), e em certos setores a existência de tais políticas na localidade onde o PSS será inserido pode facilitar a implementação e contribuir para redução dos impactos ambientais e melhorias na sociedade como um todo. Uma vez que foi identificado na literatura de PSS que políticas públicas são importantes para facilitar a introdução do modelo de negócio (LEE *et al.*, 2012; PLEPYS; HEISKANEN; MONT, 2015) atendendo ao critério de alinhamento com a literatura de PSS para inclusão da subcategoria, a mesma foi considerada e deve ser analisada

principalmente em contextos que a existência de tais políticas possam fazer uma diferença significativa.

Para o grupo “atores da cadeia de valor”, a subcategoria sugerida: relacionamento com *stakeholders* facilitadores, como organizações não governamentais, é uma consideração especial dentro da subcategoria de impacto já abordada na versão inicial, e não foi acrescentada como uma subcategoria a parte, por não ter sido identificada especificamente na literatura de PSS como um aspecto essencial para a implementação do modelo de negócio, não atendendo o critério de inclusão de uma subcategoria definido inicialmente. No entanto, em casos que for relevante para o PSS a ser desenvolvido, a mesma deve ser analisada. O Quadro 28 apresenta uma síntese das melhorias realizadas ou não, conforme previamente discutido.

Quadro 28 - Considerações acerca das sugestões de melhorias no que diz respeito às subcategorias de impacto social selecionadas.

Categoria de <i>stakeholder</i>	Sugestões	Melhoria realizada após sugestão dos especialistas/ considerações para não realização ou não realização da melhoria	Literatura de suporte
Trabalhadores	O clima de trabalho deveria ser considerado	Não/ relacionada principalmente ao perfil e práticas das organizações envolvidas e não ao modelo de negócio	-
	Condições de trabalho	Não/ relacionada principalmente ao perfil e práticas das organizações envolvidas e não ao modelo de negócio	-

Continua

Quadro 28 - Considerações acerca das sugestões de melhorias no que diz respeito às subcategorias de impacto social selecionadas - continuação.

Categoria de <i>stakeholder</i>	Sugestões	Melhoria realizada após sugestão dos especialistas/ considerações para não realização ou não realização da melhoria	Literatura de suporte
Consumidor	A subcategoria privacidade durante o uso não deveria ser considerada	Sim/ foi excluída por não ser relevante para todas as categorias de PSS. Consideração somente no contexto específico para o qual é relevante	-
	A subcategoria transferência de conhecimento/ conscientização deveria ser considerada	Sim (parcialmente)/ consideração somente em caso de ser relevante ao contexto onde a solução será implementada	Vezzoli; Ceschin; Diehl (2015); Emili; Ceschin; Harrison (2016)
	A subcategoria geração de renda deveria ser considerada	Sim (parcialmente)/ consideração somente em caso de ser relevante ao contexto onde a solução será implementada	Vezzoli; Ceschin; Diehl (2015); Emili; Ceschin; Harrison (2016)
	A subcategoria empoderamento deveria ser considerada	Sim (parcialmente)/ consideração somente em caso de ser relevante ao contexto onde a solução será implementada	Vezzoli; Ceschin; Diehl (2015); Emili; Ceschin; Harrison (2016)
	A subcategoria responsabilidade ao fim da vida útil não deveria ser considerada	Não/ não foi removida, pois relaciona-se com a região onde a fase do ciclo de vida será realizada	-

Continua

Quadro 28 - Considerações acerca das sugestões de melhorias no que diz respeito às subcategorias de impacto social selecionadas - continuação.

Categoria de <i>stakeholder</i>	Sugestões	Melhoria realizada após sugestão dos especialistas/ considerações para não realização ou não realização da melhoria	Literatura de suporte
Comunidade local	A subcategoria geração de renda deveria ser considerada	Sim (parcialmente)/ consideração somente em caso de ser relevante ao contexto onde a solução será implementada	Vezzoli; Ceschin; Diehl (2015); Emili; Ceschin; Harrison (2016)
	A subcategoria empoderamento deveria ser considerada	Sim (parcialmente)/ consideração somente em caso de ser relevante ao contexto onde a solução será implementada	Vezzoli; Ceschin; Diehl (2015); Emili; Ceschin; Harrison (2016)
Sociedade	A subcategoria questões políticas/instrumentos políticos deveria ser considerada	Sim/ a existência de políticas públicas na localidade podem facilitar a introdução do modelo de negócio	Ceschin; Vezzoli, (2010); Lee <i>et al.</i> , (2012); Plepys; Heiskanen; Mont (2015)
Atores da cadeia de valor	A subcategoria relacionamento com <i>stakeholders</i> facilitadores como organizações não governamentais e associações locais deve ser considerada	Sim (parcialmente)/ consideração somente em caso de ser relevante ao contexto onde a solução será implementada	-

Fonte: elaborado pela autora com base nas respostas dos especialistas e análise da literatura.

#### 4.2.4 Resultados da avaliação e melhorias na proposta no que diz respeito aos aspectos ambientais

O quarto bloco de questões e sugestões contemplou a dimensão ambiental e a avaliação dos aspectos ambientais selecionados. Alguns aspectos ambientais apresentaram consenso entre os especialistas, a saber: “consumo de energia”, “consumo de água” e “consumo de materiais”. Em comparação com a dimensão social, a dimensão ambiental foi a que apresentou maior concordância quanto aos aspectos ambientais propostos. A inclusão de outros aspectos ambientais foi sugerida, conforme apresentado no Quadro 29.

Quadro 29 - Sugestões realizadas pelos especialistas para os impactos ambientais considerados.

Sugestões	Melhoria sugerida considerada/realizada
Inclusão do aspecto minimização do consumo de recursos	Não/não
Inclusão do aspecto minimização da geração de resíduos	Não/não
Inclusão do aspecto minimização do consumo de recursos renováveis	Sim/sim
Inclusão do aspecto minimização do uso de materiais nocivos	Sim/sim
Inclusão do aspecto uso eficiente de energia	Não/não
Inclusão do aspecto uso eficiente de materiais	Não/não

Fonte: elaborado pela autora com base nas respostas dos especialistas.

Em relação à emissão de poluentes, foi apontado por um dos especialistas:

“Emissões de gases do efeito estufa estão em moda hoje em dia. Outras categorias devem ser consideradas [traduzido da língua inglesa<sup>29</sup>]”

A emissão de gases do efeito estufa, no entanto, é um aspecto geralmente abordado na literatura de PSS (e.g. FIRNKORN;

<sup>29</sup> Sugestão original: *Greenhouse gases emissions is "fashionable" today. Others impacts categories have to be considered.*

SHAHEEN, 2016), principalmente, devido aos tipos de PSS de compartilhamento de carros e bicicletas que são soluções de PSS bastante difundidos. Esse aspecto, portanto, não foi eliminado, e foi feita a consideração de eliminação de poluentes ao ar e à água. Em relação à sugestão de inclusão do aspecto de minimização na geração de resíduos, o mesmo já foi considerado pelo aspecto “geração de resíduos”. O consumo eficiente de energia e de materiais e minimização do consumo de recursos também já estão contemplados pelos aspectos “consumo de energia” e “consumo de materiais”. Em relação ao aspecto “uso eficiente de recursos” algumas publicações que propõem métodos simplificados para avaliação de produtos abordam esse aspecto, mas principalmente no caso de métodos e ferramentas prescritivas (e.g. SCHÖGGL; BAUMGARTNER; HOFER, 2017). Como a abordagem proposta no trabalho é para análise de possíveis impactos e não prescritiva, e esse aspecto ambiental já foi identificado em apenas uma publicação na literatura de PSS (e.g. LEE *et al.*, 2012), e também já foi contemplado pelo aspecto “consumo de materiais”, o mesmo não foi considerado na abordagem proposta.

O consumo de outros recursos renováveis e minimização do uso de materiais nocivos foram adicionados conforme sugerido por um dos especialistas, após identificação desses aspectos em outras publicações de PSS que não foram identificadas inicialmente entre as publicações sobre avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço (e.g. MAXWEL; SHEATE; VAN DER VORST, 2006; GUPTA; SARKAR; SINGLA, 2015; EMILI; CESCHIN; HARRISON, 2016). O Quadro 30 sumariza as sugestões consideradas.

Quadro 30 - Considerações acerca das sugestões de melhorias no que diz respeito aos aspectos ambientais selecionados.

Sugestões	Melhoria realizada após sugestão dos especialistas/ considerações para não realização ou realização	Literatura de suporte
Inclusão do aspecto minimização do consumo de recursos	Não/ já foi considerada na proposta inicial	-
Inclusão do aspecto minimização da geração de resíduos	Não/ já foi considerada na proposta inicial	-

Continua

Quadro 30 - Considerações acerca das sugestões de melhorias no que diz respeito aos aspectos ambientais selecionados - continuação.

Sugestões	Melhoria realizada após sugestão dos especialistas/ considerações para não realização ou realização	Literatura de suporte
Inclusão do aspecto minimização do consumo de recursos renováveis	Sim/ foi adicionada após identificação na literatura de PSS	Maxwell; Sheate; Van der vorst (2006); Gupta <i>et al.</i> (2015); Emili; Ceschin; Harrison (2016)
Inclusão do aspecto minimização do uso de materiais nocivos	Sim/ foi adicionada após identificação na literatura de PSS	Maxwell; Sheate; Van der vorst (2006); Gupta; Sarkar; Singla (2015)
Inclusão do aspecto uso eficiente de energia	Não/ já foi considerada na proposta inicial	-
Inclusão do aspecto uso eficiente de materiais	Não/ já foi considerada na proposta inicial	-

Fonte: elaborado pela autora com base nas respostas dos especialistas e literatura.

Além da avaliação dos aspectos de definição das fronteiras do sistema, outros aspectos de estrutura da proposta foram analisados pelos especialistas, apresentados na seção seguinte.

#### 4.2.5 Resultados da avaliação da estrutura da proposta e melhorias relacionadas

Outros aspectos relativos à estrutura da proposta foram avaliados (ver Quadro 14 seção 3.3.1 do Capítulo 3), sendo seus resultados descritos a seguir. Em casos em que melhorias foram realizadas em relação à algum aspecto específico, as mesmas se basearam em outros métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida durante o projeto, conforme descrito na seção 3.3.2 do Capítulo 3.

Em geral, a análise de *hotspots* sugerida pode ser considerada como adequada, em função das respostas da maioria dos respondentes (6

ou mais pesquisadores). Esta afirmativa pode ser adotada como válida, principalmente, no que diz respeito aos seguintes critérios avaliados:

- (i) sua aplicação durante as fases iniciais de projeto de um PSS;
- (ii) simplicidade de aplicação durante o projeto de um PSS;
- (iii) a forma de mensuração adotada para identificação de possíveis impactos ao longo do ciclo de vida e relevância das fases do ciclo de vida;
- (iv) sua aplicação para análise de diferentes categorias de PSS durante as fases iniciais de projeto;
- (v) capacidade de promover uma ampla visão dos possíveis impactos ao longo do ciclo de vida.

Na realidade, a utilidade da proposta para o processo de tomada de decisão para o qual foi desenvolvida é um importante aspecto na avaliação de métodos simplificados, conforme já apontado por Arena, Azzone e Conte (2013). A avaliação positiva pela maioria dos especialistas em relação à aplicação da mesma durante as fases iniciais de projeto, sua aplicação para análise de diferentes categorias de PSS e sua capacidade de promover uma ampla visão dos possíveis impactos ao longo do ciclo de vida refletem que a proposta é adequada para o propósito ao qual se destina. Além disso, buscar simplicidade na análise de *hotspots* é importante para facilitar o uso pela equipe de projeto, uma vez que ainda é necessário transferir o conhecimento do domínio teórico para aplicações práticas durante o projeto de um PSS (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2016). De fato, conforme relatado por um dos especialistas consultados, os envolvidos durante a fase de projeto (equipe de projeto/designers) em geral não têm conhecimentos específicos para avaliação do potencial sustentável da solução que está sendo desenvolvida:

“Na minha opinião, durante as fases iniciais de projeto, a equipe deve estar ciente de todo o ciclo de vida de um sistema produto-serviço (conhecimento básico). Uma abordagem mais específica para avaliação da sustentabilidade é abordada por experts em práticas

sustentáveis...” [traduzido da  
língua inglesa<sup>30</sup>]

A simplicidade de aplicação da análise de *hotspots* pode ser importante para motivar a aplicação prática durante as fases iniciais de projeto por parte da equipe de desenvolvimento, mesmo quando experts em práticas ambientais não estão envolvidos. Conforme já apontado por Arena, Azzone e Conte (2013), também é importante que os outputs de avaliações simplificadas sejam fáceis e simples de interpretar, uma vez que a interpretação dos resultados de uma ACV, por exemplo, demanda expertise específica. Na realidade, métodos qualitativos e semi-quantitativos são em geral rápidos e simples de utilizar, oferecendo vantagens e sendo mais apropriados para aplicação durante as fases iniciais de desenvolvimento (BOVEA; PÉREZ-BELIS, 2012).

A análise de *hotspots* foi avaliada como “nem insatisfatória nem satisfatória” (e apenas metade dos respondentes atribuíram os escore 4 - satisfatória e 5 - muito satisfatória) em relação aos seguintes critérios: (i) profundidade de avaliação que permite realizar, (ii) clareza com que os *hotspots* são identificados, (iii) escopo das subcategorias de impacto social abordadas e dimensões da sustentabilidade, e (iv) completude. Com relação à completude da proposta, os especialistas foram questionados sobre a abrangência da mesma para identificação dos *hotspots* ambientais e sociais ao longo do ciclo de vida de um PSS. De fato, avaliação feita se reflete nas sugestões realizadas pelos especialistas para o acréscimo de subcategorias de impacto social e aspectos ambientais.

Em relação à profundidade de avaliação, uma vez que a análise de *hotspots* é uma abordagem para avaliação qualitativa e que a mesma também utiliza estudos e informações existentes sobre os sistemas de referência (LIEDTKE *et al.*, 2010), uma das limitações é que não permite uma avaliação em grande profundidade e detalhamento como, no caso, por exemplo de uma completa LCA. A opinião dos especialistas é justificável, uma vez que a análise de *hotspots* é uma abordagem que permite apenas uma rápida assimilação e análise dos possíveis impactos sociais a aspectos ambientais significativos ao longo do ciclo de vida e é freqüentemente usada como um pré-cursor para o

---

<sup>30</sup> Sugestão original: *In my opinion, in the early design phases, the designer have to be aware of the whole life cycle of a product/service (basic knowledge). A specific approach is more addressed to experts designers in 'sustainability' practices.*

desenvolvimento de informações de sustentabilidade mais detalhadas nas fases seguintes de projeto, como destaca UNEP/SETAC (2014). Isto ocorre quando especificações acerca do produto e modelo de negócio tiverem sido realizadas e informações estiverem disponíveis. Nesse sentido, além de não ser possível realizar uma análise profunda durante as fases iniciais de projeto, devido à falta de informações detalhadas (SCHOGGL; BAUMGARTNER; HOFER, 2017), este também não é o propósito de uma análise de *hotspots*.

Em relação à consideração das subcategorias de impacto social, conforme mostrado anteriormente, diversas subcategorias foram sugeridas pelos especialistas, o que refletiu na avaliação quanto a esse critério. No que diz respeito às dimensões da sustentabilidade consideradas, a dimensão econômica não foi abordada pela proposta pelas razões descritas no Capítulo 3, seção 3.1.2, o que também refletiu na avaliação dos especialistas quanto ao critério “escopo das subcategorias de impacto social abordadas e dimensões da sustentabilidade”. A clareza com que os *hotspots* são identificados, no entanto, é passível de melhorias, e foi considerada. Nesse sentido, um *checklist* com questões para guiar o processo de identificação dos *hotspots* foi elaborado com base na literatura sobre métodos simplificados para avaliação do ciclo de vida de produtos, visando tornar o processo mais claro e objetivo. Após a análise da literatura, conforme descrito na seção 3.3.2 do capítulo de procedimentos metodológicos, foi identificado que os *checklists* são comumente utilizados para guiar o processo de análise em diversos métodos e ferramentas propostos (e.g. MET-Matrix, ERPA), pois tornam os métodos e ferramentas mais aplicáveis ao fornecerem orientação durante a análise (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006) e também são eficazes por proporcionarem economia de tempo no processo de identificação de aspectos ambientais específicos (KISHITA *et al.*, 2010).

Conforme descreve o Capítulo 3, diversas publicações foram consultadas (e.g. GRAEDEL; ALLENBY, 1995; GRAEDEL, 1998; HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003; BYGGETH; BROMAN; ROBERT, 2007; LIEDTKE *et al.*, 2010; SCHÖGGL; BAUMGARTNER; HOFER, 2017), bem como publicações sobre avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço (e.g. KIM *et al.*, 2016). O *checklist* desenvolvido para guiar análise dos aspectos na dimensão ambiental desenvolvido é apresentado no Quadro 31 e para a dimensão social no Quadro 32.



Quadro 31 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos *hotspots* na dimensão ambiental.

Dimensões dos aspectos ambientais <sup>31</sup>	Sugestões de questões para guiar o processo de análise	Indicadores sugeridos <sup>32</sup>	Referências de suporte <sup>33</sup>
Energia	É necessário o consumo de energia para realização da respectiva fase do ciclo de vida? Há consumo de combustíveis fósseis? Pode ocorrer um considerável consumo de energia para manipulação do produto? São utilizados materiais que envolvem considerável consumo de energia ( <i>e.g.</i> alumínio)?	Consumo de energia	Bienge <i>et al.</i> (2009); UNEP (2009b); Liedtke <i>et al.</i> (2010); Arena; Azzone; Conte (2013); Kim <i>et al.</i> , (2016)
Água	É necessário o consumo de água para realização da respectiva fase do ciclo de vida? Pode ocorrer um considerável consumo de água para manipulação do produto?	Consumo de água	Bienge <i>et al.</i> (2009); Liedtke <i>et al.</i> (2010), Arena; Azzone; Conte (2013)
Recursos renováveis	É relevante o uso de fontes de energia renovável para realização da respectiva fase do ciclo de vida?	Consumo de energia	Byggeth; Broman; Robèrt (2007)
	Se a água é uma questão significativa em seu mercado de atuação, existem fontes alternativas de água que poderiam ser usadas na respectiva fase do ciclo de vida?	Consumo de água	UNEP (2009)

Continua

<sup>31</sup> Os aspectos ambientais foram denominados como “dimensões ambientais” conforme realizado por Arena *et al.* (2013), apenas para fins de nomenclatura no *checklist*.

<sup>32</sup> Esses indicadores foram construídos com base na análise de outros estudos (referências de suporte), e devem ser obtidos por meio da consulta a outras fontes de dados (*e.g.* estudos anteriores dos sistemas de referência, bases de dados).

<sup>33</sup> Referências que foram consultadas e suportaram a construção do *checklist*.

Quadro 31 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos *hotspots* na dimensão ambiental.

Dimensões dos aspectos ambientais	Sugestões de questões para guiar o processo de análise	Indicadores sugeridos	Referências de suporte
Materiais tóxicos	Há risco de manipulação de substâncias nocivas?	Tipos e quantidades de materiais nocivos utilizados	Maxwell <i>et al.</i> (2006); Byggeth; Bro man; Robèrt (2007); Arena; Azzone; Conte (2013)
Emissões/efluentes	O produto e respectivos materiais contém gases tóxicos que podem ser liberados durante as fases do ciclo de vida? Emissões para água ocorrem?	Tipos e quantidades de poluentes emitidos para ou ar/água	Hochschorner; Finnveden (2003); Arena; Azzone; Conte (2013); Kim <i>et al.</i> (2016)
Materiais	Há um grande consumo de materiais na respectiva fase do ciclo de vida? O consumo é eficiente?	Tipos e quantidades de materiais consumidos	Arena; Azzone; Conte (2013); Kim <i>et al.</i> (2016)

Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura relacionada ao tema.

Quadro 32 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos *hotspots* na dimensão social.

Categorias de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto social	Questões propostas para guiar o processo de identificação e análise de <i>hotspots</i>	Indicadores sugeridos	Possíveis fontes de informação <sup>34</sup>
Trabalhadores	Saúde e segurança	O trabalho realizado na respectiva fase do ciclo de vida oferece riscos à saúde dos trabalhadores? A taxa de acidentes de trabalho no país/região/setor é alta?	Risco social de acidentes ocupacionais na região	<i>Social Hotspots database</i>
	Horas de trabalho	A respectiva fase do ciclo de vida envolve processos de trabalho intensivos? Os setores/região onde a fase do ciclo de vida ocorre são caracterizados por excessivas horas de trabalho?	Risco social para horas excessivas de trabalho na região	<i>Social Hotspots database, International Trade Union Confederation WTO country report</i>
Consumidores	Saúde e segurança	Há um número significativo de reclamações em relação aos produtos envolvidos ou modelo de negócio convencional à nível setorial/nacional? Há um grande número de acidentes envolvendo os produtos relacionados no que diz respeito aos efeitos dos mesmos na saúde e segurança?	Existência de reclamações no setor	Relatórios do setor

Continua

<sup>34</sup> Identificadas conforme UNEP/SETAC (2013).

Quadro 32 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos *hotspots* na dimensão social - continuação.

