

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA E DE MATERIAIS

JAIRO PABLO ALVES DE CARVALHO

PROPOSTA E ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO PARA
TRATAMENTO DE LIXO ORGÂNICO E GERAÇÃO DE BIOGÁS EM MUNICÍPIOS
BRASILEIROS DE PEQUENO PORTE

TESE

CURITIBA

2021

JAIRO PABLO ALVES DE CARVALHO

**PROPOSTA E ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO PARA
TRATAMENTO DE LIXO ORGÂNICO E GERAÇÃO DE BIOGÁS EM MUNICÍPIOS
BRASILEIROS DE PEQUENO PORTE**

**Proposal and specification of a product-service system to the treatment of the
organic waste and biogas generation in small Brazilian municipalities.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia – Área de concentração: Engenharia de Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Milton Borsato

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba



JAIRO PABLO ALVES DE CARVALHO

PROPOSTA E ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO PARA TRATAMENTO DE LIXO ORGÂNICO E GERAÇÃO DE BIOGÁS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS DE PEQUENO PORTE

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Engenharia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia De Manufatura.

Data de aprovação: 12 de Abril de 2021

Prof Milton Borsato, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Eloy Fassi Casagrande Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Henrique Rozenfeld, Doutorado - Universidade de São Paulo (Usp)

Prof.a Janaina Mascarenhas Hornos Da Costa, Doutorado - Universidade de São Paulo (Usp)

Prof Paulo Augusto Cauchick Miguel, Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 13/04/2021.

A Deus, o Pai, o Criador e mantenedor de tudo e todos, e a Seu Filho Jesus Cristo, Redentor, Mestre e Salvador, os quais me concederam as habilidades, oportunidades e condições para a realização deste trabalho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus e Seu Filho Jesus Cristo, a quem devo a vida e todas as demais bênçãos.

Aos meus pais, que proveram os meios e a educação que me permitiram chegar até aqui.

A minha esposa e filhos, por sua paciência e compreensão.

Ao meu orientador pela atenção e tempo dedicados durante a pesquisa e elaboração deste trabalho.

Ao Denis, pelo valioso auxílio na operação de ferramenta de software para a construção dos diagramas SysML.

RESUMO

CARVALHO, Jairo Pablo Alves. Proposta e especificação de um sistema produto-serviço para tratamento de lixo orgânico e geração de biogás em municípios brasileiros de pequeno porte. 2021. 351 f. Tese (Doutorado em Engenharia – área de concentração: Engenharia de Manufatura). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

Nos países em desenvolvimento o lixo orgânico doméstico é comumente lançado em lixões, sem tratamento. O Brasil possui mais de 3 mil lixões, que afetam a saúde de 95 milhões de pessoas. Os governos dos municípios não possuem recursos para custear as tecnologias existentes para tratamento. Portanto, há necessidade urgente de alternativas de baixo custo para solucionar o problema. A presente tese apresenta um Sistema Produto-Serviço (PSS) de baixo custo, que possibilita o tratamento adequado dos resíduos sólidos orgânicos usando o orçamento atual dos municípios, para possibilitá-los atender as demandas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e eliminar os lixões, representado na linguagem Systems Modeling Language (SYSML). As soluções propostas encontradas na literatura preconizam o modelo de negócio de venda de biodigestores domiciliares para o tratamento do lixo orgânico. Porém, a falta de recursos das famílias de baixa renda para custearem os equipamentos aliada a falta de provisão de serviços de reciclagem de treinamento e manutenção adequada, pelos fabricantes, leva a inoperância dos equipamentos e a falência do modelo. O sistema proposto nesta tese prevê a instalação de biodigestores domésticos associada a serviços de monitoramento, treinamento e manutenção, a ser viabilizado pelo poder público a partir de receitas advindas da economia com o transporte de resíduos, além da produção de biogás para uso doméstico. Além do sistema proposto, o presente trabalho apresenta uma metodologia própria para o desenvolvimento de PSS, construída a partir dos modelos existentes na literatura científica recente. A avaliação do PSS projetado considerando o cenário do município de Porto Amazonas, Paraná, apontou sustentabilidade econômica do modelo, demonstrando viabilidade para o município e para o provedor PSS, num cenário que considera uma redução de até 20% nos gastos mensais do município com a gestão dos resíduos sólidos orgânicos e TMA de 9.6% ao ano para o investimento do provedor. O PSS ainda apresenta o benefício da redução de 40% nos custos com gás de cozinha para os consumidores finais que hospedem o biodigestor em suas propriedades. O PSS proposto está alinhado com as metas, diretrizes e objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), relacionadas a gestão de resíduos sólidos domiciliares orgânicos, delineadas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), em sua versão de 2020, e sua adoção, pelos municípios, tem o potencial de contribuir para que esses se adequem as metas do programa. O PSS proposto também contribui para ampliar a discussão sobre ações pertinentes para adequar o ambiente regulatório, no âmbito PLANARES, para viabilizar propostas inovadoras para a geração de energia a partir de resíduos sólidos orgânicos.

Palavras-chave: Sistema produto-serviço. PSS. resíduo orgânico. Biodigestor. Biogás. PNRS. PLANARES.

ABSTRACT

CARVALHO, Jairo Pablo Alves. Proposal and specification of a product-service system to the treatment of the organic waste and biogas generation in small Brazilian municipalities. 2021. 351 f. Tese (Doutorado em Engenharia – área de concentração: Engenharia de Manufatura). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

In developing countries, domestic organic waste is commonly destined in landfills, with no treatment. Brazil has more than 3000 landfills, which affect the health of 95 million people. The government of the cities has not funds enough to support the cost of the treatment technologies available. Thus, low-cost alternatives to face the problem are an urgent necessity. The present thesis proposes a low-cost Product-Service System (PSS) that allows the correct processing of solid organic waste, using the municipality's actual budget, to help them to attend to the demands of the Solid Waste National Policy, thus eliminating the landfills, represented through the Systems Modelling Language (SYSML). The proposed solutions found in the literature preconize the biodigester sale business model to the treatment of organic waste. However, the lack of funds of the low-income families to pay for the equipment, associated with the lack of provision of training recycling and adequate maintenance, by the manufacturers, conduces to the inoperability of the equipment and the failure of the model. The system proposed in the present thesis proposes the installation of domestic biodigesters together with monitoring, training, and maintenance services, which viability will rely upon the funding by the municipalities, by incomings coming from the savings with waste transportation, apart from the production of biogas to domestic use. Besides the proposed Product-Service System, the present work presents a new methodology to the PSS development, constructed on the models presented in the recent scientific literature. The evaluation of the projected PSS considering the Porto Amazonas city scenario, in Parana state, pointed to the economic sustainability of the model. It showed viability to the municipality and the PSS provider, in a scenario that considers a decrease of up to 20% on monthly expenses with solid organic waste management to the municipality and MAR of 9,6% a year to the provider's investment. The PSS also delivers the benefit of 40% off on cooking gas expenses to the end-users that host the biodigesters. The proposed PSS is aligned with the goals, directives, and objectives of the National Solid Waste Policy (PNRS), related to the domestic solid organic waste management, established in the National Solid Waste Plan (PLANARES), in its 2020 version, and its adoption, by the municipalities, has the potential of to contribute to enlarging the discussion of actions to adequate the regulatory ambient, in the scope of the PLANARES, to make innovative proposals to generate energy from the solid organic waste become viable.