Categorias de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto social	Questões propostas para guiar o processo de identificação e análise de <i>hotspots</i>	Indicadores sugeridos	Possíveis fontes de informação
Consumidores	Mecanismos de <i>feedback</i>	Mecanismos de <i>feedback</i> são relevantes no ciclo de vida em análise? O número de reclamações dos consumidores é relevante no contexto dos produtos/serviços/modelo de negócio existentes?	Existência de reclamações no setor	Relatórios do setor
	Responsabilidade no fim da vida útil	A eliminação do produto ou outro esquema no fim da vida útil pode levar à preocupações ambientais e sociais significativas? Há legislação regional/nacional responsável pela disposição final do produto/reciclagem?	Existência de legislações acerca da destinação ao fim da vida útil dos produtos	<i>Ecolex</i> informações sobre legislação em cada país
Comunidade local	Saúde e segurança	A realização da fase do ciclo de vida pode afetar a saúde e segurança da comunidade? Há regulamentações de segurança que devem ser seguidas na região onde a fase do ciclo de vida será implementada? Os níveis de poluição da localidade são altos?	Nível de poluição na região/regulamentações sobre saúde e segurança na região	<i>World Bank</i>

Continua

Quadro 32 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos *hotspots* na dimensão social - continuação.

Categorias de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto social	Questões propostas para guiar o processo de identificação e análise de <i>hotspots</i>	Indicadores sugeridos	Possíveis fontes de informação
Comunidade local	Acesso a recursos materiais	O percentual da população com acesso a saneamento básico na localidade onde a fase do ciclo de vida será implementado é relevante? Há infraestrutura? O desenvolvimento da infraestrutura local é relevante para a qualidade de vida da população?	Estatísticas de acesso à infraestrutura de água e saneamento	<i>Social Hotspots Database</i>
	Acesso a recursos imateriais	Existem políticas de liberdade de expressão na localidade onde a fase do ciclo de vida será implementada? As mesmas são relevantes? Há políticas para transferência de tecnologia?	Níveis de transferência de tecnologia na região	<i>World Economic Forum</i>
	Envolvimento da comunidade	O envolvimento de atores locais é fundamental para a realização da etapa do ciclo de vida?	Transparência do processo de formulação de políticas públicas	<i>World Economic Forum</i>
	Geração de empregos	A geração de empregos com a realização da fase do ciclo de vida é de extrema relevância na região? As estatísticas de desemprego na região/país são altas?	Estatísticas de desemprego na região/setor	<i>Social Hotspots Database/ ILO database</i>
	Herança cultural	Há valores culturais específicos no local onde a fase do ciclo de vida será realizada que precisam ser mantidos?	Características do local onde a fase do ciclo de vida será realizada	Informações culturais da região

Continua

Quadro 32 - Questões e indicadores para guiar o processo de identificação dos *hotspots* na dimensão social - continuação.

Categorias de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto social	Questões propostas para guiar o processo de identificação e análise de <i>hotspots</i>	Indicadores sugeridos	Possíveis fontes de informação
Sociedade	Compromisso público com questões de sustentabilidade	Os setores relacionados aos produtos/serviços envolvidos são engajados em questões de sustentabilidade? Esse aspecto é relevante para a fase do ciclo de vida em análise?	Engajamento do setor envolvido em questões de sustentabilidade/existência de obrigação de elaboração de relatórios ambientais	Relatórios do governo/setor
	Desenvolvimento econômico	Os setores envolvidos na respectiva fase do ciclo de vida contribuem de forma significativa para a economia local?	Situação econômica da região/relevância do setor para a economia local	Estatísticas econômicas nacionais
	Políticas públicas sobre desenvolvimento sustentável	Há políticas públicas para promoção da sustentabilidade em relação aos setores envolvidos? A existência de tais políticas é essencial para a implementação do PSS?	Existência de políticas públicas	Relatórios do setor/governo
	Desenvolvimento tecnológico	A realização da fase do ciclo de vida contribui de forma significativa para o desenvolvimento tecnológico? Esforços do setor para desenvolvimento de tecnologias são relevantes?	Esforços do setor no desenvolvimento de novas tecnologias	Relatórios do setor
Atores da cadeia de valor	Relacionamento entre os atores	A realização da fase do ciclo de vida tem impactos significativos em outros atores da cadeia de valor?	Estatísticas econômicas acerca dos setores relacionados na cadeia de valor	Relatórios do setor

Fonte: elaborado pela autora com base na análise da literatura relacionada ao tema.

É importante ressaltar que estudos passados acerca dos sistemas de referência (e.g. análises do ciclo de vida) e outras fontes de informação (e.g. bases de dados) é que suportam a identificação dos indicadores sugeridos e processo de atribuição dos escores durante a análise, conforme já explicado anteriormente na seção 3.2.3 do Capítulo 3.

Além disso, uma questão final sobre outras sugestões de melhorias também foi abordada pelo questionário e outras sugestões que não foram inicialmente agrupadas com as sugestões anteriormente apresentadas foram feitas. Estas são apresentadas no Quadro 33.

Quadro 33 - Outras sugestões de melhoria/comentários realizados pelos especialistas.

Sugestões	Melhoria sugerida considerada/realizada
Seria importante especificar os aspectos ambientais e subcategorias de impacto social para cada categoria de PSS	Não/Não
O problema é complexo e merece tratamento multicritério	Não/Não
Se outros <i>stakeholders</i> surgirem, subcategorias adicionais de impacto social devem ser identificadas para os meses	Sim/parcialmente

Fonte: sintetizado pela autora com base nas respostas dos especialistas.

Um dos pesquisadores sugeriu que uma análise multicritério fosse incorporada, pois segundo o mesmo o problema é complexo e merece um tratamento multicritério. Apesar de a sugestão ser relevante, a aplicação de uma análise multicritério nas fases iniciais de desenvolvimento quando ainda não se tem muitas informações e detalhes acerca dos produtos e serviços em desenvolvimento pode ser complexa de ser realizada pela equipe de projeto, até mesmo pela falta de conhecimentos específicos. Além disso, no processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis é difícil elencar um objetivo, uma vez que as três dimensões da sustentabilidade são consideradas como igualmente importantes (BUCHERT *et al.*, 2015). A inclusão de um tratamento multicritério também foge dos objetivos da proposta de ser uma abordagem simples de aplicação nas fases iniciais de projeto visando aumentar a aplicação prática, uma vez que a pesquisa em PSS permanece a nível teórico com pouca aplicação dos métodos e ferramentas desenvolvidos (BOEHM; THOMAS, 2013).

No que diz respeito à priorização dos *hotspots*, nenhuma sugestão de melhoria foi feita. As abordagens adotadas como ponto de partida não sugerem um procedimento específico para priorização dos *hotspots* durante o projeto. Recomenda-se, no entanto, que a equipe de projeto decida quais os *hotspots* no mesmo nível (*i.e.* que após a análise resultaram nos escores 6 e 9), devem ser priorizados nas fases subsequentes de desenvolvimento.

Distinções acerca das subcategorias de impacto social para cada grupo de *stakeholders* específicos também não foram realizadas, uma vez que não estava dentro do escopo da proposta listar todos os possíveis *stakeholders* e subcategorias de impacto social específicas para os mesmos, e sim sugerir um conjunto de *stakeholders* e subcategorias de impacto gerais que podem ser aplicadas para análise de qualquer categoria de PSS durante as fases iniciais de projeto. Nesse mesmo contexto, grupos de *stakeholders*, subcategorias de impacto social e aspectos ambientais não foram definidos para cada categoria de PSS específica, e sim de forma genérica para análise de qualquer PSS. Em cada caso específico definições adicionais acerca das fronteiras do sistema podem ser estabelecidas.

Uma vez que as sugestões de melhoria foram consideradas e realizadas, a seção a seguir apresenta uma síntese das melhorias realizadas e uma visão geral da segunda versão da proposta para análise de *hotspots*.

#### **4.2.6 Síntese das melhorias realizadas e visão geral da segunda versão da proposta**

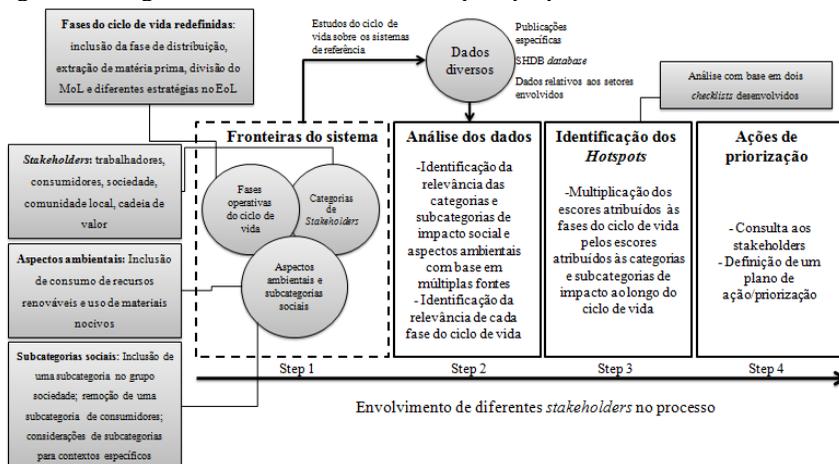
Conforme discutido na seção anterior, as seguintes melhorias foram realizadas a partir das sugestões dos especialistas:

- Ciclo de vida: considerou-se a inclusão de novas fases (extração de matéria prima), divisão das fases do MoL e sugestão da construção de cenários para o EoL;
- Categorias de *stakeholders*: nenhuma foi eliminada (ver análise/justificativas na seção 4.2.2);
- Subcategorias de impacto social: uma subcategoria foi eliminada do grupo “consumidores” e uma foi acrescentada no grupo “sociedade” (ver análise/justificativas na seção 4.2.3);
- Subcategorias que são relevantes em determinados contextos foram identificadas e são propostas para os casos nos quais se apliquem;

- Aspectos ambientais: os aspectos ambientais “consumo de recursos renováveis” e “uso de materiais nocivos” foram acrescentados após identificação dos mesmos na análise de literatura de PSS;
- Após avaliação da estrutura da proposta, um *checklist* foi desenvolvido para guiar o processo de análise e melhorar a clareza com que os *hotspots* são identificados.

A Figura 17 apresenta uma visão geral da segunda versão da proposta e etapas envolvidas na identificação e análise dos *hotspots*, bem como as melhorias realizadas na proposta após a avaliação por especialistas.

Figura 17 - Segunda versão da análise de *hotspots* proposta.



Fonte: construído pela autora com base em UNEP/SETAC (2009); Benoit *et al.* (2010), Liedtke *et al.* (2010), Benoit *et al.* (2011), Liedtke *et al.* (2013) e UNEP/SETAC (2014).

Conforme discutido anteriormente, primeiramente, na identificação das fronteiras do sistema a equipe de projeto verifica quais possíveis cenários podem ocorrer no fim da vida útil, de acordo com a nova estrutura do ciclo de vida. Grupos de *stakeholders*, subcategorias de impacto social e aspectos ambientais podem ser acrescentados na etapa de definição das fronteiras do sistema de acordo com cada caso específico de projeto. A fase de análise, finalmente, é suportada por um *checklist* que foi desenvolvido para guiar o processo de atribuição dos

escores. Uma vez que a segunda versão da proposta foi estruturada, a seção a seguir apresenta uma discussão comparativa da mesma com a avaliação de ciclo de vida completa, conforme já apresentado por outras publicações que abordam métodos simplificados para avaliação durante o ciclo de vida durante o projeto de produtos.

#### **4.2.7 Comparação da análise de *hotspots* proposta com a avaliação do ciclo de vida**

Comparações de abordagens simplificadas para avaliação do ciclo de vida e métodos como ACV são comumente aplicadas na literatura (e.g. HUNT *et al.*, 1998; HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003; ARENA *et al.*, 2013). Sendo assim, a análise de *hotspots* proposta também foi comparada para fins de demonstração das diferenças e similaridades. Para comparação da análise de *hotspots* com a ACV, os mesmos aspectos adotados por outras publicações que avaliam métodos simplificados de análise do ciclo de vida foram considerados (i.e. TODD; CURRAN, 1999; HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003; ARENA *et al.*, 2013); os mesmos são apresentados no Quadro 34.

No que diz respeito ao propósito, as duas abordagens suportam a tomada de decisão durante o desenvolvimento de diferentes formas. A análise de *hotspots* tem como foco as fases iniciais de projeto, enquanto a ACV é mais adequada para as fases seguintes de desenvolvimento, quando especificações dos produtos e outras variáveis tiverem sido definidas. Esse é um dos principais diferenciais da abordagem proposta, sua aplicação durante as fases iniciais de projeto.

Com relação às fases do ciclo de vida, a análise de *hotspots* aborda as fases operativas do ciclo de vida de uma perspectiva do provedor, pois teve como objetivo focar em fases que os atores podem atuar diretamente (LIEDTKE *et al.*, 2010). A fase inicial de extração de matérias primas, do ciclo de vida dos produtos também foi considerada. A avaliação do ciclo de vida também cobre todas as fases do ciclo de vida de um produto, do “berço ao túmulo”.

Em relação às categorias de impacto, enquanto a ACV envolve uma série de categorias de impacto na dimensão ambiental, a abordagem proposta se limitou às categorias de impacto ambiental mais abordadas na literatura de PSS e que fossem genéricas suficientes para análise de qualquer oferta. Além disso, a abordagem proposta também considera a dimensão social, enquanto a ACV tem por foco a dimensão ambiental. Aspectos ambientais e subcategorias de impacto social específicas à cada contexto devem ser consideradas em cada situação particular. No

caso da ACV convencional, a análise, no entanto, se limita a categorias pré-definidas, cujos dados geralmente estão disponíveis em bancos de dados.

Quadro 34 - Aspectos comparativos.

Aspectos para comparação	Descrição
Intenção de uso	Uso pretendido
Completeza dos estágios do ciclo de vida	Cobertura das fases do ciclo de vida
Completeza das categorias de impacto	Cobertura das categorias de impacto
Quantificação dos dados	Abrangência de dados quantitativos
Ponderação	Uso de algoritmos para ponderação dos impactos
Arbitrariedade	Utilização de suposições arbitrárias
Transparência	Nível de transparência através do qual o método estabelece os resultados pretendidos
Informação temporal	Consideração dos impactos ao longo do tempo
Informação espacial	Capacidade do método em considerar como os impactos são espacialmente distribuídos
Escala	Escala (local, regional, global) dos impactos que o método considera
Facilidade de uso	Facilidade ou dificuldade de interpretação dos resultados
Tempo necessário para aplicação	Esforços necessários para coleta de dados
Resultados	Tipo de resultados alcançados

Fonte: adaptado de Hochschorner e Finnveden (2003) e Arena *et al.*, (2013).

No que diz respeito à consideração de dados quantitativos, enquanto na ACV dados predominantemente quantitativos são utilizados, a análise de *hotspots* utilizada dados qualitativos ou semi-quantitativos, uma vez que tem por base para realização da avaliação dados de produtos/serviços existentes e que um PSS visa substituir e/ou dados do setor e localidade onde o PSS será implementado. A análise de *hotspots* proposta também não utiliza ponderações para os impactos como é realizado a agregação de dados na ACV, pois é uma análise qualitativa que não se baseia em dados quantitativos. Além disso, a mesma tem como propósito demonstrar os possíveis e principais impactos que podem ser gerados nas fases do ciclo de vida. No caso de mais produtos estarem envolvidos e receberem escores diferentes

durante a análise de relevância em uma fase do ciclo de vida, sugere-se que o score maior seja atribuído à categoria de impacto na respectiva fase, pois os *hotspots* são visualizados pela categoria/subcategoria de impacto na respectiva fase do ciclo de vida. A priorização dos *hotspots* também não é considerada na proposta, porém sugere-se que a equipe de projeto realize a priorização de acordo com cada caso específico.

Com relação à arbitrariedade dos dados, a análise de *hotspots* é totalmente baseada no julgamento da equipe de projeto e utiliza dados qualitativos/semi-quantitativos. No entanto, a ACV também conta com certa arbitrariedade na maneira como os impactos são agregados. Ambos os métodos são transparentes em relação a como os resultados são derivados. Um *checklist* foi elaborado para guiar o processo de análise, e é recomendado que a equipe de projeto documente todas as decisões tomadas. No caso da ACV, a mesma é baseada em diretrizes internacionais.

A análise de *hotspots* proposta não utiliza dados temporais para informar quando os impactos ocorrem. No entanto, utiliza-se de informações geográficas, especialmente no que diz respeito aos impactos sociais, enquanto em uma ACV essa distinção não é realizada. Ambos os métodos, no entanto, são passíveis de aplicação em uma escala global.

Em relação à facilidade de uso, a análise de *hotspots* proposta é simples de aplicação, especialmente por sua finalidade de aplicação durante as fases iniciais de projeto quando não se tem muitas informações. A interpretação dos resultados também é simples e consiste apenas na identificação dos *hotspots*, sendo ambos aspectos diferenciais da abordagem proposta para aplicação durante as fases iniciais de desenvolvimento. A interpretação dos dados de uma ACV, no entanto, requer conhecimentos específicos sobre o método de avaliação do ciclo de vida. Além disso, a abordagem proposta requer menos tempo para coleta de informações do que uma ACV detalhada, o que é especialmente útil durante as fases iniciais de desenvolvimento quando não se tem profissionais de sustentabilidade envolvidos no projeto e nem se dispõe de muito tempo.

Os resultados proporcionados pela análise de *hotspots* são genéricos e fornecem uma visão geral dos possíveis impactos, sendo um ponto de partida para uma análise detalhada do ciclo de vida posteriormente quando outras definições acerca dos produtos/serviços, e organizações envolvidas forem realizadas. Os dois métodos, no entanto, fornecem outputs diferentes. A ACV fornece resultados quantitativos para algumas categorias de impacto, enquanto a análise de *hotspots*

oferece apenas suporte ao processo de tomada de decisão e fases posteriores de projeto.

No que diz respeito à comparação com outros métodos simplificados disponíveis na literatura, a mesma não foi realizada por não ter sido identificada uma abordagem equivalente disponível no que diz respeito à finalidade (avaliação de sistemas produto-serviço durante as fases iniciais de projeto, considerando o ciclo de vida, especialmente no que diz respeito à dimensão social).

Finalmente, uma vez que a proposta foi estruturada e analisada comparativamente com a ACV, a seção a seguir demonstra a aplicação simulada da análise de *hotspots* para o desenvolvimento fictício de uma solução de PSS.

#### 4.3 DEMONSTRAÇÃO DE APLICAÇÃO DA PROPOSTA NO DESENVOLVIMENTO SIMULADO DE UM PSS

Conforme descrito no Capítulo 3 (seção 3.3.3), um exemplo de aplicação da proposta para identificação de *hotspots* em um sistema produto-serviço foi desenvolvido, advindo de uma situação real, porém foi adotado o pressuposto que a solução é inexistente e o contexto diz respeito ao projeto da solução. O propósito foi oferecer uma visão geral de como ocorreria a aplicação em uma situação real de projeto de um PSS. Esta seção apresenta o desenvolvimento fictício em linhas gerais. Outras informações similares sobre o PSS escolhido podem ser encontradas em Sousa<sup>35</sup> (2014) e Sousa-Zomer; Cauchick-Miguel (2016).

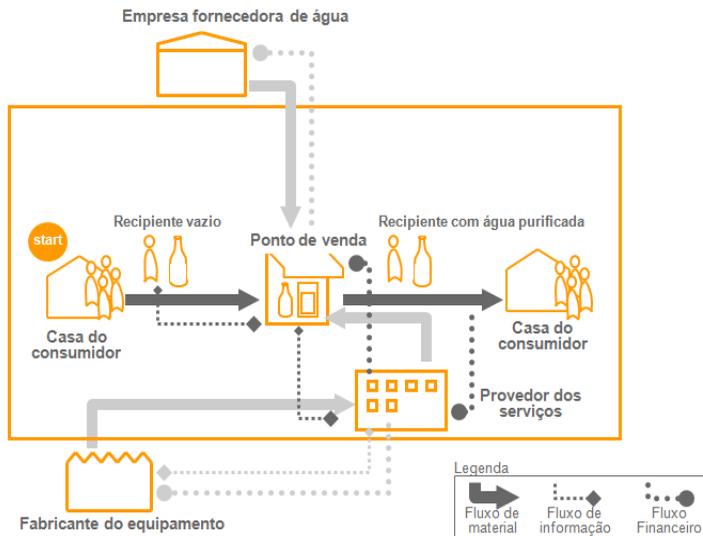
Supondo que durante o projeto de um novo PSS, o conceito definido e selecionado pela equipe de projeto na etapa de projeto conceitual consiste em um sistema produto-serviço do tipo “orientado ao resultado” (para as categorias ver Tukker, 2004), visando a oferta de “água purificada/filtrada” para suprir uma necessidade identificada na região onde supostamente seria implementado (no Brasil). Os produtos, serviços, rede de atores e infraestrutura que constituem esse PSS foram apresentados na seção 3.3.3 do Capítulo 3. A Figura 18 apresenta um mapa de operação do sistema. Conforme já descrito, o consumidor dirige-se até os estabelecimentos comerciais onde há um equipamento de purificação instalado, com seu próprio recipiente (que pode ser de materiais distintos, mas foi assumido que consistem em garrafas

---

<sup>35</sup> Trabalho de conclusão de curso realizado em 2014 que consistiu em uma análise do PSS abordado e seu potencial sustentável.

plásticas previamente adquiridas na compra de água mineral). Diversas opções de volume para aquisição são oferecidas. O consumidor paga pelo volume de água adquirido entre as opções disponíveis.

Figura 18 - Mapa de operação do PSS de purificação de água orientado ao resultado.