Keywords: Product-service system. PSS. Organic waste. Biodigester. Biogas. PNRS. PLANARES.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de negócios – PSS orientado a produtos.....	35
Figura 2 - Modelo de negócios – PSS orientado ao uso.....	36
Figura 3 - Modelo de negócios – PSS orientado a resultados.....	37
Figura 4 - Organização dos diagramas SysML em categorias.....	39
Figura 5 - Biodigestor de cúpula chinês.....	46
Figura 6 - Biodigestor indiano.....	47
Figura 7 - Biodigestor tubular de plástico taiwanês.....	48
Figura 8 - Passos sequenciais na condução da DSR.....	58
Figura 9 - Estrutura do Service Blueprint.....	75
Figura 10 - Service Blueprint para PSS.....	76
Figura 11 - Exemplo de Mapa Organizacional do PSS.....	77
Figura 12 - Service Blueprint para PSS modificado.....	79
Figura 13 - Fluxograma do método para o desenvolvimento de PSS desenvolvido..	89
Figura 14 - Mapa Organizacional do PSS - proposta preliminar.....	97
Figura 15 - Imagem do biodigestor selecionado para o desenvolvimento do PSS..	101
Figura 16 - Imagem do filtro de H ₂ S do biodigestor.....	101
Figura 17 - Filtro de H ₂ S e medidor de vazão do biodigestor.....	101
Figura 18 - Pressurizador.....	102
Figura 19 - Diagrama de coreografia - Service Blueprint para PSS modificado.....	104
Figura 20 - Diagrama Service Blueprint para PSS modificado - instalação.....	106
Figura 21 - Diagrama de orquestração do SBPSS - ciclo mensal de operação.....	110
Figura 22 - Mapa Organizacional do PSS.....	115
Figura 23 – Diagrama de Blocos do PSS.....	118
Figura 24 – Diagrama de requisitos do PSS.....	120
Figura 25 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa i – contratação do PSS.....	122
Figura 26 – Diagrama de Atividade – Etapa i - contratação.....	123
Figura 27 – Diagrama de Atividade – Etapa i - treinamento.....	124
Figura 28 – Diagrama de Atividade – Etapa i – cadastro de interessados.....	124
Figura 29 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa ii – instalação.....	126
Figura 30 – Diagrama de Atividade – Etapa ii – agendamento da instalação.....	126
Figura 31 – Diagrama de Atividade – Etapa ii - instalação dos biodigestores.....	127

Figura 32 – Detalhamento da ação <i>Processa a instalação do biodigestor</i>	128
Figura 33 – Detalhamento da ação <i>Processa devolução do biodigestor</i>	129
Figura 34 – Diagrama de Bloco Interno – funcionamento do biodigestor.....	131
Figura 35 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa iii – ciclo mensal de operação.....	132
Figura 36 – Diagrama de Atividade – Etapa iiiii – ciclo mensal de operação.....	133
Figura 37 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa iv – ciclo do biofertilizante.....	135
Figura 38 – Diagrama de Sequência – Geração e Captura de Valor no PSS.....	137
Figura 39 – Diagrama de Estado de Máquina – manutenção do biodigestor.....	139
Figura 40 – Diagrama de blocos – contexto – geração e venda do biogás.....	148
Figura 41 – Diagrama paramétrico – geração e venda do biogás.....	150
Figura 42 – Diagrama de blocos – análise de contexto – biofertilizante.....	151
Figura 43 – Diagrama paramétrico – biofertilizante.....	152
Figura 44 – Diagrama de blocos – análise de contexto – cálculo de viabilidade.....	154
Figura 45 – Diagrama paramétrico – cálculo de viabilidade econômica.....	155
Figura 46 – Diagrama de Pacotes do PSS.....	157
Figura 47 – Perfil de temperatura anual – Porto Amazonas-PR.....	160
Figura 48 – Perfil de temperatura anual – Xanxerê.....	161
Figura 49 – VPL considerando variação de até 25% para mais ou menos.....	168
Figura 50 - VPL cenário com desconto de 20% na locação dos biodigestores.....	171
Figura 51 – Mapa mental do PLANARES.....	178
Figura A2.1 - Exemplo de um diagrama de pacotes.....	236
Figura A2.2 - Modelo de diagrama de requisitos de alto nível.....	239
Figura A2.3 - Exemplo de diagrama de requisito com notação direta.....	241
Figura A2.4 - Exemplo de um diagrama de caso de uso.....	243
Figura A2.5 - Exemplo de um caso de uso estendido.....	246
Figura A2.6 - Exemplo de um diagrama de sequência.....	248
Figura A2.7 - Diagrama de sequência associado ao diagrama de blocos.....	250
Figura A2.8 - Modelo de interação contendo mensagens síncronas.....	254
Figura A2.9 - Exemplo do uso do operador loop em um diagrama de sequência..	256
Figura A2.10 - Exemplo de um diagrama de atividades.....	258
Figura A2.11 - Exemplo de ação de chamada de comportamento.....	261
Figura A2.12 - Definição da atividade <i>Stream telemetry data</i>	261
Figura A2.13 - Exemplo de ação de envio de sinal.....	262
Figura A2.14 - Exemplo do uso de uma ação de aceitação de evento.....	263