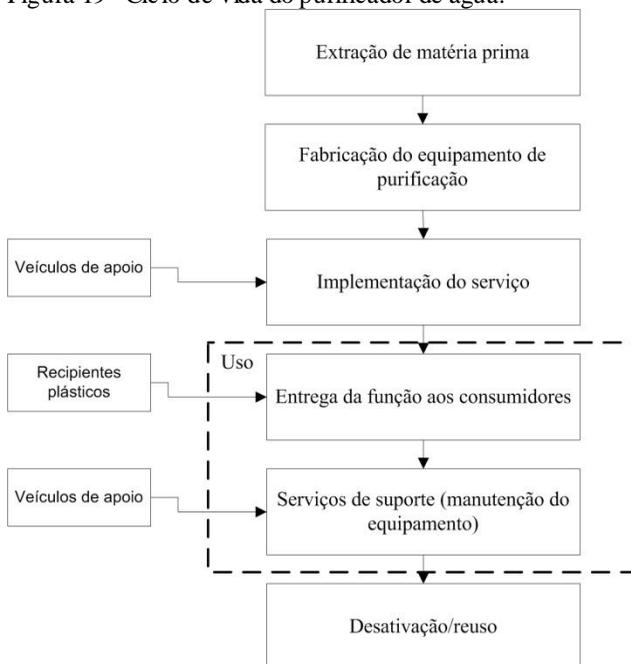
Fonte: elaborado pela autora.

Após o conceito desse PSS ter sido apresentado, aspectos relacionados à definição das fronteiras do sistema (primeira etapa da análise de *hotspots*), que consistem na estruturação do ciclo de vida, definição dos aspectos ambientais, categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto social são introduzidos na seção a seguir.

### 4.3.1 Primeira etapa: definição das fronteiras do sistema

Na definição das fronteiras do sistema, primeiramente o ciclo de vida do PSS deve ser estruturado. A Figura 19 apresenta o ciclo de vida do PSS desenvolvido, envolvendo as etapas de extração de matéria prima e fabricação do principal produto envolvido no sistema (o equipamento de purificação), pois este é o principal responsável pela “entrega da função” que esse PSS visa oferecer.

Figura 19 - Ciclo de vida do purificador de água.



Fonte: elaborado pela autora.

O ciclo de vida consiste na extração e processamento dos materiais necessários para fabricação do produto, fabricação do equipamento de purificação, entrega da função “água purificada/filtrada” aos consumidores e serviços de suporte durante o uso (manutenção preventiva e corretiva) e fim da vida útil (apresentados na seção 3.3. do Capítulo 3). Durante o fim da vida, o equipamento de purificação e os componentes podem ser reutilizados após o encerramento do contrato com os estabelecimentos comerciais onde o equipamento é instalado (que são os atores desse PSS, conforme discriminados no Capítulo 3). Outra alternativa é desativar o equipamento em caso de não ser passível de reutilização. Nesse caso, os componentes devem ser reciclados em caso de não poderem ser reutilizados. Esses são os dois possíveis cenários de fim da vida útil inicialmente definidos pela equipe de projeto.

Diversos tipos de transporte ocorrem, a saber: (i) para instalação do equipamento e infraestrutura necessária (implementação do serviço), (ii) para a realização dos serviços de manutenção durante a fase de uso,

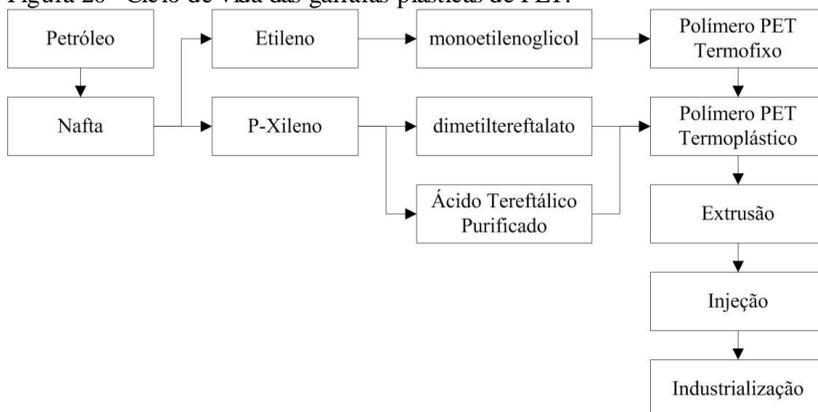
e (iii) para realização de serviços no fim da vida útil (quando o equipamento é desativado ou reutilizado), e (iii) para a desinstalação do equipamento. Automóveis comerciais são utilizados para realização da instalação dos equipamentos e realização da manutenção no equipamento durante a fase de uso. Além disso, para aquisição de água purificada, os consumidores devem utilizar seus próprios recipientes, como garrafas plásticas adquiridas anteriormente com a compra de água mineral. Embora outros recipientes possam ser utilizados, conforme discutido anteriormente, garrafas plásticas são as mais utilizadas em sistemas semelhantes operando em outras regiões como EUA, e a consideração da utilização das mesmas também já foi realizada por outros estudos (*e.g.* Nestlé Waters, 2010).

Na realidade, esses são os produtos secundários envolvidos no sistema para a entrega da função “água purificada” e os respectivos processos associados ao ciclo de vida desses produtos (*e.g.* extração de matéria prima, fabricação da embalagem, etc.) são denominados processos de background, (Figura 18) e não estão diretamente envolvidos no ciclo de vida do PSS, mas precisam ser considerados (NESTLÉ WATERS, 2010). Na verdade, como é recomendado na literatura que todos os fluxos contribuintes, incluindo os processos de background sejam incluídos na avaliação, para completude na seleção das fronteiras do sistema (KJAER *et al.*, 2016) os recipientes plásticos foram levados em consideração, uma vez que são essenciais para a entrega da função. Assim, estudos sobre o ciclo de vida desses produtos que atuam como sistemas de referência para a entrega da função (purificador de água que se assemelha ao equipamento de purificação em análise e recipientes plásticos) foram identificados e analisados (ver seção 3.3.3 do Capítulo 3).

A Figura 20 mostra o ciclo de vida de recipientes plásticos fabricados de polietileno tereftalato (PET), assumindo estes como sendo o principal tipo de embalagem utilizada na região onde o PSS será inserido. Os processos do ciclo de vida dos veículos de apoio (utilizados para manutenção) não foram considerados por os mesmos não serem diretamente relacionados à entrega da função, destacando que também não foram considerados em outros estudos que avaliam modelos de negócio semelhantes (*e.g.* CHUN; LEE, 2016). A definição das fronteiras no sistema, no entanto, fica a critério da equipe de projeto. Para fins de demonstração, somente os processos relacionados à entrega da função foram considerados nesse estudo envolvendo o equipamento de purificação e recipientes para aquisição de água. As seções a seguir apresentam uma descrição geral das fases do ciclo de vida do

equipamento de purificação e dos recipientes plásticos, conforme informações obtidas na literatura<sup>36</sup>.

Figura 20 - Ciclo de vida das garrafas plásticas de PET.



Fonte: elaborado pela autora com base em Valt (2004).

### 4.3.2 Informações do ciclo de vida dos produtos de referência

A seguir são apresentadas informações acerca das fases do ciclo de vida dos sistemas de referência (purificador de água no modelo de negócio convencional de venda de purificadores domésticos e garrafas plásticas).

#### 4.3.2.1 Uso de matéria prima, fabricação do produto e implementação do serviço

Com base em outros estudos sobre o ciclo de vida dos sistemas de referência envolvidos (*e.g.* CHUN; LEE, 2016), os principais componentes de um purificador de água convencional (utilizado como sistema de referência e cujos componentes são basicamente os mesmos componentes do equipamento de purificação em desenvolvimento) foram identificados, mostrados no Quadro 35.

<sup>36</sup> No Quadro 15 da seção 3.3.3 do Capítulo 3 são apresentadas as fontes consultadas para obtenção de informação.

Quadro 35 - Componentes de um purificador de água.

No.	Componente
1	Carcaça do purificador
2	Reservatório de água
3	Válvulas de controle
4	Estrutura principal (corpo)
6	Filtro
7	Conjunto cabo de alimentação
8	Placa de circuito impresso
9	Sistema de bombas

Fonte: elaborado pela autora com base na literatura consultada.

Embora a definição exata dos materiais utilizados na fabricação do equipamento de purificação ocorra somente nas fases subseqüentes de projeto, a identificação dos mesmos nos sistemas de referência permite uma visão geral do consumo de materiais envolvidos. O Quadro 36 apresenta os principais materiais envolvidos na fabricação de um purificador de água convencional.

Quadro 36 - Materiais utilizados no purificador de água.

Componente	Materiais
Carcaça do purificador	Acrilonitrila butadieno estireno (ABS), cobre, silicone
Reservatório de água	Aço inoxidável, poliéster, poliuretano, ABS
Válvulas de controle	Aço inoxidável, cobre, polipropileno, nylon, silicone, ferro fundido, latão
Estrutura principal	ABS
Filtro	Polipropileno, PET, ABS, poliéster, carvão ativado, polietileno
Conjunto cabo de alimentação	Cloreto de polivinila, cobre, ferro fundido
Placa de circuito impresso	Resistor, capacitor, transistor, placa
Sistema de bombas	Aço inoxidável, cobre, polipropileno, ferro fundido

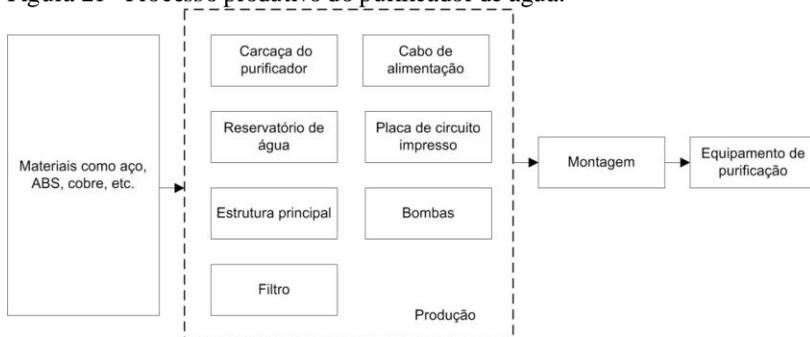
Fonte: elaborado pela autora com base na literatura consultada.

No caso das garrafas PET, a matéria prima principal é o petróleo. O petróleo é destilado e transformado em nafta, que após processamento é convertida em etileno e p-xileno e outros derivados (VALT, 2004). O etileno e p-xileno são então transformados nos componentes

monoetilenoglicol, dimetiltereftalato e ácido tereftálico purificado que são as matérias primas para fabricação da resina (VALT, 2004). A resina em grânulos após processo de extrusão é aquecida e injetada em pré-moldes, que posteriormente são aquecidos, e por um processo de sopro se tornam garrafas (GLEICK; COOLEY, 2009).

Em relação à fabricação do equipamento, a Figura 21 mostra um macro esquema do processo da produção do equipamento, conforme identificado em estudos anteriores (CHUN; LEE, 2016).

Figura 21 - Processo produtivo do purificador de água.



Fonte: elaborado pela autora com base na literatura consultada.

O consumo estimado de energia no processo produtivo de um purificador de água é 1,45 kWh (CHUN; LEE, 2016), sem considerar a fabricação das matérias primas. No processo produtivo de recipientes plásticos, no entanto, o consumo de energia estimado para produzir um quilo de embalagens PET, incluindo a energia para transportar a resina do local onde é produzida até o local onde a garrafa é fabricada é de aproximadamente 27,8 kWh (GLEICK; COOLEY, 2009). Há ainda o consumo de energia associado ao transporte dos equipamentos para instalação na localidade onde o PSS será implementado e respectiva implementação do serviço, que é variável, porém é realizado por caminhões de porte médio ou veículos de uso comum, que são meios de transporte com alto consumo de energia (GLEICK; COOLEY, 2009). Após a implementação do serviço ocorre a fase de uso, descrita a seguir.

#### 4.3.2.2 Uso do PSS

A fase de uso envolve a entrega da função ao consumidor e os serviços de manutenção prestados para manter a provisão da função. O

processo de purificação tem o consumo médio de energia para um equipamento de purificação operando 24 horas por dia de 38,4 KWh (CHUN; LEE, 2016). No entanto, dependendo do processo de purificação adotado (*e.g.* osmose reversa, lâmpadas ultravioletas, micro-filtração etc.) e frequência de uso, o consumo de energia é variável, sendo um aspecto relevante durante a fase de uso. Além disso, os purificadores de água comercializados no modelo de negócio tradicional de venda dos produtos (sistema de referência) consomem grande quantidade de energia na fase de uso, principalmente se oferecem a possibilidade de refrigeração da água (CHUN; LEE, 2016).

Durante a fase de uso possíveis trocas do elemento filtrante devem ser realizadas, bem como limpeza do reservatório de água. Para manutenção da função do PSS, o provedor dos serviços frequentemente visita os estabelecimentos comerciais onde os equipamentos de purificação estão instalados para realização da manutenção preventiva. As manutenções corretivas são realizadas em caso de possíveis problemas com o equipamento. Possíveis impactos ambientais podem estar associados ao transporte realizado durante a manutenção, que depende da distância percorrida até o local onde o equipamento de purificação está instalado, do meio de transporte utilizado e frequência das visitas realizadas. Todo o transporte realizado está associado com emissão de gases decorrentes da combustão. A intensidade de emissão de gases para transporte rodoviário utilizando um caminhão de porte médio expresso em gramas de CO<sub>2</sub> por tonelada-km é 60 g/ton-km (GRIFFIN, 2009).

Após a realização de diversos ciclos de manutenção, quando o equipamento de purificação não é passível de utilização devido a problemas com os componentes ou problema interno, o mesmo passa ao fim da vida útil, conforme descrito a seguir.

#### 4.3.2.3 Fim da vida útil

No fim da vida útil, o equipamento de purificação pode ser reutilizado no caso de encerramento do contrato junto ao estabelecimento comercial, ou desativado em caso de não ser mais passível de reutilização. Nesse caso, os componentes devem ser reciclados, sempre que possível ou reutilizados. O Quadro 37 apresenta os componentes, respectivos materiais e possíveis cenários associados ao fim da vida útil com relação à reciclagem dos componentes. Estes foram identificados no estudo de Chun e Lee (2016), sobre o ciclo de vida de purificadores de água.

Quadro 37 - Reciclagem de materiais utilizados no purificador de água.

Componente	Materiais	Cenário de reciclagem <sup>37</sup>
Carcaça	ABS	100% reciclável
	Polycarbonato	Mix de polímero: 1%/ Incineração: 59,5%/ Aterro: 39,5%
	Cobre	Reciclagem de resíduos não-metálicos:100%
	Silicone	Reciclagem de resíduos não metálicos: 2,6%/ Incineração 4,7%/ Aterro sanitário: 92,7%
Reservatório	Aço inoxidável	Reciclagem de metais residuais: 100%
	Poliéster	Reciclagem de resíduos de polímeros mistos: 1%/ Incineração: 59,5%/ Aterro sanitário 39,5%
	Poliuretano	Reciclagem de resíduos de polímeros mistos: 1%/ Incineração: 59,5%/ Aterro: 39,5%
	ABS	Reciclagem de resíduos de polímeros mistos: 100%
Válvulas	Aço inoxidável	Reciclagem de metais residuais: 100%
	Cobre	Reciclagem de resíduos não-metálicos: 100%
	Polipropileno	Reciclagem de resíduos de polímeros mistos: 100%
	Nylon	Reciclagem de resíduos de polímeros mistos: 0,9%/ Incineração: 45,5%/ Aterro: 53,4%
	Silicone	Reciclagem de resíduos não metálicos: 2,6%/ Incineração: 4,7%/ Aterro: 92,7%
	Ferro	Reciclagem de metais residuais: 100%
	Cobre	Reciclagem de resíduos não metálicos: 100%
	Policroreto de vinila	Reciclagem de resíduos plásticos mistos: 1%/ Incineração: 59,5%/ Aterro: 39,5%
	Bronze	Reciclagem de resíduos não metálicos: 2,6%/

Continua

<sup>37</sup> De acordo com os materiais envolvidos em cada componente, esses são os cenários de reciclagem possíveis, de acordo com Chun e Lee (2016).

Quadro 37 - Reciclagem de materiais utilizados no purificador de água - continuação.

Componente	Materiais	Cenário de reciclagem
Estrutura principal	ABS	Reciclagem de resíduos polímeros mistos: 100%
Filtro	Polipropileno	Reciclagem de resíduos de polímeros mistos: 100%
	PET	Reciclagem de resíduos polímeros mistos: 1%/ Incineração: 59,5%/ Aterro: 39,5%
	ABS	Reciclagem de resíduos polímeros mistos: 100%
	Poliéster	Reciclagem de resíduos de polímeros mistos: 1%/ Incineração: 59,5%/ Aterro: 39,5%
	Carbóno ativado granular	Aterro sanitário: 100%
	Polietileno	Reciclagem de resíduos de plásticos mistos: 1% / Incineração: 59,5% / Aterro: 39,5%
Conjunto cabo de alimentação	Cloreto de polivinila	Reciclagem de resíduos de plásticos mistos: 1% / Incineração: 59,5% / Aterro: 39,5%
	Cobre	Reciclagem de resíduos não-metálicos: 100%
	Ferro	Reciclagem de metais residuais: 100%
Placa de circuito impresso	Resistor	Reciclagem de resíduos plásticos mistos: 54%/ Incineração de componentes específicos: 16,8%/ Resíduos perigosos - aterro: 22,3%

Fonte: elaborado pela autora com base em Chun e Lee (2016).

Após o levantamento de informações acerca do ciclo de vida dos sistemas de referência, a próxima etapa consiste na identificação das categorias de *stakeholders* envolvidos no ciclo de vida, subcategorias de impacto relacionadas aos mesmos e aspectos ambientais, conforme apresentado a seguir.

#### 4.3.3 Categorias de *stakeholders*, subcategorias de impacto social e aspectos ambientais

Em relação aos *stakeholders* envolvidos, conforme descrito na seção 3.3.3 do Capítulo 3, os atores envolvidos nesse PSS dizem respeito ao provedor dos serviços, fabricante do equipamento de

purificação, estabelecimentos comerciais (esses são os atores da cadeia de valor, conforme descrito pelas categorias de *stakeholders* propostas no trabalho), consumidores, trabalhadores envolvidos em todas as fases do ciclo de vida, comunidade local onde o PSS será implementado (envolvendo a empresa provedora de água) e sociedade (contexto nacional).

Entre as subcategorias de impacto social selecionadas inicialmente, todas se aplicam no contexto do PSS em questão. Entre as subcategorias de impacto sociais extras identificadas, as mesmas não são relevantes no contexto em questão e não foram selecionadas para inclusão. No entanto, em cada contexto de desenvolvimento, a equipe de projeto deve proceder a análise de quais subcategorias de impacto são apropriadas. Para obtenção dos dados, conforme apresentado no *checklist* (Quadro 32 da seção 4.2.5 do presente capítulo), foi feita a consideração de que as fases do ciclo de vida são realizadas no Brasil, onde a solução será implementada. A base de dados *Social Hotspots Database* foi utilizada para guiar o processo de análise, conforme descrito no Capítulo 3.

No que diz respeito aos aspectos ambientais, além do consumo de energia envolvido nos ciclos de vida dos sistemas de referência, conforme descrito anteriormente, há os demais aspectos ambientais envolvidos no ciclo de vida. Em relação às garrafas plásticas, conforme apontado por Valt (2004), em quase todas as etapas do ciclo de vida de garrafas plásticas são produzidos resíduos sólidos, efluentes líquidos e poluição atmosférica (gases e material particulado de combustão, gases da polimerização, gerando os seguintes poluentes: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>). Em relação ao consumo de água, o mesmo ocorre em todas as fases do ciclo de vida de garrafas plásticas, porém a fase de extração do petróleo é que a mais consome esse recurso, segundo Valt (2004).

Quanto aos aspectos ambientais para os purificadores, segundo Chun e Lee (2016), as fases de operação e produção são as que mais contribuem para emissões de poluentes atmosféricos e consumo de energia. O consumo de materiais e geração de resíduos, no entanto, embora relevantes não são aspectos extremamente significativos ao longo do ciclo de vida de forma geral e comparativa com os outros aspectos (NESTLÉ WATERS, 2010). O consumo de recursos, no entanto, no caso da água, é expressivo (NESTLÉ WATERS, 2010).

Após o levantamento de informações acerca dos sistemas de referência e definição das fronteiras do sistema, a equipe de projeto procede a segunda etapa da análise de *hotspots*, a de identificação da relevância das fases do ciclo de vida.

#### 4.3.4 Análise de relevância das fases do ciclo de vida

Esta etapa diz respeito à identificação da relevância das fases do ciclo de vida (descrição dos procedimentos no Capítulo 3). Às fases do ciclo de vida que apresentam mais impactos associados, ou seja, que mais contribuem para a geração de impactos, conforme identificado nas fontes consultadas acerca dos sistemas de referência, são atribuídos os escores mais altos. O Quadro 38 apresenta os escores atribuídos para cada fase do ciclo de vida para a dimensão ambiental.

Quadro 38 - Atribuição de relevância para as fases do ciclo de vida na dimensão ambiental.

Fase do ciclo de vida	Escore atribuído
Extração da matéria prima	1
Fabricação	3
Implementação do serviço	1
Uso/operação do PSS	3
Desativação/reuso	2

Fonte: elaborado pela autora.