Figura A2.15 - Exemplo de uso de uma ação de espera de tempo.....	265
Figura A2.16 - Exemplo de nó de objeto entre duas ações.....	266
Figura A2.17 - Exemplo de um pino atado a uma ação.....	266
Figura A2.18 - Exemplo de uso de parâmetros de atividade.....	267
Figura A2.19 - Exemplo do uso de linhas de fluxo.....	268
Figura A2.20 - Exemplo de uso de controles de fluxo.....	269
Figura A2.21 - Exemplo de uso de nó inicial.....	270
Figura A2.22 - Exemplo de uso de nós de fim de fluxo e de fim de atividade.....	271
Figura A2.23 - Exemplo de uso de nó de decisão.....	272
Figura A2.24 - Exemplo de uso de nó de junção.....	273
Figura A2.25 - Exemplo de uso de partições de atividade.....	274
Figura A2.26 - Exemplo de diagrama de estado de máquina.....	275
Figura A2.27 - Estado composto em um diagrama de estado de máquina.....	277
Figura A2.28 - Exemplo de diagrama de blocos.....	279
Figura A2.29 - Exemplo de relacionamento de generalização.....	281
Figura A2.30 - Modelo de portas com fluxo não atômico.....	284
Figura A2.31 - Exemplo de modelo contendo fluxo atômico.....	285
Figura A2.32 - Exemplo de diagrama de bloco interno.....	286
Figura A2.33 - Exemplo de conexão de propriedades via portas de fluxo.....	288
Figura A2.34 - Exemplo de um ítem de fluxo representado.....	289
Figura A2.35 – Diagrama de blocos que apoia o diagrama paramétrico.....	291
Figura A2.36 - Diagrama paramétrico que representa um bloco de restrição.....	293
Figura A2.37 – Diagrama de blocos que apoia o diagrama paramétrico.....	294
Figura A2.38 - Exemplo de diagrama paramétrico que representa um bloco.....	296

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias e subdivisões de PSS.....	34
Quadro 2 - Propostas de desenvolvimento de PSS versus critérios de seleção.....	66
Quadro 3 - Macro-etapas do desenvolvimento de PSS identificadas na literatura....	70
Quadro 4 – Sub-etapas propostas para a macrofase Observação.....	74
Quadro 5 - Sub-etapas, propostas para a macrofase Ideação.....	85
Quadro 6 – Sub-etapas propostas para a macrofase Avaliação.....	88
Quadro 7 - Matriz de confrontação SWOT da administração do município.....	96
Quadro 8 – Informações do PSS realçadas pelos diagramas SysML.....	118
Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros.....	141
Quadro 10 - Contribuições do PSS para as metas do PLANARES.....	189
Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES.....	191
Quadro A1.1 - Trabalhos conceituais e revisões sistemáticas sobre PSS.....	223

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de preços do biodigestor.....	100
Tabela 2 – Ativos e Investimento inicial necessários – provedor PSS.....	112
Tabela 3 - Investimento inicial necessário – provedor PSS.....	162
Tabela 4 - Custo atual com o sistema de gerenciamento de lixo orgânico sólido....	163
Tabela 5 - Fluxo de caixa com VPL.....	166
Tabela 6 - Fluxo de caixa com VPL – com desconto de 10% para o município.....	169
Tabela 7 - Fluxo de caixa com VPL – sem a venda do biogás.....	185
Tabela A6.1 - Impacto das propostas de método para a condução do DSR.....	321

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

A3P		Agenda Ambiental na Administração Pública
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>	Notação e Modelo de Processos de Negócios
CAPES		Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEM	<i>Customer Experience Modeling</i>	Modelagem da Experiência do Cliente
CNM		Confederação Nacional dos Municípios
COPEL		Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CSTR	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>	Reator Perfeitamente Agitado
DSR	<i>Design Science Research</i>	Pesquisa em Ciência de Projeto
DT	<i>Design Thinking</i>	Pensamento de Designer
FNP		Frente Nacional de Prefeitos
FUNASA		Fundação Nacional de Saúde
H2S		Ácido Sulfúrico
IBGE		Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPARDES		Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPS	<i>Industrial Product Service Systems</i>	Sistemas Industriais de Produto e Serviço
ISS		Imposto Sobre Serviços
IPTU		Imposto Predial e Territorial Urbano

MBA	<i>Master in Business Administration</i>	Mestre em Administração de Negócios
MDR		Ministério do Desenvolvimento Regional
OMG	<i>Object Management Group</i>	Grupo de Gerenciamento de Objeto
PIB		Produto Interno Bruto
PMGRS		Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PPCS		Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis
PPI		Programa de Parcerias de Investimento
RMP	<i>Red mud plastic</i>	Plástico vermelho-lama
SBPSS		Service Blueprint para PSS modificado
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses Opportunities and Threats</i>	Pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças
SYSML	<i>Systems Modeling Language</i>	Linguagem de Modelagem de Sistemas
TIR		Taxa Interna de Retorno
TMA		Taxa Mínima de Atratividade
VPL		Valor Presente Líquido
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UNEP	<i>United Nations Environmental Programme</i>	Programa Ambiental das Nações Unidas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. OBJETIVOS.....	25
1.1.1. Objetivo Geral.....	25
1.1.2. Objetivos Específicos.....	25
1.2. JUSTIFICATIVA.....	25
1.3. ESCOPO DO TRABALHO.....	26
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
2.1. PSS.....	29
2.1.1. Elementos do PSS.....	31
2.1.2. Classificações de PSS.....	33
2.2. SYSML.....	38
2.2.1. Diagrama de Pacotes.....	41
2.2.2. Diagrama de Requisitos.....	41
2.2.3. Diagrama de Casos de Uso.....	41
2.2.4. Diagrama de Sequência.....	42
2.2.5. Diagrama de Atividades.....	42
2.2.6. Diagrama de Estado de Máquina.....	42
2.2.7. Diagrama de Definição de Blocos.....	43
2.2.8. Diagrama de Bloco Interno.....	44
2.2.9. Diagrama Paramétrico.....	44
2.3. BIODIGESTORES.....	45
2.3.1. Biodigestores domésticos.....	46
2.3.2. Operação e manutenção de biodigestores.....	50
3. METODOLOGIA.....	53
3.1. Linhas gerais na condução da DSR neste trabalho.....	56
3.2. Método para a condução da DSR:.....	57
3.3. Seleção do método para o desenvolvimento do artefato (PSS).....	64
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
4.1. OBSERVAÇÃO.....	91
4.2. Macrofase de Ideação.....	97