As fases de fabricação e uso receberam o escore 3 por serem as fases do ciclo de vida que mais contribuem para a geração de impactos ambientais, conforme apresentado por estudos anteriores sobre os sistemas de referência (NESTLÉ WATERS, 2010; CHUN; LEE, 2016). A operação do equipamento consome grande quantidade de energia, conforme descrito anteriormente, e para a realização dos serviços de manutenção são realizados transportes que contribuem para a geração de gases do efeito estufa. Além disso, para as garrafas plásticas, a etapa de fabricação é a que apresenta maior consumo de energia e geração de emissões atmosféricas (VALT, 2004). Ao fim do ciclo de vida foi atribuído o escore 2, uma vez que estudo anterior (CHU; LEE, 2016) demonstrou que, embora haja potencial de reciclagem de diversos materiais constituintes do purificador ao final do ciclo de vida, conforme mostrado no Quadro 36, a fase desativação apresenta contribuição relativamente moderada no que diz respeito ao esgotamento de recursos. Além disso, para o caso de recipientes plásticos, o descarte de garrafas plásticas ao fim da vida

útil gera inúmeros problemas, uma vez que os materiais plásticos são extremamente resistentes à biodegradação, e sua disposição em aterros sanitários pode durar centenas de anos, pois estes são enterrados e não ficam expostos à luz solar (GRIFFIN, 2009). Mesmo quando reciclados após o descarte, esses polímeros não são transformados em novas garrafas (GRIFFIN, 2009).

Para a fase de implementação do serviço foi atribuído o escore 1, pois a esta fase estão associados os possíveis impactos relativos aos transportes para instalação do produto. Porém, comparativamente com a fase de uso, os transportes são em menor intensidade. De forma semelhante, o escore 1 foi atribuído à fase de extração dos recursos, pois em ambos estudos sobre o ciclo de vida de purificadores e embalagens plásticas (VALT, 2004; CHUN; LEE, 2016), essa fase também apresenta pouca contribuição no que diz respeito ao total de impactos gerados, embora haja um grande consumo de água, no caso do ciclo de vida das garrafas plásticas (VALT, 2004).

No que diz respeito à dimensão social, avaliações do ciclo de vida nesta dimensão para os sistemas de referência não foram identificadas na literatura. No entanto, uma vez que os setores envolvidos ao longo do ciclo de vida e localidades de realização das fases do ciclo de vida são conhecidos (conforme foi assumido e apresentado no Capítulo 3) para realização da avaliação de relevância das fases do ciclo de vida, a base de dados sobre riscos sociais SHDB já apresentada anteriormente foi consultada para identificação dos riscos sociais relacionados às atividades realizadas e setores envolvidos em cada fase do ciclo de vida (ver seção 3.3.3, Capítulo 3). Uma análise dos riscos sociais considerando os diversos temas sociais cobertos pela base de dados foi realizada, e um escore médio<sup>38</sup> foi atribuído. O Quadro 39 apresenta os escores atribuídos para cada fase do ciclo de vida.

---

<sup>38</sup> Os riscos sociais para diferentes temas sociais, de acordo com essa base de dados, são considerados como baixo, médio, alto e muito alto. Foram analisados os riscos sociais de todos os temas, relacionados aos setores envolvidos na respectiva fase do ciclo de vida, e se em média os riscos sociais foram altos ou muito altos para os temas sociais, então o escore 3 (relevante), foi atribuído, por exemplo.

Quadro 39 - Análise de relevância para as fases do ciclo de vida na dimensão social.

Fase do ciclo de vida	Escore atribuído
Extração da matéria prima	2
Fabricação	2
Implementação do serviço	2
Uso do PSS	3
Desativação/reuso	2

Fonte: elaborado pela autora.

De acordo com a consulta a base de dados SHDB, os riscos sociais para a extração de petróleo (matéria prima dos recipientes e componentes plásticos de partes do purificador) e extração de metais (também matérias-primas conforme os componentes do purificador anteriormente apresentados) apresenta um risco social “moderado” para a maioria dos temas sociais cobertos pela base de dados. Por esta razão o escore 2 foi atribuído. Para a fase de fabricação, foram considerados os riscos associados à fabricação do equipamento e fabricação da placa eletrônica componente do equipamento de purificação (escore 2 foi atribuído). Na fase de implementação do serviço, foram considerados os transportes do equipamento para instalação, sendo também atribuído o escore 2. Na fase de uso, foram considerados os transportes para realização dos serviços de manutenção. A atividade de transportes na região analisada (na realidade em todo o país) apresenta riscos sociais elevados, e por isso o escore 3 de risco “alto” foi atribuído. Para a fase de desativação/reuso, apenas os transportes do equipamento foram considerados como atividades realizadas nessa fase, e semelhantemente à fase de implementação do serviço, o escore 2 foi atribuído. A seção a seguir apresenta a análise de relevância dos aspectos ambientais e subcategorias sociais em cada fase do ciclo de vida.

#### **4.3.5 Análise de relevância dos aspectos ambientais e subcategorias de impacto social no ciclo de vida**

O *checklist* desenvolvido para auxiliar na avaliação de relevância dos aspectos ambientais e das subcategorias sociais (apresentado na seção 4.2.5 do presente capítulo) foi utilizado e de acordo com as fontes consultadas acerca dos mesmos aspectos ambientais para os sistemas de referências, conforme já descrito nas seções anteriores, a análise de

relevância ao longo do ciclo de vida foi realizada. O Quadro 40 apresenta os escores atribuídos para cada aspecto ambiental em cada fase do ciclo de vida.

Quadro 40 - Atribuição de escores na análise de relevância para os aspectos ambientais em cada fase do ciclo de vida.

Aspectos ambientais	Extração da matéria prima	Fabricação	Implementação do serviço	Uso	Desativação/reuso
Consumo de energia	1	3	2	3	2
Consumo de água	2	2	1	3	1
Geração de resíduos sólidos	1	1	2	3	3
Emissão de poluentes ar/água	2	2	2	3	2
Consumo de materiais	1	2	1	2	1
Consumo de outros recursos naturais	3	1	1	2	1
Uso de materiais nocivos	1	2	1	1	1

Fonte: elaborado pela autora.

No que diz respeito ao consumo de energia, as fases de produção e uso foram identificadas como as fases em que há maior consumo de energia, no caso da análise dos sistemas de referência (VALT, 2004; CHUN; LEE, 2016). Nas fases do ciclo de vida em que há transporte associado (por exemplo, para implementação do serviço), o escore 2 foi atribuído. Para extração de matéria prima foi atribuído o escore 1 pelo fato do consumo de energia estar associado à operação dos equipamentos para extração dos materiais principalmente (VALT, 2004), e por comparativamente às demais fases do ciclo de vida essa ser a que há o menor consumo de energia, conforme fontes consultadas para análise do sistema de referência.

Em relação ao consumo de água, o escore 3 foi atribuído à fase de uso porque o sistema de purificação a ser adotado deve ser eficiente para

que o mínimo de desperdício de água seja gerado. Para as fases de extração de matéria prima e fabricação foi atribuído o escore 2 por essas serem as fases em que há maior consumo de água no que diz respeito ao ciclo de vida de embalagens plásticas (VALT, 2004). No que diz respeito à geração de resíduos, na fase de uso há geração de resíduos associados ao processo de purificação da água e eliminação de efluentes, e o sistema de purificação deve ser o mais eficiente possível, e por essa razão o escore 3 foi atribuído. Para o fim da vida útil também foi atribuído o escore 3 devido à grande quantidade de materiais que não podem ser reciclados, conforme apresentado no Quadro 37.

Em relação à emissão de poluentes, durante a fase do uso resíduos decorrentes do processo de purificação podem ser eliminados na água. Essa é fase que também mais contribui para eliminação de gases do efeito estufa no caso do ciclo de vida de purificadores convencionais analisados como sistema de referência (CHUN; LEE, 2016). Nas fases em que há intensivo uso de transportes (*e.g.* para realização da implementação do serviço, manutenção), também há emissão de poluentes, e para as mesmas o escore 2 foi atribuído. No que diz respeito à extração de matéria prima, o processo de refino do petróleo contribui para a emissão de poluentes (VALT, 2004), e por isso também foi atribuído o escore 2 para essa fase. O consumo de materiais é significativo na fase de produção, uma vez que diversos componentes constituem um purificador são fabricados, e durante a fase de uso o consumo pode ser considerado como moderado, devido à realização do serviço de manutenção.

O consumo de recursos naturais é intensivo na fase de extração de matéria prima, uma vez que há um grande número de componentes plásticos derivados de petróleo. Durante a fase de uso, fontes de energia renovável (*e.g.* energia solar), podem ser utilizadas para a realização do processo de purificação, e nesse caso o consumo pode ser moderado ou alto dependendo da quantidade de energia necessária, e por isso o escore 2 foi atribuído. Em relação à utilização de materiais nocivos, o escore 2 foi atribuído à etapa de produção, porque durante o ciclo de vida dos recipientes plásticos a produção dos mesmos envolve a manipulação de constituintes químicos perigosos, como trióxido de antimônio, usado como catalisador no processo de fabricação da resina, e etilenoglicol (GRIFFIN, 2009). Por essa razão, o escore 2 foi atribuído à essa fase, e às demais fases o escore 1 foi atribuído por não terem sido identificadas informações acerca do manuseio de materiais nocivos nas demais fases na literatura consultada acerca dos sistemas de referência.

Da mesma forma, na dimensão social, o *checklist* desenvolvido também foi utilizado para guiar o processo de análise de relevância das subcategorias de impacto social ao longo do ciclo de vida. A base de dados SHDB foi utilizada para obtenção de dados de riscos sociais, bem como as outras fontes de informação, conforme sugerido no Quadro 32. O Quadro 41 mostra como exemplo os escores atribuídos para cada subcategoria de impacto social ao longo das fases do ciclo de vida para as categorias de *stakeholder* “trabalhadores”. Para as subcategorias de impacto social em cada grupo de *stakeholders* o procedimento é análogo, e a equipe de projeto procederia da mesma maneira. Como o propósito dessa aplicação é apenas para fins de demonstração, e não se constitui no objetivo do trabalho realizar a aplicação para uma situação de projeto de PSS, apenas uma subcategoria na dimensão social é demonstrada, conforme já explanado no Capítulo 3.

Quadro 41 - Exemplo de análise de relevância para as subcategorias de impacto social em cada fase do ciclo de vida para a categoria de *stakeholders* “trabalhadores”.

<i>Stakeholders</i>	Subcategorias	Extração da matéria prima	Fabricação	Implementação do serviço	Uso	Desativação/reuso
Trabalhadores	Saúde e segurança	3	3	3	2	2
	Horas de trabalho	1	2	1	1	1

Fonte: elaborado pela autora.

Para a subcategoria saúde e segurança, os riscos à saúde e segurança dos trabalhadores para realização do trabalho em cada fase do ciclo de vida foram identificados com base nos setores envolvidos, consultando a base de dados SHDB e os riscos sociais apresentados pela mesma para o setor e região onde o ciclo de vida ocorre. Para extração do petróleo, por exemplo, matéria prima de diversos componentes do purificador e das embalagens plásticas, há risco alto de injúrias não fatais, de acordo com os dados disponíveis na SHDB, e por isso o escore 3 foi atribuído. Da mesma forma, há risco moderado de trabalho excessivo no que diz respeito à fabricação do equipamento de purificação se o mesmo for fabricado no Brasil (pressuposto assumido

inicialmente), de acordo com os dados disponíveis na SHDB, e por isso o escore 2 foi atribuído. Para as demais subcategorias de impacto social considerando os demais grupos de *stakeholders*, a atribuição dos escores deve ocorrer de forma semelhante em uma situação real de projeto, ou seja, com base em fontes de informação secundárias como a base de dados SHDB e a equipe de projeto deve atribuir os escores de acordo com os possíveis riscos envolvidos no ciclo de vida associados às fases do ciclo de vida e setores envolvidos em cada fase do ciclo de vida. A próxima seção apresenta como os *hotspots* seriam finalmente identificados, uma vez que a análise de relevância das fases do ciclo de vida e aspectos ambientais e sociais foi realizada.

#### **4.3.6 Identificação dos *hotspots* no ciclo de vida**

A identificação dos *hotspots* ocorre pela multiplicação dos escores atribuídos às fases do ciclo de vida na dimensão ambiental e aspectos ambientais e pela multiplicação dos escores atribuídos às fases do ciclo de vida na dimensão social e subcategorias de impacto social, conforme a Equação 1 apresentada na seção 4.1 do presente capítulo. O Quadro 42 apresenta a identificação dos *hotspots* na dimensão ambiental para o PSS em análise. Para identificação dos *hotspots* sociais o procedimento é análogo.

Para as fases do ciclo de vida que apresentam os escores 6 e 9 no Quadro 42, possíveis impactos ambientais podem ser gerados, associados aos respectivos aspectos ambientais analisados.

Por exemplo, com base nos produtos e serviços envolvidos no sistema, o consumo de energia na fase de fabricação e uso podem ser intensivos, e a equipe de projeto deve se atentar a esse aspecto e direcionar o projeto do PSS de forma a mitigar os possíveis impactos que podem ser gerados nessas fases. Um plano de ação deve ser estabelecido para priorização dos principais *hotspots* (escores 9 inicialmente, seguido pelos escores 6), a partir da matriz de *hotspots* calculada. Uma análise cuidadosa junto aos demais atores é recomendada de ser realizada tanto pela literatura de análise de *hotspots* (UNEP/SETAC, 2014) quanto pela proposta do trabalho, uma vez que a melhoria de um parâmetro do sistema para minimização de um possível impacto pode influenciar negativamente outro parâmetro e contribuir para geração de outros impactos.

Quadro 42 - Exemplo de identificação dos *hotspots* na dimensão ambiental.

Aspectos ambientais	Extração da matéria prima	Fabrição	Implementação do serviço	Uso	Desativação/reuso
Consumo de energia	1	3	2	3	2
Consumo de água	2	2	1	3	1
Geração de resíduos sólidos	1	1	2	3	3
Emissão de poluentes ar/água	2	2	2	3	2
Consumo de materiais	1	2	1	2	1
Consumo de outros recursos naturais	3	1	1	2	1
Uso de materiais nocivos	1	2	1	1	1
Relevância das fases do ciclo de vida	1	3	1	3	2
<i>Identificação dos hotspots</i>					
Consumo de energia	1	9	2	9	4
Consumo de água	2	6	1	9	2
Geração de resíduos sólidos	1	3	2	9	6
Emissão de poluentes ar/água	2	6	2	9	4
Consumo de materiais	1	6	1	6	2
Consumo de outros recursos naturais	3	3	1	6	2
Uso de materiais nocivos	1	6	1	3	2

Fonte: elaborado pela autora.

No entanto, aspectos que são relevantes nos sistemas de referência analisados, como é o caso do consumo de energia durante o

uso, conforme as fontes consultadas (e.g. CHUN; LEE, 2016), devem ser priorizados, para minimizar as chances de o PSS desenvolvido apresentar os mesmos impactos que os produtos/serviços nos modelos convencionais que visa substituir. Além disso, fases do ciclo de vida que possivelmente apresentarem mais *hotspots* devem ser priorizadas, como é o caso da fase de uso, que conforme o Quadro 42 apresenta diversos *hotspots*. A informação acerca das possíveis fases do ciclo de vida onde os *hotspots* podem ocorrer pode ser valiosa para estabelecimento de planos de ação no que diz respeito à mitigação dos possíveis impactos decorrentes da fase. No exemplo analisado, uma vez que o uso do purificador pode gerar impactos como alto consumo de energia, a equipe de projeto pode utilizar essa informação para projeção de um sistema mais eficiente possível, ou adoção de práticas de monitoramento do comportamento do consumidor durante a fase de uso. No que diz respeito à priorização dos *hotspots*, uma vez que uma análise multicritério não será adotada pela equipe de projeto para fins de simplificação do uso, sugere-se que os *hotspots* sejam priorizados na seguinte sequência: (i) *hotspots* que receberem o maior escore (9); (ii) *hotspots* que ocorrem em mais de uma fase; (iii) *hotspots* referentes à aspectos que são mais relevantes nos sistemas de referência. Nesse sentido, no exemplo analisado, o consumo de energia (escore 9) é significativo em duas fases do ciclo de vida e também é um aspecto relevante no sistema de referência, devendo ser priorizado. No que diz respeito às fases do ciclo de vida, as fases com maior número de possíveis *hotspots* também devem ser priorizadas, como é o caso da fase de uso no contexto analisado, seguida pela fase de fabricação. É importante ressaltar que essa análise para priorização deve ser feita para cada uma das dimensões da sustentabilidade consideradas, em uma análise simultânea das mesmas.

Assim, com a condução da análise de *hotspots*, a equipe de projeto pode ter mais subsídios para o processo de tomada de decisão nas fases subsequentes de desenvolvimento do PSS no que diz respeito à concepção de uma solução com menores impactos ambientais e sociais do que os modelos de negócio tradicionais que o PSS visa substituir. Dificuldades para obtenção de informações para condução da análise podem surgir, porém a equipe de projeto deve tentar obter o máximo de fontes diversificadas o possível para subsidiar o processo de análise. Por fim, o capítulo seguinte apresenta as conclusões do trabalho, bem como as principais contribuições que a abordagem proposta visa oferecer para o projeto de soluções de PSS com menores impactos ambientais e sociais ao longo do ciclo de vida, além das

limitações do estudo e oportunidades de pesquisa futuras. Os principais resultados obtidos com pesquisa conduzida durante o mestrado são sintetizados no Apêndice F.



## 5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de uma proposta para identificação e análise de possíveis impactos ambientais e sociais ao longo do ciclo de vida de sistemas produto-serviço para ser aplicado às fases iniciais de projeto foi abordado no presente trabalho. Sistemas produto-serviço têm sido discutidos como soluções promissoras para reorientação dos padrões atuais de produção e consumo rumo à sustentabilidade, porém o projeto de sistemas produto-serviço sustentáveis e avaliação do potencial das soluções concebidas permanecem como lacunas de pesquisa na literatura sobre o tema. Nesse sentido, esta dissertação teve por objetivo endereçar tais lacunas de pesquisa, uma vez que diversos métodos e ferramentas para avaliação do potencial sustentável de um PSS têm sido desenvolvidos e apresentados na literatura, mas poucos podem ser aplicados às fases iniciais de projeto, que têm grande influência no potencial sustentável da solução final.

A proposta do trabalho foi desenvolvida em três fases e nove etapas. A partir de uma análise da literatura sobre sistemas produto-serviço e sustentabilidade realizada na primeira fase, a oportunidade de pesquisa foi identificada. Foi constatado que há uma necessidade de métodos e ferramentas para avaliação do potencial sustentável de um PSS nas fases iniciais de projeto, de uma perspectiva que considere o ciclo de vida de um PSS, e que permita a avaliação da dimensão social da sustentabilidade, ainda pouco abordada por trabalhos anteriores, mas necessária para concepção de soluções realmente sustentáveis. Para endereçar a oportunidade de pesquisa, uma segunda revisão da literatura sobre métodos simplificados para avaliação dos impactos ao longo do ciclo de vida de produtos nas fases iniciais de projeto foi conduzida, com o propósito de identificar métodos que pudessem servir de subsídio para estruturação da proposta do trabalho. A análise de *hotspots* foi identificada entre as publicações e selecionada como adequada para servir como ponto de partida para estruturação da abordagem proposta, por a mesma permitir a consideração da dimensão social e ter sido apontada recentemente na literatura de PSS como útil para avaliação de um PSS durante o projeto.

Com a análise da literatura sobre sistemas produto-serviço e métodos para avaliação da sustentabilidade dos mesmos, bem como com a análise da literatura sobre métodos para avaliação do ciclo de vida de produtos nas fases iniciais de projeto concluiu-se que, de forma geral, ainda há diversas lacunas de pesquisa sobre o projeto de soluções sustentáveis. Apesar de diversos métodos e ferramentas terem sido propostos, foi constatado que há desafios para avaliação de produtos,

serviços e sistemas produto-serviço do ponto de vista do seu ciclo de vida nas fases iniciais de projeto, devido à escassez de informações. Além disso, foi verificado que mesmo para o caso de produtos, a dimensão ambiental é ainda predominantemente considerada, com o foco no desenvolvimento de soluções eco-eficientes e não sustentáveis. Nesse sentido, são necessários novos métodos e ferramentas que permitam abordar as demais dimensões da sustentabilidade, de forma a conceber soluções sustentáveis.

Posteriormente à análise da literatura, a proposta foi desenvolvida na segunda fase do trabalho, em quatro etapas, com base na literatura de análise de *hotspots* e avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço. A abordagem proposta foi estruturada considerando a definição das fronteiras do sistema e estrutura de análise propriamente dita. A definição das fronteiras do sistema consistiu na estruturação de um ciclo de vida para sistemas produto-serviço, como base na literatura relacionada sobre o tema, e na identificação de aspectos ambientais e sociais a serem considerados na estrutura da proposta, com base em critérios previamente definidos e suporte de publicações sobre os temas relacionados. A estruturação do procedimento de análise teve por base os métodos de análises de *hotspots* adotados como ponto de partida.

A estruturação da proposta permitiu outras conclusões acerca do projeto de sistemas produto-serviço sustentáveis e avaliação da sustentabilidade de sistemas produto-serviço. Para estruturação do ciclo de vida de um PSS, uma vez que a abordagem proposta visou permitir uma avaliação da perspectiva do ciclo de vida, a literatura foi consultada, e constatou-se que não há consenso entre as fases envolvidas no ciclo de vida de um PSS. As publicações sugerem as fases associadas ao ciclo de vida de produtos e serviços de forma integrada, porém não há um consenso sobre as fases do ciclo de vida e respectivas divisões (MoL, BoL e EoL). No que diz respeito aos aspectos ambientais, concluiu-se que não há um consenso acerca de quais aspectos são mais relevantes de serem analisados no contexto de um PSS, pois uma série de aspectos ambientais é considerada nas publicações. Para a dimensão social, observou-se que em geral as publicações tratam dos impactos sociais aos trabalhadores envolvidos no PSS e consumidores. Os demais atores envolvidos no sistema não são considerados pelas publicações que abordam a avaliação da sustentabilidade na dimensão social. Visando garantir a aplicação no projeto de qualquer categoria de PSS, um conjunto de aspectos ambientais, categorias de *stakeholders* e subcategorias de impacto sociais foram sugeridas no presente trabalho, porém em cada contexto específico adaptações precisam ser realizadas.

Após o desenvolvimento da primeira versão da proposta, uma consulta com especialistas foi estruturada para fins de verificação na terceira fase do trabalho. Especialistas em sistemas produto-serviço, avaliação da sustentabilidade e avaliação do ciclo de vida no contexto nacional e internacional foram identificados e consultados. Diversas sugestões de melhorias foram feitas no que diz respeito às fronteiras do sistema estabelecidas e estrutura da abordagem proposta. Critérios para consideração das sugestões foram estabelecidos, e a partir de uma análise de conteúdo dos questionários algumas melhorias foram realizadas e uma segunda versão da proposta foi estruturada. A consulta com especialistas permitiu concluir que de fato não há um consenso acerca de quais subcategorias de impacto social e grupos de *stakeholders* são mais apropriados para abordagem nas fases iniciais de projeto, e que considerações acerca de categorias de *stakeholders* específicas e subcategorias de impacto social precisam ser feitas antes de proceder a aplicação da abordagem proposta, na fase de identificação das fronteiras do sistema. A avaliação realizada pelos especialistas também permitiu constatar que métodos e ferramentas precisam ser simples e rápidos de aplicação nas fases iniciais de projeto, e que o processo de análise precisa ser guiado, uma vez que a equipe envolvida no projeto de um PSS pode não ser especialista em questões de sustentabilidade. Nesse sentido, um *checklist* para guiar a fase de análise dos aspectos ambientais e subcategorias de impacto social foi desenvolvido, em alinhamento com outras abordagens proposta na literatura para avaliação do ciclo de vida de produtos nas fases iniciais de projeto.

Finalmente, uma aplicação da proposta foi realizada para fins de demonstração de como ocorreria no caso de aplicação prática. A aplicação exige uma consulta à fontes secundárias para obtenção de dados ambientais e sociais acerca dos sistemas de referência, que precisam ser identificados previamente, antes de iniciar a análise de *hotspots*. Esses dados subsidiariam a análise, e essa é uma das limitações da abordagem proposta, pois a mesma baseia-se e é dependente de informações sobre outros sistemas existentes e fontes secundárias de informação, como bases de dados de riscos sociais. No entanto, durante as fases iniciais de projeto não se tem informações acerca do ciclo de vida do sistema que está sendo desenvolvido. Essa foi a forma identificada para estruturar a análise, uma vez que se o PSS visa ser mais sustentável que o modelo de negócio tradicional (e respectivos produtos e serviços), os impactos existentes no ciclo de vida desses

produtos precisam ser identificados para que os mesmos não ocorram no ciclo de vida do PSS a ser implementado.

Além disso, como um sistema que envolve diversos produtos, possivelmente os mesmos produtos envolvidos nos modelos de negócio tradicionais farão parte do PSS, e os impactos associados ao ciclo de vida dos mesmos precisam ser identificados. A estruturação do exemplo permitiu concluir que, diante da necessidade de se obter informações acerca dos sistemas existentes para subsidiar a análise, para fins de aplicação prática da proposta será necessário aplicar a mesma em um contexto real de projeto a fim de identificar quais as limitações reais no momento de aplicação, vivenciadas pela equipe de projeto, e retroalimentar a proposta com melhorias a partir das dificuldades identificadas.

Em termos de contribuições do trabalho, do ponto de vista teórico, algumas lacunas identificadas por outras publicações foram abordadas pela proposta, como consideração da perspectiva do ciclo de vida e dimensão social da sustentabilidade. A proposta visa aplicação nas fases iniciais de projeto de um PSS, e poucos métodos e ferramentas apresentados na literatura até o momento foram desenvolvidos para tal finalidade, o que tem sido retratado como uma lacuna de pesquisa. Do ponto de vista prático, a abordagem proposta visa contribuir para a limitação existente de realização de uma avaliação da perspectiva do ciclo de vida nas fases iniciais de projeto.

Entre as limitações do trabalho e recomendações de estudos futuros, primeiramente, apenas as dimensões ambiental e social foram consideradas, uma vez que são as dimensões abordadas pelos métodos de análise de *hotspots* adotados como ponto de partida para estruturação da proposta. Na realidade, a maioria dos aspectos econômicos do modelo de negócio e os impactos gerados são associados principalmente ao perfil e estratégias adotadas pelas organizações envolvidas, não unicamente ao tipo de PSS que está sendo desenvolvido. Estudos futuros, no entanto, precisam integrar as três dimensões da sustentabilidade de forma a permitir uma avaliação holística ao longo do ciclo de vida. Aspectos econômicos, passíveis de serem avaliados nas fases iniciais de projeto, precisam ser identificados e incluídos na proposta. No que diz respeito à identificação dos *hotspots*, uma priorização dos possíveis *hotspots* deve ser realizada pela equipe de projeto. Critérios para priorização dos mesmos foram sugeridos, porém uma análise multicritério de simples e rápida aplicação poderia ser adequada, mas não foi desenvolvida no presente trabalho, sendo uma oportunidade de trabalhos futuros.

Além disso, conforme discutido anteriormente, uma aplicação real precisa ser realizada, a fim de identificar quais as dificuldades associadas à aplicação prática e retroalimentar a proposta. Diante da dificuldade de encontrar uma empresa que estivesse no processo de transição para sistemas produto-serviço e na fase de projeto da solução, a abordagem proposta não foi aplicada em um contexto real de projeto. Uma vez que apenas pesquisadores especialistas foram consultados, a verificação da proposta se limita às percepções dos mesmos, sendo ainda necessário identificar as limitações associadas à aplicação no contexto real.



## REFERÊNCIAS

- ABRAMOVICI, M.; AIDI, Y.; QUEZADA, A.; SCHINDLER, T. PSS *Sustainability* Assessment and Monitoring Framework (PSS-SAM) – Case Study of a Multi-module PSS Solution. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 140-145, 2014.
- AMAYA, J.; LELAH, A.; ZWOLINSKI, P. Design for intensified use in product–service systems using life-cycle *analysis*. **Journal of Engineering Design**, v. 25, n. 25, p. 280-302, 2014.
- ANNARELLI, A.; BATTISTELLA, C.; NONINO, F. Product service system: A conceptual framework from a systematic review. **Journal of Cleaner Production**. No prelo, 2016.
- ANDRIANKAJA, H.; VALLET, F.; LE DUGOU, J.; EYNARD, B. A method to ecodesign structural parts in the transport sector based on product life cycle management. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 165-176, 2015.
- ARCESE, G.; LUCCHETTI, M. C.; MASSA, I.; VALENTE, C. State of the art in S-LCA: integrating literature review and automatic text *analysis*. **International Journal of Life cycle assessment**, p. 1-12, 2016. No prelo.
- ARENA, M.; AZZONE, G.; CONTE, A. A streamlined LCA framework to support early decision making in vehicle development. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 105-113, 2013.
- AURICH, J. C.; FUCHS, C.; WAGENKNECHT, C. Life cycle oriented design of technical *Product-service systems*. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 17, p. 1480-1494, 2006.
- AURICH, J. C.; WOLF, N.; SIENER, M.; SCHWEITZER, E. Configuration of *product-service systems*. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 5, p. 591-605, 2009.
- BAINES, T. S.; LIGHTFOOT, H. W.; EVANS, S.; NEELY, A.; GREENOUGH, R.; PEPPARD, J.; ROY, R.; SHEHAB, E.; BRAGANZA, A.; TIWARI, A.; ALCOCK, J. R.; ANGUS, J. P.; BASTI, M.; COUSENS, A.; IRVING, P.; JOHNSON, M.; KINGSTON,

J.; LOCKETT, H.; MARTINEZ, V.; MICHELE, P.; TRANFIELD, D.; WALTON, I. M.; WILSON, H. State-of-the-art in *product-service systems*. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 221, n. 10, p. 1543-1552, 2007.

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

BHANDER, G. S.; HAUSCHILD, M.; MCALOONE, T. Implementing *life cycle assessment* in product development. **Environmental Progress**, v. 22, n. 4, p. 255-267, 2003.

BENNETT, E. B.; GRAEDEL, T. E. "Conditioned Air": Evaluating an Environmentally Preferable Service. **Environmental Science & Technology**, v. 34, n. 4, p. 541-545, 2000.

BENOÎT, C.; NORRIS, G. A.; VALDIVIA, S.; CIROTH, A.; MOBERG, A.; BOS, U.; PRAKASH, S.; UGAYA, C.; BECK, T. The guidelines for social *life cycle assessment* of products: Just in time! **International Journal of Life cycle assessment**, v. 15, n. 2, p. 156-163, 2010.

BENOÎT-NORRIS, C.; VICKERY-NIEDERMAN, G.; VALDIVIA, S.; FRANZE, J.; TRAVERSO, M.; CIROTH, A.; MAZIJN, B. Introducing the UNEP/SETAC methodological sheets for subcategories of social LCA. **International Journal of Life cycle assessment**, v. 16, n. 7, p. 682-690, 2011.

BEUREN, F. H.; FERREIRA, M. G. G.; CAUCHICK-MIGUEL, P. A. *Product-service systems*: a literature review on integrated products and services. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 222-231, 2013.

BEUREN, F.H. Desenvolvimento de um modelo conceitual para a caracterização de sistemas produto-serviço com base no seu ciclo de vida. 2014. 193F. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BIENGE, K.; JUSTUS, V. G.; LETTENMEIER, M. *Sustainability Hot Spot Analysis*: A streamlined *life cycle assessment* towards sustainable

- food chains. In: 9th European IFSA Symposium, 2009, Vienna. Proceedings of the 9th European IFSA Symposium. Vienna: 2009.
- BOCKEN, N. 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, p. 42-56, 2014.
- BOEHM, M.; THOMAS, O. Looking beyond the rim of one's teacup: a multidisciplinary literature review of *Product-service systems* in Information Systems, Business Management, and Engineering & Design. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 245-260, 2013.
- BOHM, M. R.; HAAPALA, K. R.; POPPA, K.; STONE, R. B.; TUMER, I. Y. Integrating *Life cycle assessment* Into the Conceptual Phase of Design Using a Design Repository. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 9, p. 091005-091005, 2010.
- BOONS, F.; MONTALVO, C.; QUIST, J.; WAGNER, M. Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 1-8, 2013.
- BOVEA, M. D.; PÉREZ-BELIS, V. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. **Journal of Cleaner Production**, v. 20, n. 1, p. 61-71, 2012.
- BREZET H.; VAN HEMEL C. Ecodesign. A promising approach to sustainable production and consumption. France: United Nations Environmental Programme (UNEP), 1997.
- BUCHERT, T.; NEUGEBAUER, S.; SCHENKER, S.; LINDOW, K.; STARK, R. Multi-criteria Decision Making as a Tool for Sustainable Product Development – Benefits and Obstacles. **Procedia CIRP**, v. 26, p. 70-75, 2015.
- BYGGETH, S.; HOCHSCHORNER, E. Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1420-1430, 2006.
- BYGGETH, S.; BROMAN, G.; ROBERT, 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, 2007.

CAVALIERI, S.; PEZZOTTA, G.; SHIMOMURA, Y. *Product-service system engineering: From theory to industrial applications*. **Computers in Industry**, v. 63, n. 4, p. 275-277, 2012.

CERCHIONE, R.; ESPOSITO, E. A systematic review of supply chain knowledge management research: State of the art and research opportunities. **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 276-292, 2016.

CESCHIN, F.; VEZZOLI, C. The role of public policy in stimulating radical environmental impact reduction in the automotive sector: The need to focus on *product-service system* innovation. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 10, n. 2-3, p. 321-341, 2010.

CESCHIN, F. Critical factors for implementing and diffusing sustainable *product-service systems*: insights from innovation studies and companies' experiences. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 74-88, 2013.

CESCHIN, F. How the Design of Socio-technical Experiments Can Enable Radical Changes for *Sustainability*. **International Journal of Design**, v. 8, n. 3, p. 1-21, 2014a.

CESCHIN, F. Sustainable *Product-service systems* Between Strategic Design and Transition Studies. Uxbridge, UK: Springer, 2014b. 134 p.  
CESCHIN, F.; GAZIULUSOY, I. Evolution of design for *sustainability*: From product design to design for system innovations and transitions. **Design Studies**, v. 47, p. 118-163, 2016.

CHEN, D. P.; CHU, X. N.; YANG, X. Y.; SUN, X. W.; LI, Y. P.; SU, Y. L. PSS solution evaluation considering *sustainability* under hybrid uncertain environments. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 14, p. 5822-5838, 2015.

CHEN, L.; PELTON, R. E. O.; SMITH, T. M. Comparative *life cycle assessment* of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 667-676, 2016.

CHHIPI-SHRESTHA, G. K.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. 'Socializing' *sustainability*: a critical review on current development status of social

life cycle impact assessment method. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 17, n.3, p. 579-596, 2014.

CHOU, C. J.; CHEN, C. W.; CONLEY, C. An approach to assessing sustainable *product-service systems*. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 277-284, 2015.

CHUN, Y.-Y.; LEE, K.-M. Environmental impacts of the rental business model compared to the conventional business model: a Korean case of water purifier for home use. **The International Journal of Life cycle assessment**, 2016. No prelo.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951.

DEVANATHAN, S.; RAMANUJAN, D.; BERNSTEIN, W. Z.; ZHAO, F.; RAMANI, K. Integration of *Sustainability* Into Early Design Through the Function Impact Matrix. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 8, p. 081004-081004-8, 2010.

DEVISSCHER, T.; MONT, O. An *analysis* of a product service system in Bolivia: Coffee in Yungas. **International Journal of Innovation and Sustainable Development**, v. 3, n. 3-4, p. 262-284, 2008.

DIAS, P.; BERNARDES, A. M. Carbon emissions and embodied energy as tools for evaluating environmental aspects of tap water and bottled water in Brazil. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 28, p. 13020-13029, 2016.

DNPM. Sumário Mineral 2014. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>. Acesso em: 30 de maio, 2015.

DOUALLE, B.; MEDINI, K.; BOUCHER, X.; LAFOREST, V. Investigating *Sustainability* Assessment Methods of *Product-service systems*. **Procedia CIRP**, v. 30, p. 161-166, 2015.

DOUALLE, B.; MEDINI, K.; BOUCHER, X.; BRISSAUD, D.; LAFOREST, V. Design of Sustainable *Product-service systems* (PSS): Towards an Incremental Stepwise Assessment Method. **Procedia CIRP**, v. 48, p. 152-157, 2016.

EMILI, S.; CESCHIN, F.; HARRISON, D. *Product-service system applied to Distributed Renewable Energy: A classification system, 15 archetypal models and a strategic design tool*. **Energy for Sustainable Development**, v. 32, p. 71-98, 2016.

EVANS, S.; PARTIDÁRIO, P. J.; LAMBERT, J. Industrialization as a key element of sustainable product-service solutions. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 18-19, p. 4225-4246, 2007.

FIRNKORN, J.; MULLER, M. What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm. **Ecological Economics**, v. 70, n. 8, p. 1519-1528, 2011.

FIRNKORN, J.; SHAHEEN, S. Generic time- and method-interdependencies of empirical impact-measurements: A generalizable model of adaptation-processes of carsharing-users' mobility-behavior over time. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 897-909, 2016.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 152-194, 2002.

FREIRE-GONZÁLEZ, J. Evidence of direct and indirect rebound effect in households in EU-27 countries. **Energy Policy**, v. 102, p. 270-276, 2017.

GAZIULUSOY, A. I. A critical review of approaches available for design and innovation teams through the perspective of *sustainability* science and system innovation theories. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 366-377, 2015.

GLEICK, P. H.; COOLEY, H. S. Energy implications of bottled water. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2009.

GOEDKOOP, M. J.; VAN HALEN, C. J. G.; TE RIELE, H. R. M.; ROMMENS, P. J. M. Product Service Systems, ecological and economic basics. Report for Dutch Ministries of Environment (VROM) and Economic Affairs (EZ), 1999. 132 p.

GOTTBERG, A.; LONGHURST, P. J.; COOK, M. B. Exploring the potential of Product Service Systems to achieve household waste prevention on new housing developments in the UK. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 3, p. 228-235, 2010.

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

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

GREMYR, I.; SIVA, V.; RAHARJO, H.; GOH, T. N. Adapting the Robust Design Methodology to support sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 79, p. 231-238, 2014.

GRIFFIN, S. **The toxic footprint of PET-bottled water in British Columbia**. Vancouver: Toxic Free Canada, 2009.

GUPTA, S.; SARKAR, P.; SINGLA, E. Understanding different *stakeholders* of sustainable product and service-based systems using genetic algorithm. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 17, n. 6, p. 1523-1533, 2015.

HALLSTEDT, S. I.; BERTONI, M.; ISAKSSON, O. Assessing *sustainability* and value of manufacturing processes: A case in the aerospace industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 169-182, 2015.

HALME, M.; JASCH, C.; SHARP, M. Sustainable homeservices? Toward household services that enhance ecological, social and economic *sustainability*? **Ecological Economics**, v. 51, n. 1-2, p. 125-138, 2004.

HANNON, M. J.; FOXON, T. J.; GALE, W. F. 'Demand pull' government policies to support *Product-service system* activity: The case of Energy Service Companies (ESCos) in the UK. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 900-915, 2015.

HARKONEN, J.; HAAPASALO, H.; HANNINEN, K. Productisation: A review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 65-82, 2015.

HERTERICH, M. M.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W. The Impact of Cyber-physical Systems on Industrial Services in Manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 30, p. 323-328, 2015.

HOCHSCHORNER, E.; FINNVEDEN, G. Evaluation of two simplified *Life cycle assessment* methods. **The International Journal of Life cycle assessment**, v. 8, n. 3, p. 119, 2003.

HORA, H.R.M.; MONTEIRO, G.T.R.; ARICA, J. Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um Estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach. **Produto & Produção**, v. 11, n. 2, p. 85-103, 2010.

HU, H. A.; CHEN, S. H.; HSU, C. W.; WANG, C.; WU, C. L. Development of *sustainability* evaluation model for implementing product service systems. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 343-354, 2012.

HUNT, R. G.; BOGUSKI, T. K.; WEITZ, K.; SHARMA, A. Case studies examining LCA streamlining techniques. **The International Journal of Life cycle assessment**, v. 3, n. 1, p. 36, 1998.

HUSSAIN, R.; LOCKETT, H.; ANNAMALAI VASANTHA, G. V. A framework to inform PSS Conceptual Design by using system-in-use data. **Computers in Industry**, v. 63, n. 4, p. 319-327, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004. 35 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040: *Life cycle assessment* - Principles and framework. Geneva, 2006. 20 p.

JØRGENSEN, A.; DREYER, L. C.; WANGEL, A. Addressing the effect of social *life cycle assessments*. **International Journal of Life cycle assessment**, v. 17, n. 6, p. 828-839, 2012.

JOORE, P.; BREZET, H. A Multilevel Design Model: the mutual relationship between *product-service system* development and societal

change processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 92-105, 2015.

KANDA, W.; SAKAO, T.; HJELM, O. Components of business concepts for the diffusion of large scaled environmental technology systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 128, p. 156-167, 2016.

KIM, K. J.; LIM, C. H.; HEO, J. Y.; LEE, D. H.; HONG, Y. S.; PARK, K. An evaluation scheme for product–service system models: development of evaluation criteria and case studies. **Service Business**, v. 10, n. 3, p. 507-530, 2016.

KISHITA, Y.; LOW, B. H.; FUKUSHIGE, S.; UMEDA, Y.; SUZUKI, A.; KAWABE, T. *Checklist-Based Assessment Methodology for Sustainable Design*. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 9, p. 091011-091011, 2010.

KJAER, L. L.; PAGOROPOULOS, A.; SCHMIDT, J. H.; MCALOONE, T. C. Challenges when evaluating Product/Service-Systems through *Life cycle assessment*. **Journal of Cleaner Production**, v. 120, p. 95-104, 2016.

LAGEMANN, H.; DORKA, T.; MEIER, H. Evaluation of an IPS2 Delivery Planning Approach in Industry – Limitations and Necessary Adaptations. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 187-192, 2014.

LEE, S.; GEUM, Y.; LEE, H.; PARK, Y. Dynamic and multidimensional measurement of *product-service system (PSS) sustainability*: a triple bottom line (TBL)-based system dynamics approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 173-182, 2012.

LEHMANN, A.; ZSCHIESCHANG, E.; TRAVERSO, M.; FINKBEINER, M.; SCHEBEK, L. Social aspects for *sustainability assessment of technologies—challenges for social life cycle assessment (SLCA)*. **The International Journal of Life cycle assessment**, v. 18, n. 8, p. 1581-1592, 2013.

LELAH, A.; MATHIEUX, F.; BRISSAUD, D. Contributions to eco-design of machine-to-machine product service systems: the example of waste glass collection. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 9-10, p. 1033-1044, 2011.

LIEDTKE, C.; BAEDEKER, C.; KOLBERG, S.; LETTENMEIER, M. Resource intensity in global food chains: The Hot Spot *Analysis*. **British Food Journal**, v. 112, n. 10, p. 1138-1159, 2010.