4.3.	Macrofase de Avaliação.....	159
4.4.	O PSS proposto no contexto da legislação ambiental brasileira atual.....	177
5.	CONCLUSÃO.....	201
	REFERÊNCIAS.....	205
	APÊNDICE 1 - Revisão sistemática: PSS origem e definições.....	222
	APÊNDICE 2 - Diagramas SysML: estrutura, simbologia e semântica... 	235
	APÊNDICE 3 - Origem, base conceitual e caracterização da DSR.....	302
	APÊNDICE 4 - Relevância do trabalho de Hevner et. al (2004).....	312
	APÊNDICE 5 - Alinhamento com as guias de Hevner et al. (2004).....	313
	APÊNDICE 6 - Seleção do método para a condução da DSR.....	321
	APÊNDICE 7 - Atas e listas de presença das reuniões da equipe.....	322
	APÊNDICE 8 - Questionário utilizado para a coleta de dados.....	332
	APÊNDICE 9 - Contribuições enviadas para o PLANARES.....	334

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de Produto Serviço (PSS) foi um termo cunhado por Goedkoop et al. (1999) para designar um fenômeno de mercado manifesto a partir da década de 90, quando empresas que buscavam obter um diferencial competitivo formularam modelos de negócio com propostas de valor nas quais produtos e serviços estavam totalmente integrados, formando um todo indivisível (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; BAINES et al., 2007; BEUREN; FERREIRA; MIGUEL, 2013; GOEDKOOOP et al., 1999; PARK; GEUM; LEE, 2012; SAKAO; ÖLUNDH; MATZEN, 2009).

O PSS surgiu a partir do avanço no estudo de dois domínios. A primeira foi a evolução do conceito de servitização, proposto por Vandermerve e Rada (1988) através da pesquisa de marketing em produtos e serviços, que confluiu para um paradigma no qual não há mais linha de distinção visível entre produtos e serviços (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; BAINES et al., 2007; CAVALIERI; PEZZOTTA, 2012; SAKAO; ÖLUNDH; MATZEN, 2009). A servitização refere-se ao conceito de adicionar valor às ofertas corporativas através de serviços (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016). A segunda, proveniente de pesquisadores com agendas ambientais, começou a visualizar o conceito de PSS como um meio de diminuir o impacto ambiental pelo uso da função do produto, introduzindo os conceitos de economia funcional, propostos por Stahel em 1997, e de desmaterialização. Nesta linha, foram importantes colaboradores Mont (2000, 2002), Manzini e Vezzoli (1998), entre outros (SAKAO; ÖLUNDH; MATZEN, 2009).

Goedkoop et al. (1999), definiram PSS como sendo “um conjunto de produtos e serviços comercializável capaz de, conjuntamente, suprir uma necessidade do usuário”. Mont, por sua vez, preconiza que o PSS traz como elemento intrínseco e indispensável a diminuição do impacto ambiental gerado pelo modelo de negócios tradicional, e o definiu como “um sistema de produtos, serviços, redes de suporte e infra-estrutura que é projetado para ser: competitivo, satisfazer as necessidades dos consumidores e ter um impacto ambiental menor que os modelos de negócio tradicionais” (MONT, 2002).

Contudo, a afirmação de que o PSS é mais amigável ambientalmente que os modelos de negócios tradicionais, a qual diferencia fundamentalmente as definições de Goedkoop et al e Mont, ainda permanece como uma hipótese a ser comprovada. Sakao, Ölundh e Matzen (2009) em sua revisão sistemática da literatura sobre o tema encontraram que, embora a busca por modelos de negócio que possuam menor impacto ambiental do que o modelo de venda de produtos tenha inspirado muita pesquisa na área, somente foram demonstrados ganhos ambientais incrementais. As pesquisas empíricas realizadas apresentam resultados qualitativos, não quantitativos, o que inviabiliza a mensuração. Boehm e Thomas (2013) notaram que, em todas as disciplinas analisadas, o foco tem sido em projetos conceituais, porque eles são mais fáceis de conduzir. Mas as questões de pesquisa deveriam ser adaptadas para viabilizar um mix mais balanceado de pesquisas qualitativas e quantitativas. Reim; Parida e Örtqvist (2015) encontraram que, embora a maioria dos estudos assumam como certo que a implementação do PSS conduz a benefícios ambientais, estudos recentes reconheceram que os modelos de negócio PSS em alguns casos tiveram um efeito *negativo* no ambiente, mantendo apenas benefícios econômicos.