LIEDTKE, C.; AMELI, N.; BUHL, J.; OETTERS HAGEN, P.; PEARS, T.; ABBIS, P. Wuppertal Institute Design guide—Background Information & Tools. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. Germany, 77p. 2013.

LIEDTKE, C.; BAEDEKER, C.; HASSELKUSS, M.; ROHN, H.; GRINEWITSCHUS, V. User-integrated innovation in Sustainable LivingLabs: an experimental infrastructure for researching and developing sustainable product service systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 106-116, 2015.

LINDAHL, M.; SUNDIN, E.; SAKAO, T. Environmental and economic benefits of Integrated Product Service Offerings quantified with real business cases. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 288-296, 2014.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C.; CLARK, G. Product service systems: using an existing concept as a new approach to *sustainability*. **The Journal of Design Research**, v. 1, n. 2, 2001.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the ‘environmentally friendly innovation’ Italian prize. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 8, p. 851-857, 2003.

MATTIODA, R. A.; MAZZI, A.; CANCELIERI, O., JR.; SCIPIONI, A. Determining the principal references of the *social life cycle assessment* of products. **International Journal of Life cycle assessment**, v. 20, n. 8, p. 1155-1165, 2015.

MAUSSANG, N.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. *Product-service system* design methodology: from the PSS architecture design to the products specifications. **Journal of Engineering Design**, v. 20, n. 4, p. 349-366, 2009.

MAXWELL, D.; VAN DER VORST, R. Developing sustainable products and services. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 8, p. 883-895, 2003.

MAXWELL, D.; SHEATE, W.; VAN DER VORST, R. Functional and systems aspects of the sustainable product and service development approach for industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 17, p. 1466-1479, 2006.

MAYRING P. Qualitative content *analysis*. 8<sup>th</sup> ed. Weinheim: Beltz Verlag, 2003.

MEINDERS, H. Point of no return. Philips EcoDesign guidelines: Eindhoven, 1997.

MEIER, H.; ROY, R.; SELIGER, G. Industrial *Product-service systems*-IPS2. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 59, n. 2, p. 607-627, 2010.

MONT, O. Drivers and barriers for shifting towards more service-oriented businesses: *Analysis* of the PSS field and contributions from Sweden. **The Journal of Sustainable Product Design**, v. 2, n. 3, p. 89-103, 2002.

MONT, O. *Product-service systems: panacea or myth?* 2004. 259f. Dissertation. The International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE), Lund University, Sweden, 2004.

MONT, O.; TUKKER, A. *Product-service systems: reviewing achievements and refining the research agenda*. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 17, p. 1451-1454, 2006.

MYLAN, J. Understanding the diffusion of Sustainable *Product-service systems*: Insights from the sociology of consumption and practice theory. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 13-20, 2015.

NEELY, A. Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. **Operations Management Research**, v. 1, n. 2, p. 103-118, 2009.

NEMOTO, Y.; AKASAKA, F.; SHIMOMURA, Y. A framework for managing and utilizing *product-service system* design knowledge. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 14-15, p. 1278-1289, 2015.

NESTLÉ WATERS. Environmental *Life cycle assessment* of drinking water alternatives and consumer beverage consumption in North America. Disponível em: [https://www.nestle-watersna.com/asset-library/documents/nwna\\_lca\\_report\\_020410.pdf](https://www.nestle-watersna.com/asset-library/documents/nwna_lca_report_020410.pdf). Acesso em: 10 Janeiro 2017.

OVERHOLM, H. Alliance formation by intermediary ventures in the solar service industry: implications for product–service systems research. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, n. 1, p. 288-298, 2015.

PARÉ, G.; TRUDEL, M.-C.; JAANA, M.; KITSIOU, S. Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. **Information & Management**, v. 52, n. 2, p. 183-199, 2015.

PARENT, J.; CUCUZZELLA, C.; REVÉRET, J. P. Revisiting the role of LCA and SLCA in the transition towards sustainable production and consumption. **International Journal of Life cycle assessment**, v. 18, n. 9, p. 1642-1652, 2013.

PARTIDÁRIO, P. J.; LAMBERT, J.; EVANS, S. Building more sustainable solutions in production–consumption systems: the case of food for people with reduced access. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 6, p. 513-524, 2007.

PERUZZINI, M.; GERMANI, M. Design for *sustainability of product-service systems*. **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 7, n. 3-4, p. 206-219, 2014.

PIGOSSO, D. C. A.; MCALOONE, T. C. Maturity-based approach for the development of environmentally sustainable product/service-systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 15, p. 33-41, 2016.

PLEPYS, A.; HEISKANEN, E.; MONT, O. European policy approaches to promote servicizing. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 117-123, 2015.

POUDELET, V.; CHAYER, J.-A.; MARGNI, M.; PELLERIN, R.; SAMSON, R. A process-based approach to operationalize *life cycle assessment* through the development of an eco-design decision-support system. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, p. 192-201, 2012.

QU, M.; YU, S.; CHEN, D.; CHU, J.; TIAN, B. State-of-the-art of design, evaluation, and operation methodologies in product service systems. **Computers in Industry**, v. 77, p. 1-14, 2016.

RAMANI, K.; RAMANUJAN, D.; BERNSTEIN, W. Z.; ZHAO, F.; SUTHERLAND, J.; HANDWERKER, C.; CHOI, J.-K.; KIM, H.; THURSTON, D. Integrated Sustainable Life Cycle Design: A Review. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 9, p. 091004-091004, 2010.

REIM, W.; PARIDA, V.; ORTQVIST, D. *Product-service systems* (PSS) business models and tactics - a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 61-75, 2015.

RETAMAL, M. *Product-service systems* in Southeast Asia: Business practices and factors influencing environmental *sustainability*. **Journal of Cleaner Production**, No prelo, 2016.

ROHN, H.; LUKAS, M.; BIENGE, K.; ANSORGE, J.; LIEDTKE, C. The hot spot *analysis*: Utilization as customized management tool towards sustainable value chains of companies in the food sector. **Agris On-line Papers in Economics and Informatics**, v. 6, n. 4, p. 133-143, 2014.

SALAZAR, C.; LELAH, A.; BRISSAUD, D. Eco-designing Product Service Systems by degrading functions while maintaining user satisfaction. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 452-462, 2015.

SCHÖGGL, J. P.; BAUMGARTNER, R. J.; HOFER, D. Improving *sustainability* performance in early phases of product design: A *checklist* for sustainable product development tested in the automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1602-1617, 2017.

SETTANNI, E.; NEWNES, L. B.; THENENT, N. E.; PARRY, G.; GOH, Y. M. A through-life costing methodology for use in product-service-systems. **International Journal of Production Economics**, v. 153, p. 161-177, 2014.

SHIMOMURA, Y.; NEMOTO, Y.; KIMITA, K. A method for analysing conceptual design process of *product-service systems*. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 64, n. 1, p. 145-148, 2015.

SHOKOHYAR, S.; MANSOUR, S.; KARIMI, B. A model for integrating services and product EOL management in sustainable product service system (S-PSS). **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 25, n. 3, p. 427-440, 2014

SOCIAL *HOTSPOTS* DATABASE. Disponível em: <http://socialhotspot.org/>. Acesso em: 15 de janeiro 2016.

SOUSA, T.T. Análise de uma aplicação de sistema produto-serviço de purificação de água sob a ótica da sustentabilidade. 2014. 210f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SOUSA-ZOMER, T. T.; CAUCHICK MIGUEL, P. A. The main challenges for social *life cycle assessment* (SLCA) to support the social impacts *analysis of product-service systems*. **International Journal of Life cycle assessment**, 2015. No prelo.

SOUSA-ZOMER, T. T.; CAUCHICK MIGUEL, P. A. Sustainable business models as an innovation strategy in the water sector: An empirical investigation of a sustainable *product-service system*. **Journal of Cleaner Production**, 2016. No prelo.

SONG, W.; MING, X.; HAN, Y.; WU, Z. A rough set approach for evaluating vague customer requirement of industrial *product-service system*. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 22, p. 6681-6701, 2013.

STARK, R.; GROSSER, H.; BECKMANN-DOBREV, B.; KIND, S. Advanced Technologies in Life Cycle Engineering. **Procedia CIRP**, v. 22, p. 3-14, 2014.

STREINER, D. L. Being inconsistent about consistency: When coefficient alpha does and doesn't matter. **Journal of Personality Assessment**, v. 80, n. 3, p. 217-222, 2003.

SUNDIN, E.; LINDAHL, M.; IJOMAH, W. Product design for product/service systems: Design experiences from Swedish industry.

**Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 5, p. 723-753, 2009.

TAN, A. R.; MCALOONE, T. C.; ANDREASEN, M. M. What happens to integrated product development models with produc/service-system approaches? In: VAJNA, S., 6th Workshop on Integrated Product Development, 2006. Magdeburg, Germany. October 18-20, 2006.

TASAKI, T.; HASHIMOTO, S.; MORIGUCHI, Y. A quantitative method to evaluate the level of material use in lease/reuse systems of electrical and electronic equipment. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 17, p. 1519-1528, 2006.

TATICCHI, P.; GARENGO, P.; NUDURUPATI, S. S.; TONELLI, F.; PASQUALINO, R. A review of decision-support tools and performance measurement and sustainable supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 21, p. 6473-6494, 2015.

TISCHNER U, SCHMINCKE E, RUBIK F, PROSLER M. How to do Ecodesign? A guide for environmentally and economically sound design. Berlin: German Federal Environmental Agency, 2000.

TODD, J.A; CURRAN, M.A. Streamlined Life-cycle Assessment. A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup, 1999. 31 p.

TRAN, T.; PARK, J. Y. Development of a novel set of criteria to select methodology for designing product service systems. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 3, n. 2, p. 112-120, 2016.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

TUKKER, A. Eight types of product-service system: eight ways to *sustainability*? Experiences from SusProNet. **Business Strategy and the Environment**, v. 13, n. 4, p. 246-260, 2004.

TUKKER, A.; TISCHNER, U. Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 17, p. 1552-1556, 2006.

TUKKER, A. Product services for a resource-efficient and circular economy - a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 76-91, 2015.

UNEP. *Product-service systems and Sustainability: Opportunities for Sustainable Solutions*. Milan: Politecnico di Milano, 2002. 18 p.

UNEP/SETAC. *Guidelines for Social Life cycle assessment of Products*. Life Cycle Initiative. França: UNEP/SETAC, 2009. 104 p.

UNEP/SETAC. *The methodological sheets for subcategories in social life cycle assessment (S-LCA)*. França: UNEP/SETAC, 2013. 152 p.

UNEP/SETAC. *Hotspots Analysis: mapping of existing methodologies, tools and guidance and initial recommendations for the development of global guidance*. França: UNEP/SETAC, 2014. 179 p.

VALT, R. GB. G. Análise do ciclo de vida de embalagens de pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais. 2004. 208f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

VAN HALEN, C.; VEZZOLI, C.; WIMMER, R. *Methodology for Product Service System. How to Develop Clean, Clever and Competitive Strategies in Companies*. Assen: Van Gorcum, 2005.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing Bibliometric Networks, In: Ding, Y., Rousseau, R., Wolfram, D. (Eds.), *Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice*. Springer International Publishing, 2914, p. 285-320.

VASANTHA, G. V. A.; ROY, R.; LELAH, A.; BRISSAUD, D. A review of *product-service systems* design methodologies. **Journal of Engineering Design**, v. 23, n. 9, p. 635-659, 2012.

VASANTHA, G. V. A.; ROY, R.; CORNEY, J. R. Advances in Designing *Product-service systems*. **Journal of the Indian Institute of Science**, v. 95, n. 4, p. 429-447, 2015.

VERNADAT, F. Enterprises modeling and Integration: Principles and Application. United States: Springer, 1996.

VEZZOLI, C.; PENIN, L. Campus: "Lab" and "window" for sustainable design research and education: The DECOS educational network experience. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 7, n. 1, p. 69-80, 2006.

VEZZOLI, C. System design for *sustainability*: theory, methods and tools for a sustainable "satisfaction-system" design. Maggioli: Rimini, 2007.

VEZZOLI, C.; CESCHIN, F.; DIEHL, J. C.; KOHTALA, C. New design challenges to widely implement 'Sustainable *Product-service systems*'. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 1-12, 2015.

VEZZOLI, C.; CESCHIN, F.; DIEHL, J. C. Sustainable *Product-service system* Design applied to Distributed Renewable Energy fostering the goal of sustainable energy for all. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 134-136, 2015.

VOGTLANDER, J. G.; BIJMA, A.; BREZET, H. C. Communicating the eco-efficiency of products and services by means of the eco-costs/value model. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 1, p. 57-67, 2002.

VON GEIBLER, J.; CORDARO, F.; KENNEDY, K.; LETTENMEIER, M.; ROCHE, B. Integrating resource efficiency in business strategies: a mixed-method approach for environmental *life cycle assessment* in the single-serve coffee value chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 62-74, 2016.

WACKER, J. G. A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. **Journal of Operations Management**, v. 16, n. 4, p. 361-385, 1998.

WANG, P. P.; MING, X. G.; LI, D.; KONG, F. B.; WANG, L.; WU, Z. Y. Status review and research strategies on *product-service systems*. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 22, p. 6863-6883, 2011.

WCED. **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987, 300 p.

WENZEL H.; HAUSCHILD M.; ALTING L. Methodology, tools and case studies in product development. In: Environmental assessment of products. London: Chapman Hall, 1997.

WILLIAMS, A. *Product-service systems* in the automotive industry: The case of micro-factory retailing. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 2, p. 172-184, 2006.

WIESNER, S.; FREITAG, M.; WESTPHAL, I.; THOBEN, K.-D. Interactions between Service and Product Lifecycle Management. **Procedia CIRP**, v. 30, p. 36-41, 2015.

YANG, L.; XING, K.; LEE, S. Framework for PSS from Service' Perspective. In: The International Multiconference of Engineers and Computer Scientists, III, 2010a, Hong Kong. Proceedings of The International Multiconference of Engineers and Computer Scientist. Hong Kong, March 17-19. vol III. p. 1-6.

YANG, L.; XING, K.; LEE, S. A new conceptual life cycle model for Result-Oriented *Product-service system* development. In: International Conference on service operations and logistics and informatics (SOLI), 2010b, Hong Kong. Proceedings of the International Conference on service operations and logistics and informatics (SOLI), 15-17 July 2010. p. 23-28.

XING, K.; NESS, D.; LIN, F. R. A service innovation model for synergistic community transformation: integrated application of systems theory and *product-service systems*. **Journal of Cleaner Production**, v. 43, p. 93-102, 2013a.

XING, K.; WANG, H. F.; QIAN, W. A *sustainability*-oriented multi-dimensional value assessment model for product-service development. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 19, p. 5908-5933, 2013b.

ZHANG, L.; ZHANG, J.; DUAN, Z. Y.; BRYDE, D. Sustainable bike-sharing systems: Characteristics and commonalities across cases in urban China. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 124-133, 2015.

ZHU, H.; GAO, J.; LI, D.; TANG, D. A Web-based Product Service System for aerospace maintenance, repair and overhaul services. **Computers in Industry**, v. 63, n. 4, p. 338-348, 2012.



## APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES SELECIONADAS PARA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E DE CONTEÚDO

Quadro A1 - Lista completa das publicações selecionadas.

#	Publicação	Ano	Periódico
1	Vogtlander, J. G., Bijma, A., Brezet, H. C.	2002	<i>Journal of Cleaner Production</i>
2	Mont, O. K.	2002	<i>Journal of Cleaner Production</i>
3	Fujimoto, J., Umeda, Y., Tamura, T., Tomiyama, T., Kimura, F.	2003	<i>Environmental Science and Technology</i>
4	Heiskanen, E., Jalas, M.	2003	<i>Corporate Social Responsibility and Environmental Management</i>
5	Hirschl, B., Konrad, W., Scholl, G.	2003	<i>Journal of Cleaner Production</i>
6	Manzini, E., Vezzoli, C.	2003	<i>Journal of Cleaner Production</i>
7	Maxwell, D., Van der Vorst, R.	2003	<i>Journal of Cleaner Production</i>
8	Mont, O., Lindhqvist, T.	2003	<i>Journal of Cleaner Production</i>
9	Stoughton, M., Votta, T.	2003	<i>Journal of Cleaner Production</i>
10	Halme, M., Jasch, C., Scharp, M.	2004	<i>Ecological Economics</i>
11	Mont, O.	2004	<i>Ecological Economics</i>
12	Mont, O.	2004	<i>Greener Management International</i>
13	Tukker, A.	2004	<i>Business Strategy and the Environment</i>
14	Besch, K.	2005	<i>Journal of Cleaner Production</i>
15	Aurich, J. C., Fuchs, C., Wagenknecht, C.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
16	Briceno, T., Stagl, S.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
17	Cook, M. B., Bhamra, T. A., Lemon, M.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
18	Maxwell, D., Sheate, W., van der Vorst, R.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
19	Mont, O., Dalhammar, C., Jacobsson, N.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
20	Mont, O., Singhal, P., Fadeeva, Z.	2006	<i>Journal of Industrial Ecology</i>
21	Morelli, N.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
22	Tasaki, T., Hashimoto, S., Moriguchi, Y.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>

Continua

Quadro A1 - Lista completa das publicações selecionadas - continuação.

#	Publicação	Ano	Periódico
23	Vezzoli, Carlo, Sciama, Dalia	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
24	Williams, A.	2006	<i>Journal of Cleaner Production</i>
25	Evans, S., Partidario, P. J., Lambert, J.	2007	<i>International Journal of Production Research</i>
26	Williams, A.	2007	<i>Journal of Cleaner Production</i>
27	Devisscher, T., Mont, O.	2008	<i>International Journal of Innovation and Sustainable Development</i>
28	Kang, M. J., Wimmer, R.	2008	<i>Journal of Cleaner Production</i>
29	Komoto, H., Tomiyama, T.	2008	<i>CIRP Annals - Manufacturing Technology</i>
30	Hara, T., Arai, T., Shimomura, Y., Sakao, T.	2009	<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>
31	Resta, B., Gaiardelli, P., Pezzotta, G.	2009	<i>International Journal of Product Lifecycle Management</i>
32	Sundin, E., Lindahl, M., Ijomah, W.	2009	<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>
33	Tonelli, F., Taticchi, P., Sue, E. S.	2009	<i>WSEAS Transactions on Business and Economics</i>
34	Yang, X., Moore, P., Pu, J. S., Wong, C. B.	2009	<i>Computers and Industrial Engineering</i>
35	Anttonen, M.	2010	<i>Business Strategy and the Environment</i>
36	Ceschin, Fabrizio, Vezzoli, Carlo	2010	<i>International Journal of Automotive Technology and Management</i>
37	Gottberg, A., Longhurst, P. J., Cook, M. B.	2010	<i>Waste Management and Research</i>
38	Firmkorn, J., Muller, M.	2011	<i>Ecological Economics</i>
39	Geum, Y., Park, Y.	2011	<i>Journal of Cleaner Production</i>
40	Kuo, T. C.	2011	<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>
41	Lelah, A., Mathieux, F., Brissaud, D.	2011	<i>Journal of Cleaner Production</i>
42	Wang, P., Ming, X., Li, D., Wu, Z., Xu, Z., Song, W.	2011	<i>International Journal of Environmental Technology and Management</i>
43	Andreoni, G., Arslan, P., Costa, F., Muschiato, S., Romero, M.	2012	<i>Work - a Journal of Prevention Assessment &amp; Rehabilitation</i>

Continua

Quadro A1 - Lista completa das publicações selecionadas - continuação.

#	Publicação	Ano	Periódico
44	Bankole, Oyetola Opeyemi, Roy, Rajkumar, Shehab, Essam, Cheruvu, Kalyan, Johns, Terry	2012	<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>
45	Catulli, M.	2012	<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>
46	Cook, M., Gottberg, A., Angus, A., Longhurst, P.	2012	<i>Journal of Cleaner Production</i>
47	Firmkorn, J., Muller, M.	2012	<i>Business Strategy and the Environment</i>
48	Garetti, M., Rosa, P., Terzi, S.	2012	<i>Computers in Industry</i>
49	Hu, H. A., Chen, S. H., Hsu, C. W., Wang, C., Wu, C. L.	2012	<i>International Journal of Environmental Science and Technology</i>
50	Kuo, T. C., Wang, M. L.	2012	<i>International Journal of Production Research</i>
51	Lee, Sora, Geum, Youngjung, Lee, Hakyoon, Park, Yongtae	2012	<i>Journal of Cleaner Production</i>
52	Liedtke, C., Welfens, M. J., Rohn, H., Nordmann, J.	2012	<i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i>
53	Lim, C. H., Kim, K. J., Hong, Y. S., Park, K.	2012	<i>Journal of Cleaner Production</i>
54	Pardo, R. J. H., Bhamra, T., Bhamra, R.	2012	<i>Sustainability</i>
55	Bertoni, A., Bertoni, M., Isaksson, O.	2013	<i>Journal of Cleaner Production</i>
56	Bratt, Cecilia, Hallstedt, Sophie, Robert, K. H., Broman, Goran, Oldmark, Jonas	2013	<i>Journal of Cleaner Production</i>
57	Ceschin, Fabrizio	2013	<i>Journal of Cleaner Production</i>
58	Dewberry, E., Cook, M., Angus, A., Gottberg, A., Longhurst, P.	2013	<i>Design Journal</i>
59	Durugbo, Christopher	2013	<i>International Journal of Production Research</i>

Continua

Quadro A1 - Lista completa das publicações selecionadas - continuação.