Tukker, um dos mais proeminentes autores na área (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; QU et al., 2016), constatou que o “PSS não é a panaceia da sustentabilidade” e “não entrega sustentabilidade por definição” (TUKKER, 2015; TUKKER; TISCHNER, 2006b). Este fato foi sendo reconhecido gradualmente pela comunidade científica. Baines et al. (2007) observaram, através de uma revisão de definições de PSS propostas pela literatura, que a maioria dos autores viam o propósito do PSS como uma proposição competitiva, fazendo referência direta à satisfação do cliente e a viabilidade econômica. Muitos faziam conexão do PSS com o atingimento de metas de sustentabilidade, mas apenas Manzini, Collina e Evans (2004) viam a sustentabilidade como a última meta.

Haase, Pigosso e Mcaloone (2017), em seu trabalho de revisão das definições de PSS propostas na literatura observaram que, comparando as anteriores com as posteriores a 2010, há um decréscimo na inclusão das características de impacto ambiental e um acréscimo de características de modelos de negócios em 150%, o que sugere uma mudança de foco, de benefícios ambientais para benefícios econômicos.

Qu et al. (2016) analisaram os artigos mais influentes sobre PSS de 2001 a 2015 e identificaram que o número de trabalhos focados no projeto de PSS era muito maior que os artigos focados em avaliação na perspectiva sustentável, o que indica que o tema passou a ser protagonizado por acadêmicos com competências que abrangem as áreas de projeto de sistemas e modelos de negócio. Consolidou-se na literatura o entendimento geral de que o PSS é um modelo de negócio (ALCAYAGA; WIENER; HANSEN, 2019; ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; CAVALIERI; PEZZOTTA, 2012; GURTU, 2019; TUKKER, 2015). O PSS pode ou não trazer benefícios ambientais, devido a efeitos rebote que gera, os quais são grandemente desconhecidos (ALCAYAGA; WIENER; HANSEN, 2019; TUKKER, 2015). Portanto, não há garantia que o PSS reduzirá os impactos ambientais, a menos que seja intencionalmente projetado para isso (MICHELINI et al., 2017).

Como modelo de negócio, o PSS pode ser utilizado para atender diversas necessidades de clientes, incluindo as daqueles que precisam resolver problemas ambientais, como o do uso de agrotóxicos, e solucionar problemas relacionados ao descarte ou o tratamento adequado do lixo (GOEDKOOOP et al., 1999). Pode ser especialmente benéfico para atender consumidores que não têm condições de pagar pela propriedade dos produtos que atenderiam suas necessidades (MONT, 2000). Atualmente, o fator financeiro é um impulsionador da tomada de decisão de clientes pelo PSS, especialmente quando esses percebem que o uso de um produto pelo PSS é mais barato do que a opção de possuí-lo (BORG; MONTT e SCHOONOVER, 2020).

Nos países em desenvolvimento, o lixo orgânico do município é comumente destinado a lixões - locais nos quais os resíduos são depositados diretamente sobre o solo, a céu aberto, sem nenhuma forma de tratamento (RAMOS et al., 2017). Como consequência, ocorre a contaminação do ar e do solo e a proliferação de doenças (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013; UNNIKISHNAN; SINGH, 2010).