#	Publicação	Ano	Periódico
60	Hernandez-Pardo, R. J., Bhamra, T., Bhamra, R.	2013	<i>IEEE Transactions on Engineering Management</i>
61	Jui-Che, T., Yu-Chen, H., Tsai-Chi, K., Yan-Hong, L.	2013	<i>Journal of Industrial and Production Engineering</i>
62	Laperche, B., Picard, F.	2013	<i>Journal of Cleaner Production</i>
63	Tietze, F., Schiederig, T., Herstatt, C.	2013	<i>International Journal of Technology Management</i>
64	Xing, Ke, Ness, David, Lin, Fu-Ren	2013	<i>Journal of Cleaner Production</i>
65	Xing, K., Wang, H. F., Qian, W.	2013	<i>International Journal of Production Research</i>
66	Ceschin, F.	2014	<i>International Journal of Design</i>
67	Cook, M.	2014	<i>Environmental Innovation and Societal Transitions</i>
68	Gaiardelli, P., Resta, B., Martinez, V., Pinto, R., Albores, P.	2014	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Nº	Publicação	Ano	Periódico
69	Gupta, Sameer, Sarkar, Prabir, Singla, Ekta	2014	<i>Clean Technologies and Environmental Policy</i>
70	Lindahl, M., Sundin, E., Sakao, T.	2014	<i>Journal of Cleaner Production</i>
71	Liu, C. H., Chen, M. C., Tu, Y. H., Wang, C. C.	2014	<i>International Journal of Physical Distribution and Logistics Management</i>
72	Peruzzini, M., Germani, M.	2014	<i>International Journal of Agile Systems and Management</i>
73	Shokohyar, S., Mansour, S., Karimi, B.	2014	<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>
74	Armstrong, C. M., Niinimäki, K., Kujala, S., Karell, E., Lang, C.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
75	Byers, S. S., Groth, J. C., Sakao, T.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
76	Chen, D., Chu, X., Sun, X., Li, Y.	2015	<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>
77	Chen, Dongping, Chu, Xuening, Yang, Xiaoyang, Sun, Xiwu, Li, Yupeng, Su, Yuliang	2015	<i>Expert Systems with Applications</i>

Continua

Quadro A1 - Lista completa das publicações selecionadas - continuação.

#	Publicação	Ano	Periódico
78	Chou, C. J., Chen, C. W., Conley, C.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
79	Copani, G., Rosa, P.	2015	<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>
80	Ding, Kai, Jiang, Pingyu, Zheng, Mei	2015	<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>
81	Gelbmann, Ulrike, Hammerl, Barbara	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
82	Hannon, M. J., Foxon, T. J., Gale, W. F.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
83	Joore, P., Brezet, H.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
84	Liedtke, C., Baedeker, C., Hasselkuß, M., Rohn, H., Grinewitschus, V.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
85	Lingegård, S., Lindahl, M.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
86	Mylan, Josephine	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
87	Overholm, Harald	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
88	Pan, J. N., Nguyen, H. T. N.	2015	<i>European Journal of Operational Research</i>
89	Peruzzini, M., Marilungo, E., Germani, M.	2015	<i>International Journal of Agile Systems and Management</i>
90	Piscicelli, L., Cooper, T., Fisher, T.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
91	Plepys, A., Heiskanen, E., Mont, O.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
92	Rivas-Hermann, R., Kohler, J., Scheepens, A.E.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
93	Sakao, T., Lindahl, M.	2015	<i>CIRP Annals - Manufacturing Technology</i>
94	Salazar, C., Lelah, A., Brisaud, D.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
95	Song, W. Y., Ming, X. G., Han, Y., Xu, Z. T., Wu, Z. Y.	2015	<i>International Journal of Production Research</i>
96	Sousa-Zomer, T. T., Cauchick Miguel, P. A.	2015	<i>International Journal of Life cycle assessment</i>
97	Suckling, J., Lee, J.	2015	<i>International Journal of Life cycle assessment</i>

Continua

Quadro A1 - Lista completa das publicações selecionadas - continuação.

#	Publicação	Ano	Periódico
98	Zhang, L., Zhang, J., Duan, Z. Y., Bryde, D.	2015	<i>Journal of Cleaner Production</i>
99	Armstrong, C. M., Niinimäki, K., Lang, C., Kujala, S.	2016	<i>Sustainable Development</i>
100	Emili, S., Ceschin, F., Harrison, D.	2016	<i>Energy for Sustainable Development</i>
101	Firmkorn, J., Shaheen, S.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
102	França, C. L., Broman, G., Robèrt, K. H., Basile, G., Trygg, L.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
103	Kanda, W., Sakao, T., Hjelm, O.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
104	Kjaer, L. L., Pagoropoulos, A., Schmidt, J. H., McAloone, T. C.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
105	Park, Y., Kim, M., Yoon, J.	2016	<i>Industrial Engineering and Management Systems</i>
106	Pereira, A., Carballo-Penela, A., González-López, M., Vence, X.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
107	Pigosso, D. C. A., McAloone, T. C.	2016	<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>
108	Robinson, W. G., Chan, P. W., Lau, T.	2016	<i>Construction Management and Economics</i>
109	Song, W., Sakao, T.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
110	Santamaria, L., Escobar-Tello, C., Ross, T.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
111	Scheepens, A. E., Vogtländer, J. G., Brezet, J.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
112	Sousa-Zomer, T. T., Miguel, P. A. C.	2016	<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>
113	Sousa-Zomer, T. T., Miguel, P. A. C.	2016	<i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>
114	Tran, T., Park, J. Y.	2016	<i>Sustainability (Switzerland)</i>
115	Wu, B., Fan, S. X., Yu, A. J., Xi, L. F.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>
116	Catulli, M., Cook, M., Potter, S.	2016	<i>Journal of Cleaner Production</i>

Fonte: elaborado pela autora com base na busca bibliográfica.

Quadro A2 - Periódicos identificados e número de publicações por periódico.

Periódico	Quantidade de publicações
<i>Journal of Cleaner Production</i>	56
<i>International Journal of Production Research</i>	5
<i>Business Strategy and the Environment</i>	3
<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>	3
<i>Ecological Economics</i>	3
<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>	3
<i>CIRP Annals - Manufacturing Technology</i>	2
<i>International Journal of Agile Systems and Management</i>	2
<i>International Journal of Life cycle assessment</i>	2
<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	2
<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>	2
<i>Clean Technologies and Environmental Policy</i>	1
<i>Computers and Industrial Engineering</i>	1
<i>Computers in Industry</i>	1
<i>Construction Management and Economics</i>	1
<i>Corporate Social Responsibility and Environmental Management</i>	1
<i>Design Journal</i>	1
<i>Energy for Sustainable Development</i>	1
<i>Environmental Innovation and Societal Transitions</i>	1
<i>Environmental Science and Technology</i>	1
<i>European Journal of Operational Research</i>	1
<i>Expert Systems with Applications</i>	1
<i>Greener Management International</i>	1
<i>IEEE Transactions on Engineering Management</i>	1
<i>Industrial Engineering and Management Systems</i>	1
<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	1

Continua

Quadro A2 - Periódicos identificados e número de publicações por periódico - continuação.

Periódico	Quantidade de publicações
<i>International Journal of Automotive Technology and Management</i>	1
<i>International Journal of Design</i>	1
<i>International Journal of Environmental Science and Technology</i>	1
<i>International Journal of Environmental Technology and Management</i>	1
<i>International Journal of Innovation and Sustainable Development</i>	1
<i>International Journal of Physical Distribution and Logistics Management</i>	1
<i>International Journal of Product Lifecycle Management</i>	1
<i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i>	1
<i>International Journal of Technology Management</i>	1
<i>Journal of Industrial and Production Engineering</i>	1
<i>Journal of Industrial Ecology</i>	1
<i>Sustainability</i>	1
<i>Sustainability (Switzerland)</i>	1
<i>Sustainable Development</i>	1
<i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	1
<i>Waste Management and Research</i>	1
<i>Work-a Journal of Prevention Assessment &amp; Rehabilitation</i>	1
<i>WSEAS Transactions on Business and Economics</i>	1

Fonte: elaborado pela autora com base na busca bibliográfica.

## APÊNDICE B - PROTOCOLO DE PESQUISA

Quadro B1 - Protocolo para guiar o processo de seleção de publicações.

<i>Screening questions</i>	Sim	Não
	Continua	Descarte
A. Questões gerais		
A publicação é em língua inglesa?		
A publicação é proveniente de periódicos?		
A publicação está alinhada com o escopo da pesquisa (PSS e sustentabilidade)?		
A versão completa está disponível?		
B. O trabalho aborda métodos e ferramentas para avaliação do potencial de um PSS?		



## APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO PARA CONSULTA COM ESPECIALISTAS

Dear Researcher,

My name is Thayla Zomer, and I am conducting my master's degree research in *product-service systems* and *sustainability* assessment, at the Federal University of Santa Catarina (Brazil) under the supervision of Professor Paulo A. Cauchick Miguel.

My research is focused on the design process of sustainable *product-service systems* (PSS), mainly in *sustainability* assessment during PSS design stages. PSS *sustainability* assessment has been stated in the literature as a critical aspect of PSS design process in order to ensure the *sustainability* potential of PSS solutions throughout its life cycle. However, the literature has been pointing out that there is a lack of *sustainability* assessment methods and tools to support PSS design process. In this sense, my research aims to propose an approach based on the *sustainability hotspots analysis* to identify and to analyze the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle, to be applied during PSS design process. This approach intends to offer a general idea about the impacts along PSS life cycle that need to be addressed in the following phases of PSS development in order to develop sustainable solutions.

Since your research is focused on *product-service systems*, *sustainability* assessment, and/or *life cycle assessment*, I would be very grateful if you could contribute to my research giving your opinion and answering a questionnaire about the approach that I am proposing for social and environmental *hotspots* identification. As an expert in the field, your contribution will be extremely valuable.

If you can contribute, I will introduce the approach in details and after that, I would like to ask your opinion about some aspects of the proposed approach. It will take no longer than 30 minutes. I also appreciate if you could answer the questionnaire in the next ten days.

If you can contribute you can find the questionnaire in the following link: <https://docs.google.com/forms/d/1R4mk-wLf8oSaI2heNxHkbWjAnkUkZZee0CrvsLcXd0o/viewform>

I will be pleased to provide any other information if it is necessary. Thank you in advance for your time and consideration.

Yours sincerely,

Thayla Tavares de Sousa Zomer.  
Postgraduate Program in Production Engineering  
Federal University of Santa Catarina, Santa Catarina, Brazil.

---

### **Proposal of an approach to identify and to analyze the *hotspots* along PSS life cycle - research goal and scope**

*Sustainability* is one of the most important characteristics of PSS (Ou *et al.*, 2016) and the design phase plays a crucial role in developing a sustainable PSS (Vasantha *et al.*, 2015). PSS *sustainability* assessment is a critical question that needs to be carefully addressed by designers during the design stages in order to ensure PSS *sustainability* through its life cycle (Doualle *et al.*, 2016). A successful PSS development project requires evaluation, because it increases the likelihood of success of PSS development (Kim *et al.*, 2015). Therefore, it is quite necessary to evaluate the potential of PSS solutions (Ou *et al.*, 2016).

Indeed, the earlier the *sustainability* impact of a system is assessed, the better the design can be directed to reduce the PSS impacts (Doualle *et al.*, 2016). Furthermore, PSS value is created throughout its life cycle and the phases of a PSS life cycle should be considered in the solution evaluation during the design process. Thus, this research proposes an approach to identify and to analyze the social and environmental *hotspots* along PSS life cycle at the early design stages. A *hotspot* is an environmental, economic, or social aspect in a specific life cycle phase that assumes high relevance in the context of the entire chain (Liedtke *et al.*, 2013). In this research, the *hotspots analysis* considers the social dimension of *sustainability*, since the social impact associated with PSS lacks clear definitions and it often occupies a minor position in the PSS evaluation (Chou *et al.*, 2015). The approach also considers the environmental impacts in each PSS life cycle. Since environmental and social impacts are general considered in the *sustainability hotspots analysis* in the literature (*e.g.* Bienge *et al.* 2009; Liedtke *et al.*, 2013; UNEP/SETAC, 2014) both *sustainability* dimensions were considered in the proposed approach.

The literature has pointed out that *hotspots analysis* may be relevant in designing a PSS to have an optimized environmental performance (Kajer *et al.*, 2016). The outputs from a *hotspot analysis* can be used to identify potential solutions and prioritize actions (UNEP/SETAC, 2014). In this sense, this approach may be useful during the design process to evaluate environmental as well as the social impacts along PSS life cycle. The proposed approach is presented next.

---

### **Description of the approach to identify the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle**

The *hotspot analysis* proposed is conducted in four steps, as suggested by other publications that consider the *hotspots analysis* for products and services (*e.g.* Bienge *et al.* 2009; Liedtke *et al.* 2010; Liedtke *et al.* 2013; UNEP/SETAC, 2014), and which are described next.

#### **Step 1: Defining life cycle stages and impact categories**

The first step of the approach is the definition of life cycle stages and categories that will be considered in the *analysis*, which consists of system boundaries. The PSS life cycle stages considered in the approach were identified in the literature. The life cycle stages considered to identify and analyze the *hotspots*

will be those that are focused on the operative phases, *i.e.* product manufacturing, implementation, use and end-of-life, as already pointed out by Peruzzini and Germani (2014). The impacts will be analyzed for the product-service manufacturing, PSS implementation and end-of-life stages.

After identifying the life cycle stages covered, the following step is to identify the categories of impacts that will be investigated along the life cycle. To identify the social aspects, the literature of social *life cycle assessment* (SLCA) was analyzed, specially the guidelines for conducting SLCA proposed by UNEP/SETAC (2009) and the methodological sheets proposed by UNEP/SETAC (2013) to support the SLCA. Since one of the applications of SLCA is for *hotspots analysis* (UNEP/SETAC, 2009), that approach was considered suitable for investigation. The SLCA assesses the social and socio-economic impacts of a product's life cycle stages (Benoit *et al.*, 2010), and each of the life cycle stages (and their unit processes) can be associated with geographic locations, where the processes are carried out.

According to SLCA, in each of the geographic locations social and socio-economic impacts may be observed in relation to five main *stakeholder* categories. A *stakeholder* category is a cluster of *stakeholders* that are expected to have shared interests due to their similar relationship to the investigated product systems. Furthermore, because impact categories are broad themes, UNEP/SETAC has focused on identifying and building consensus around subcategories which describe a social area of interest. Social and socio-economic subcategories of impact have been defined according to international agreements and the best practices at the international level (Benoit *et al.*, 2010), and they are suggested in the guidelines for conducting the SLCA proposed by UNEP/SETAC (2009).

The guidelines of SLCA were analyzed to identify the *stakeholders'* categories to be considered in the proposed approach. Since PSS involves multiple *stakeholders*, it is necessary to consider the impacts to all *stakeholders* involved in the PSS life cycle. Furthermore, the subcategories proposed in the guidelines that could be related to the PSS process/business structure were selected for *analysis*. Most of the social issues described in the methodological sheets by subcategories and indicators refer to the behavior/conduct of organizations (companies and institutions). Only few social issues can be allocated directly to a process/product, which means that "there is a causal link between process and impact" (Jørgensen *et al.* 2008; Lehmann *et al.* 2013). Thus, the guidelines and methodological sheets were analyzed to identify the subcategories that could be linked to the process of PSS, since during the early design stages there is not much information regarding the companies and institutions as well as their behavior. For this reason, many of the social subcategories suggested in the guidelines are not suitable to be included in the approach, when it is applied in the early design stages.

After analyzing the guidelines, the *stakeholders'* categories and subcategories presented in Table 1 were selected to integrate the approach, and they can be considered during the design of different PSS solutions.

Table 1 - *Stakeholders* categories and impacts subcategories considered in the proposed approach.

<i>Stakeholders</i> categories	Subcategories
Worker	Health and safety
	Hours of work
Consumers	Health and safety
	Feedback mechanisms
	Privacy in the use phase
	End of life responsibility
Local community	Health and safety
	Access to immaterial resources
	Access to material resources
	Community engagement
	Cultural heritage
	Local employment
Society	Contribution to economic development
	Technology development
	Public commitment to <i>sustainability</i> issues
Value chain actors	Supplier relationships

After selecting the *stakeholders* categories and impacts subcategories in the social dimension, the impact categories to be considered in the environmental dimension were identified based on a literature review of PSS *sustainability* assessment. The impact categories considered by more than one paper that address PSS *sustainability* assessment methods and tools and that were addressed in *hotspots analysis* literature as well were considered to be included in the proposed approach. The selected categories can be applied to different PSS types. Table 2 presents the environmental categories that will be considered in the *hotspots analysis*. These impacts are suggested to be considered in any PSS design process, but if it is not suitable for the PSS under development it can be eliminated. Moreover, if other impacts categories are relevant in the context under *analysis*, they must be included in the approach. After identifying aspects in both *sustainability* dimensions that will be covered by the proposed approach, the following step is to identify the relevance of each life cycle phase.

## **Step 2: Assessing the defined aspects in environmental and social dimension between the different life cycle phases**

In the second step, it is necessary to compare the environmental and social impacts of one phase to another. This can be done based on available life cycle information within scientific studies performed about the product or service that are part of the PSS solution, the location where the PSS will operate and also based on designers' experience. For this step, the life cycle phases are given a score from 1 to 3 (*i.e.*, low=1, high=3). Table 3 provides

an example of this step.

Table 2 - Environmental categories considered in the proposed approach.

Categories	PSS literature references	<i>Hotspots analysis</i> literature
Energy consumption	Vogtlander <i>et al.</i> (2001); Halme at al. (2004); Hu <i>et al.</i> (2012); Chou <i>et al.</i> (2015); Gupta <i>et al.</i> (2015)	Bienge <i>et al.</i> (2009); UNEP/SETAC (2014)
Water consumption	Halme at al. (2004); Chou <i>et al.</i> (2015);	Bienge <i>et al.</i> (2009); Liedtke <i>et al.</i> (2013); UNEP/SETAC (2014)
Waste generation	Halme at al. (2004); Chou <i>et al.</i> (2015); Gupta <i>et al.</i> (2015)	Bienge <i>et al.</i> (2009); UNEP/SETAC (2014)
Greenhouse gas emissions	Halme at al. (2004); Hu <i>et al.</i> (2012); Peruzzini and Germani (2014); Chou <i>et al.</i> (2015); Gupta <i>et al.</i> (2015); Kim <i>et al.</i> (2016)	Bienge <i>et al.</i> (2009); Liedtke <i>et al.</i> (2013); UNEP/SETAC (2014)
Material consumption	Halme at al. (2004); Hu <i>et al.</i> (2012); Lee <i>et al.</i> (2012); Peruzzini and Germani (2014); Gupta <i>et al.</i> (2015); Kim <i>et al.</i> (2016)	Bienge <i>et al.</i> (2009); UNEP/SETAC (2014)

Table 3 - Assessment of the defined aspects between the different life cycle phases.

Assessing defined aspects between the different life cycle phases	Life cycle phases		
	Product manufacturing	Implementation/ use	End-of-life
Environmental aspects	3	2	2
Social aspects	3	2	1

### Step 3: Assessing defined aspects within each life cycle phase

Each social and environmental aspect must be identified as having a low, medium, or high relevance within each life cycle phase. The assessment is based on the available literature regarding the products and services involved (*e.g.*, scientific journals, reports) and can be complemented by expert consultation. If the design team is not completely aware of the relevance of the aspect it should be given a low score. Scores are applied for each level of rating (*i.e.*, low=1, high=3). If no data is available and thus allows currently no assessment the analyst should document that no sources have been found – this is treated as a 0 in calculations. Table 4 provides an example of the assessment of the selected environmental categories within each life cycle phase.

Table 4 - Assessment of the defined environmental categories within each life cycle phase.

Environmental categories	Product manufacturing	Implementation/use	End-of-life
Energy consumption	3	3	1
Water consumption	3	2	2
Waste generation	3	1	3
Greenhouse gas emissions			
Material consumption			

#### Step 4: Identification of sustainability hotspots

For identifying at which life cycle phase the social and environmental *hotspots* occur, the scores of steps 2 and 3 are multiplied by each other in step 4. Thus, the ecological and social *hotspots* can be identified (scores of 6 and 9 points, based on Wallbaum and Kummer, 2006 and other publications on *hotspots analysis* literature). The environmental categories selected in step 1 and evaluated according to the life cycle phase from step three are multiplied with the respective evaluation factor of the life cycle phase from step two. The same procedure must be performed for the social aspects. Table 5 illustrates the *hotspot* identification for the categories in the environmental dimension.

Table 5 - *Hotspots* identification for the categories in the environmental dimension.

Environmental categories	Product manufacturing	Implementation/use	End-of-life
Energy consumption	9	6	2
Water consumption	9	4	4
Waste generation	9	2	6
Greenhouse gas emissions			
Material consumption			

For example, in the column product manufacturing the scores from step three, *i.e.* energy consumption (3), water consumption (3), and waste generation (3) are multiplied by the respective life cycle evaluation factor from step two, *i.e.* (3) for environmental aspects in this life cycle phase. Thus, the aspects received a high ranking ( $3 \times 3 = 9$ ), which can be considered *hotspots* that need to be taken into account in the following phases of PSS development in order to develop a sustainable solution.

1) With regard to the life cycle phases addressed in the proposed approach (*i.e.* product manufacturing, implementation, use and end-of-life), to what extent do you agree that these life cycle stages are appropriate?

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

2) With regard to the *stakeholders* categories considered in the approach for the social *hotspots analysis*, to what extent do you agree that the following categories are appropriate?

**a) workers**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**b) consumers**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c) local community**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**d) society**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**e) value chain actors**

- strongly disagree

- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

3) With regard to the subcategories considered in the approach for the social *hotspots analysis*, to what extent do you agree that the following subcategories are appropriate?

**a) stakeholder category "workers"**

- a1) health and safety
- strongly disagree
  - disagree
  - neither agree nor disagree
  - agree
  - strongly agree

Comments/suggestions:

---

a2) hours of work

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**b) stakeholder category "consumers"**

b1) feedback mechanisms

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

b2) health and safety

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

b3) privacy in the use phase

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**b4) end of life responsibility**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c) stakeholder category "local community"**

**c1) access to immaterial resources**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c2) health and safety**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c3) access to material resources**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c4) community engagement**

- strongly disagree
- disagree
- neither agree nor disagree
- agree

strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c5) cultural heritage**

strongly disagree

disagree

neither agree nor disagree

agree

strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c6) local employment**

strongly disagree

disagree

neither agree nor disagree

agree

strongly agree

Comments/suggestions:

---

**d) *stakeholder category "society"***

**d1) contribution to economic development**

strongly disagree

disagree

neither agree nor disagree

agree

strongly agree

Comments/suggestions:

---

**d2) technology development**

strongly disagree

disagree

neither agree nor disagree

agree

strongly agree

Comments/suggestions:

---

**e) *stakeholder category "value chain actors"***

**e1) public commitment to sustainability issues**

strongly disagree

disagree

neither agree nor disagree

agree

strongly agree

Comments/suggestions:

---

## e2) supplier relationships

- strongly disagree  
 disagree  
 neither agree nor disagree  
 agree  
 strongly agree

Comments/suggestions:

---

4) With regard to the categories considered in the approach for the environmental *hotspots analysis*, to what extent do you agree that the following categories are appropriate?

**a) energy consumption**

- strongly disagree  
 disagree  
 neither agree nor disagree  
 agree  
 strongly agree

Comments/suggestions:

---

**b) water consumption**

- strongly disagree  
 disagree  
 neither agree nor disagree  
 agree  
 strongly agree

Comments/suggestions:

---

**c) waste generation**

- strongly disagree  
 disagree  
 neither agree nor disagree  
 agree  
 strongly agree

Comments/suggestions:

---

**d) greenhouse gases emission**

- strongly disagree  
 disagree  
 neither agree nor disagree  
 agree  
 strongly agree

Comments/suggestions:

---

**e) material consumption**

- strongly disagree

- disagree
- neither agree nor disagree
- agree
- strongly agree

Comments/suggestions:

---

5) How do you evaluate the utility of the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

6) How do you evaluate the completeness of the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* through PSS life cycle during the early design phases?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

7) How do you evaluate the scope of the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in terms of the *sustainability* dimensions considered?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

8) How do you evaluate the scope of the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases concerning the *stakeholders* categories addressed?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory

neither unsatisfactory nor satisfactory

satisfactory

very satisfactory

Comments/suggestions:

---

9) How do you evaluate the scope of the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases regarding the social subcategories addressed?

very unsatisfactory

unsatisfactory

neither unsatisfactory nor satisfactory

satisfactory

very satisfactory

Comments/suggestions:

---

10) How do you evaluate the scope of the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases regarding the environmental categories addressed?

very unsatisfactory

unsatisfactory

neither unsatisfactory nor satisfactory

satisfactory

very satisfactory

Comments/suggestions:

---

11) How do you evaluate the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in relation to its applicability in the design process of different PSS categories?

very unsatisfactory

unsatisfactory

neither unsatisfactory nor satisfactory

satisfactory

very satisfactory

Comments/suggestions:

---

12) How do you evaluate the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in relation to the depth of the evaluation that the approach allows to perform?

very unsatisfactory

- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

13) How do you evaluate the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in relation to the simplicity of use during the design process?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

14) How do you evaluate the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in relation to the clarity that the *hotspots* are identified?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

15) How do you evaluate the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in relation to measurement adopted to identify the relevance of the life cycle phases?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

16) How do you evaluate the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in relation to measurement adopted to identify the relevance of the aspects through the life cycle phases?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

17) How do you evaluate the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases in relation to capability of provide a broad view of the impacts through PSS life cycle?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

18) How do you evaluate the objectivity of the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases?

- very unsatisfactory
- unsatisfactory
- neither unsatisfactory nor satisfactory
- satisfactory
- very satisfactory

Comments/suggestions:

---

19) Do you have any other general comments regarding the proposed approach for analyzing the environmental and social *hotspots* along PSS life cycle during the early design phases?



## APÊNDICE D - RESULTADOS DO CÁLCULO DO ALFA DE CRONBACH

Quadro D1 - Cálculo do coeficiente alfa de Cronbach para a dimensão do questionário que envolveu as subcategorias de impacto social.

Categorias de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto social	Média de escala se o item for excluído	Variância de escala se o item for excluído	Correlação de item total corrigida	Alfa de Cronbach se o item for excluído
Trabalhador	Saúde e segurança	627	28	0,275	0,719
	Horas de trabalho	633	28	0,089	0,743
Consumidor	Mecanismos de <i>feedback</i>	627	27	0,444	0,708
	Saúde e segurança	628	30	-0,115	0,745
	Privacidade na fase de uso	635	25	0,376	0,710
	Responsabilidade no fim da vida útil	635	22	0,438	0,706
	Acesso a recursos imateriais	636	26	0,42	0,704
	Saúde e segurança	630	28	0,259	0,721
	Acesso a recursos materiais	634	27	0,428	0,708

Continua

Quadro D1 - Cálculo do coeficiente alfa de Cronbach para a dimensão do questionário que envolve as subcategorias de impacto social - continuação.

Categorias de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto social	Média de escala se o item for excluído	Variância de escala se o item for excluído	Correlação de item total corrigida	Alfa de Cronbach se o item for excluído
Consumidor	Engajamento da comunidade	630	25	0,621	0,687
	Herança cultural	633	26	0,458	0,699
	Geração de empregos locais	627	28	0,275	0,719
Sociedade	Contribuição para o desenvolvimento econômico	627	28	0,275	0,719
	Desenvolvimento tecnológico	632	29	0,138	0,729
	Comprometimento público com questões de sustentabilidade	628	26	0,428	0,704
Atores da cadeia de valor	Relacionamento entre os atores	633	25	0,474	0,696

Fonte: elaborado pela autora com auxílio do *software* SPSS.

Quadro D2 - Cálculo do coeficiente alfa de Cronbach para a dimensão do questionário que envolveu os aspectos ambientais.

Categorias	Média de escala se o item for excluído	Variância de escala se o item for excluído	Correlação de item total corrigida	Alfa de Cronbach se o item for excluído
Consumo de energia	178	4	0,928	0,858
Consumo de água	179	4	0,869	0,871
Geração de resíduos	178	4	0,711	0,906
Emissão de poluentes	180	4	0,641	0,919
Consumo de materiais	177	4	0,795	0,884

Fonte: elaborado pela autora com auxílio do *software* SPSS.



## APÊNDICE E - SUBCATEGORIAS DE IMPACTO SOCIAL ANALISADAS

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Trabalhadores	Saúde e segurança	Sim	A saúde ocupacional significa a promoção e manutenção de altos níveis de bem estar físico, mental e social e proteção dos trabalhadores contra riscos resultantes de fatores adversos à saúde	Aspectos de saúde e segurança também se relacionam com os processos, setores e fases do ciclo de vida, além do perfil da organização	UNEP/SETAC (2009); Hu <i>et al.</i> (2102); Lee <i>et al.</i> (2012); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Peruzzini; Germani (2014); UNEP/SETAC (2014); Chou <i>et al.</i> (2015)
Trabalhadores	Horas de trabalho	Sim	Verifica se as horas de trabalho cumprem as leis aplicáveis e os padrões da indústria/setor	As horas de trabalho são relacionadas aos processos de acordo com o tipo de atividade a ser realizada em cada fase do ciclo de vida de um PSS	

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Trabalhadores	Liberdade de associação	Não	Todos os trabalhadores tem direito de se associar à organizações de defesa dos seus interesses. A avaliação dessa subcategoria visa verificar se a organização cumpre as regras e normas de direitos à associação	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Trabalhadores	Trabalho infantil	Não	A avaliação consiste na verificação se a organização emprega mão de obra infantil	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Trabalhadores	Salário justo	Não	A avaliação consiste na verificação se as leis no que diz respeito aos salários dos trabalhadores são aplicáveis pela organização	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Trabalhadores	Igualdade de oportunidades / discriminação	Não	A avaliação consiste na verificação da adoção de práticas de gestão da igualdade de oportunidades oferecidas aos trabalhadores pela organização e nas condições de trabalho	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Trabalhadores	Benefícios sociais/seguridade social	Não	A avaliação consiste na verificação se a organização prevê benefícios sociais e de segurança dos trabalhadores	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Trabalhadores	Trabalho forçado	Não	A avaliação consiste na verificação das práticas de trabalho adotadas pela organização, se a mesma cumpre com as leis e não emprega práticas de trabalho forçado	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Sociedade	Comprometimento da comunidade com questões de sustentabilidade	Sim	Avalia o engajamento das organizações para reduzir os seus impactos	Em um PSS, o provedor e os atores envolvidos devem estar motivados em suas ações para incentivo à reorientação das práticas de consumo insustentáveis, especialmente em determinados tipos de oferta	UNEP/SETAC (2009); Lehmann <i>et al.</i> (2013)
Sociedade	Contribuição para o desenvolvimento econômico	Sim	Diz respeito a quanto uma organização contribui para o desenvolvimento econômico de uma região e país	Um PSS e respectivo tipo de modelo de negócio podem contribuir direta e indiretamente para o desenvolvimento econômico da comunidade onde será inserido	UNEP/SETAC (2009); Ceschin (2014a)

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na abordagem proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Sociedade	Desenvolvimento tecnológico	Sim	Avalia se a organização desenvolve tecnologias eficientes e ambientalmente responsáveis	Um PSS deve envolver o uso e desenvolvimento de tecnologias avançadas tanto nos produtos quanto no processo produtivo	UNEP/SETAC (2009); Ceschin (2014b)
Sociedade	Corrupção	Não	A avaliação consiste em verificar se a organização implementa medidas adequadas para evitar a corrupção	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Sociedade	Prevenção de conflitos	Não	Essa subcategoria avalia o posicionamento da organização em conflitos e situações que possam se transformar em conflitos	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Consumidor	Saúde e segurança	Sim	Diz respeito aos produtos e serviços serem seguros durante a fase de uso	Está relacionada aos tipos de produtos e serviços envolvidos na oferta	UNEP/SETAC (2009); Hu <i>et al.</i> (2012); UNEP/SETAC (2014)

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Consumidor	Mecanismos de <i>feedback</i>	Sim	Diz respeito aos mecanismos por meio dos quais os consumidores se comunicam com a organização e revelam sua satisfação	Determinados tipos de PSS requerem alta interação com o consumidor durante a fase de uso, e um PSS precisa ser monitorado para garantir sua funcionalidade, disponibilidade e resultados	Halme <i>et al.</i> (2004); UNEP/SETAC (2009); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Chen <i>et al.</i> (2015)
Consumidor	Privacidade	Sim	Diz respeito aos mecanismos para respeitar e proteger a privacidade do consumidor	Há soluções de PSS em que o monitoramento durante a fase de uso é intenso	UNEP/SETAC (2009)
Consumidor	Transparência	Não	Verifica se a organização comunica sobre todas as questões relativas ao produto e responsabilidade social de uma forma transparente	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Consumidor	Responsabilidade no final da vida útil do produto	Sim	Diz respeito aos esforços que devem ser feitos para abordar os impactos sociais e de saúde pública referentes ao fim da vida útil do produto ou serviço	Há soluções de PSS em que a responsabilidade ao fim de vida útil é essencial (por exemplo, no caso de envolver produtos com potenciais e significativos impactos ambientais)	UNEP/SETAC (2009)

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Consumidor	Responsabilidade de no final da vida útil do produto	Sim	Diz respeito aos esforços que devem ser feitos para abordar os impactos sociais e de saúde pública referentes ao fim da vida útil do produto ou serviço	Há soluções de PSS em que a responsabilidade ao fim de vida útil é essencial (por exemplo, no caso de envolver produtos com potenciais e significativos impactos ambientais)	UNEP/SETAC (2009)
Comunidade local	Condições de vida saudável	Sim	Avalia como as organizações influenciam a segurança e a saúde da comunidade, incluindo condições gerais de segurança de suas operações e impactos na saúde pública	Os impactos das operações também se relacionam ao tipo de modelo de negócio e as atividades envolvidas, e como as mesmas impactam na saúde, segurança e bem estar da comunidade onde serão inseridas	Hu <i>et al.</i> (2012); Lee <i>et al.</i> (2012); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Peruzzini; Germani (2014)
Comunidade local	Acesso a recursos materiais	Sim	Avalia em que medida as organizações respeitam, trabalham para proteger, fornecer ou melhorar o acesso da comunidade aos recursos materiais	Um PSS visa permitir que mais indivíduos tenham acesso a produtos originalmente inacessíveis e melhorar o acesso à infraestrutura. Esse aspecto também se relaciona com o tipo de PSS	UNEP/SETAC (2009)

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na abordagem proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Comunidade local	Acesso a recursos imateriais	Sim	Avalia em que medida as organizações respeitam, trabalham para proteger, fornecer ou melhorar o acesso da comunidade a recursos imateriais	Um PSS deve incentivar o envolvimento da comunidade e promover a transferência de tecnologia e o desenvolvimento de competências onde será implementado	UNEP/SETAC (2009)
Comunidade local	Envolvimento da comunidade	Sim	Diz respeito ao envolvimento de grupos da comunidade que podem ser afetados pelas ações da organização ou pelos produtos/serviços	Um PSS deve incentivar o envolvimento dos <i>stakeholders</i> da comunidade onde será inserido para facilitar o desenvolvimento econômico da região	UNEP (2002); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Ceschin (2014b)
Comunidade local	Geração de empregos	Sim	Avalia se a organização indiretamente ou diretamente afeta a geração de empregos locais	O tipo de PSS e o modelo de negócio também têm ligação com a geração de empregos locais. Um PSS tem potencial de gerar empregos se a relação com os <i>stakeholders</i> é intensiva	Hu <i>et al.</i> (2012); Lee <i>et al.</i> (2012); Lehmann <i>et al.</i> (2013); Ceschin (2014b)

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Comunidade local	Herança cultural	Sim	Avalia se uma organização respeita os valores culturais e reconhece que os membros da comunidade têm o direito de manter sua cultura	A implementação de sucesso de um PSS é extremamente sensível a estar alinhada com as características culturais do local onde a solução será inserida	UNEP/SETAC (2009), Lehmann <i>et al.</i> (2013); Ceschin (2014b); Chou <i>et al.</i> (2015)
Comunidade local	Deslocalização e migração	Não	Avalia se a organização contribui para a deslocalização, migração ou "reassentamento involuntário" dentro das comunidades e se as populações são tratadas adequadamente	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Comunidade local	Respeito aos direitos indígenas	Não	Avalia se a organização respeita os direitos indígenas na região onde é inserida	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Comunidade local	Condições de vida segura	Não	Avalia o impacto das organizações na segurança das comunidades locais no que diz respeito à conduta do pessoal de segurança privada e como a organização interage com forças lideradas pelo estado	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)

Continua

Quadro E1 - Subcategorias de impacto social analisadas e justificativa para consideração ou não na abordagem proposta - continuação.

Grupo de <i>stakeholders</i>	Subcategorias de impacto	Consideração na proposta	Descrição	Justificativa	Referências
Atores da cadeia de valor	Relacionamento entre os atores	Sim	Diz respeito aos impactos e conseqüências não intencionais que as decisões de uma organização podem causar em outras organizações	O tipo de modelo de negócio pode contribuir para o posicionamento estratégico e competitividade das organizações envolvidas na cadeia de valor	Mont (2002)
Atores da cadeia de valor	Competição justa	Não	Avalia se as atividades competitivas da organização são conduzidas em conformidade com as legislações que impedem comportamentos anticoncorrenciais e monopólio	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Atores da cadeia de valor	Respeito aos direitos de propriedade intelectual	Não	Avalia se as ações da organização protegem e valorizam a propriedade intelectual dos bens e serviços	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)
Atores da cadeia de valor	Promoção de responsabilidade social	Não	Avalia se a organização promove a responsabilidade social considerando os seus parceiros	Subcategoria associada ao perfil e práticas da organização e não ao tipo de PSS em desenvolvimento	Benoit <i>et al.</i> (2010); UNEP/SETAC (2009, 2013)

Fonte: elaborado pela autora com base na literatura consultada.

## APÊNDICE F - PRODUÇÃO CIENTÍFICA RELACIONADA AO ASSUNTO DA DISSERTAÇÃO

Quadro F1 - Publicações em periódicos, artigos aceitos para publicação e em avaliação, relacionados ao tema da dissertação.

Ano	Autores	Título	Periódico	Qualis-Capes	Status
2015	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>The main challenges for social life cycle assessment (SLCA) to support the social impacts analysis of product-service systems</i>	<i>International Journal of Life cycle assessment</i>	A2	Aceito para publicação
2016	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Sustainable business models as an innovation strategy in the water sector: an empirical investigation of a sustainable product-service system</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	A1	Aceito para publicação
2016	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>A QFD-based approach to support sustainable product-service systems conceptual design</i>	<i>International Journal of Advanced Manufacturing and Technology</i>	B1	Publicado
2016	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Exploring business model innovation for sustainability: an investigation of two product-service systems</i>	<i>Total Quality Management &amp; Business Excellence</i>	B1	Aceito para publicação
2016	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Exploring the consumption side of sustainable product-service systems (PSS): An empirical study and insights for PSS sustainable design</i>	<i>CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology</i>	B5	Publicado

Continua

Quadro F1 - Publicações em periódicos, artigos aceitos para publicação e em avaliação, relacionados ao tema da dissertação - continuação.

Ano	Autores	Título	Periódico	Qualis-Capes	Status
2016	Sousa-Zomer; Cantú; Cauchick Miguel	<i>Analysis and comparison of two bike-sharing systems: characteristics, similarities and sustainable potential of the solutions</i>	<i>Brazilian journal of operations and production management</i>	B4	Publicado
2016	Sousa-Zomer; Homrich; Campos; Carvalho; Cauchick Miguel	<i>Product-service systems and sustainability: state-of-the-art and directions for future research</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	A1	Em avaliação

Fonte: elaborado pela autora.

Quadro F2 - Publicações em anais de eventos e premiações.

Ano	Autores	Título	Conferência	Localidade	Status
2015	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Product-service systems and the potential as a sustainable solution: analysis of a Brazilian water purification PSS</i>	<i>7th Industrial Product-service systems</i>	França	Publicado (artigo premiado <sup>39</sup> )
2015	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Exploring and Comparing the Sustainable Potential of Advanced Services: Insights from Two Product-service systems Cases</i>	<i>Spring Servitization Conference</i>	Inglaterra	Publicado
2015	Sousa-Zomer; Cantú; Cauchick Miguel	<i>Analysis and comparison of two bike-sharing systems: characteristics, similarities and sustainable potential of the solutions</i>	<i>International Conference on Industrial Engineering and Operations Management</i>	Portugal	Publicado
2015	Sousa-Zomer; Campos; Cauchick Miguel	<i>Avaliação do ciclo de vida de sistemas produto-serviço: uma análise preliminar da literatura</i>	<i>Encontro Nacional de Engenharia de Produção</i>	Brasil	Publicado
2015	Sousa-Zomer; Campos; Cauchick Miguel	<i>Avaliação da sustentabilidade de Sistemas Produto-Serviço: uma análise da literatura</i>	<i>Simpósio de Engenharia de Produção</i>	Brasil	Publicado (artigo premiado <sup>40</sup> )

Continua

<sup>39</sup> Best Paper Award in the 7th Industrial Product-service system Conference - Saint-Étienne (France), 2015.

<sup>40</sup> Terceiro melhor artigo da área Engenharia de Produção, Sustentabilidade e Responsabilidade Social do XXII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, Bauru, 2015.

Quadro F2 - Publicações em anais de eventos e premiações - continuação.

Ano	Autores	Título	Conferência	Localidade	Status
2016	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Proposta para identificação e análise dos hotspots sociais no ciclo de vida de sistemas produto-serviço</i>	<i>Simpósio de Engenharia de Produção</i>	Brasil	Publicado (artigo premiado <sup>41</sup> )
2016	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Proposta para identificação e análise dos hotspots ambientais no ciclo de vida de sistemas produto-serviço</i>	<i>Encontro Nacional de Engenharia de Produção</i>	Brasil	Publicado
2016	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Exploring the critical factors for sustainable product-service systems implementation and diffusion in developing countries: an analysis of two PSS cases in Brazil</i>	<i>8th Industrial Product-service systems</i>	Itália	Publicado
2017	Sousa-Zomer; Cauchick Miguel	<i>Proposal of a hotspot-based approach to identifying social impacts along the product-service systems life cycle in the early design phases</i>	<i>9th Industrial Product-service systems</i>	Dinamarca	Aceito para publicação
2017	Sousa-Zomer; Magalhães; Zancul; Cauchick Miguel	<i>Life cycle management of product-service systems as a strategy for slowing resources loops: a preliminary investigation of a white goods manufacturer</i>	<i>9th Industrial Product-service systems</i>	Dinamarca	Aceito para publicação

Fonte: elaborado pela autora.

<sup>41</sup> Segundo melhor artigo da área Engenharia de Produção, Sustentabilidade e Responsabilidade Social do XXIII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, Bauru, 2016.