O Brasil possui quase 3 mil lixões, distribuídos em 1600 cidades, os quais afetam a saúde de 95 milhões de pessoas. Mais de 3 bilhões de reais são gastos, por ano, com o tratamento de pessoas que ficam doentes por consequência da contaminação da água, do solo e do ar (BLAST, 2018). Para fazer frente ao problema, o governo brasileiro aprovou a Lei 12.305/2010, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e oficializou a meta de acabar com os lixões

em 2014 (BRASIL, 2010b). Porém, a meta não foi cumprida. Em 2015, 41,3% do lixo foi descartado de maneira inapropriada, em lixões ou aterros sem qualquer espécie de tratamento (GREICE et al., 2017). Como medida paliativa, o Senado Federal aprovou o projeto de lei número 425 de 2014, prorrogando os prazos para até 2021 (BRASIL, 2014b). Posteriormente, a meta teve de ser novamente revisada. O presidente da República Jair Messias Bolsonaro sancionou a lei 14.026, em 15 de julho de 2020, estendendo o prazo até 2 de agosto de 2024, para municípios com população inferior a 50.000 habitantes no Censo de 2010 (BRASIL, 2020a).

De acordo com a determinação legal, o serviço de limpeza urbana deve ser provido pelos municípios (BRASIL, 2020b). Contudo, segundo a Confederação Nacional dos Municípios, não há caixa disponível. Seriam necessários R\$70 bilhões para que todos cumprissem a lei (BRASIL, 2014a). Cerca de 90% deles são de pequeno porte e não tem capacidade de gerar recursos para resolver os problemas de resíduos sólidos, mostrando-se financeiramente insustentáveis, dependendo de verbas dos governos federal e estadual (CMN, 2015a; GOMES; ALFINITO; MELO, 2013). Portanto, dar cumprimento às disposições da PNRS nos municípios brasileiros de pequeno porte é um grande desafio. A Confederação Nacional dos Municípios (CMN) reconhece como sendo de pequeno porte municípios com até 50.000 habitantes (CMN, 2015b).

Os municípios pequenos brasileiros não possuem orçamento suficiente para custear as soluções tradicionais disponíveis no mercado - construção de unidades de compostagem, aterros sanitários e estações de tratamento térmico (ABRELPE, 2016). Portanto, para que possam cumprir a meta da PNRS, é necessário idear e implementar soluções inovadoras para a destinação e tratamento do lixo orgânico, as quais sejam economicamente viáveis, considerando seu orçamento atual.

O estudo de soluções para a mitigação dos problemas relacionados com a destinação do lixo doméstico é uma tendência na comunidade científica; e o estudo de alternativas viáveis para convertê-lo em combustível considerando o ambiente geográfico e o cenário regulatório de cada país é uma oportunidade de pesquisa (CARVALHO; BASTCHEN; BORSATO, 2018).

Considerando a questão do gerenciamento do lixo como modelo de negócio, as pesquisas atuais abordam questões relacionadas ao retorno sobre o investimento em tecnologias comerciais de transformação do lixo em combustível ou de caracterização do mesmo para permitir uma melhor segregação e re-aproveitamento

de partes não combustíveis (ERIKSSON et al., 2014; JAGTAP; RAHIMIFARD; KINGDOM, 2017; RAABE et al., 2017; SAHIMAA et al., 2015; SHAHBAZI et al., 2016; VAN EWIJK; STEGEMANN, 2016; YAZAN, 2016). Contudo, não abordam a problemática da eventual falta de capacidade dos municípios de custear o investimento inicial necessário para a implantação das tecnologias disponíveis.

Avaliando a questão do ponto de vista das tecnologias atualmente adotadas para a resolução do problema do gerenciamento do lixo orgânico, verificou-se que elas se dividem entre a compostagem de resíduos orgânicos, os aterros sanitários e a conversão em energia, a qual pode ser realizada por processos termoquímicos, físico-químicos, bio-eletróquímicos ou bioquímicos (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018; MALINAUSKAITE et al., 2017; UNNIKRISSHANN; SINGH, 2010).

Dentre as tecnologias consideradas viáveis no Brasil, o processo bioquímico de digestão anaeróbia para a produção de biogás é a tecnologia que apresenta maior viabilidade técnica e econômica de implementação (CHATTERJEE; MAZUMDER, 2016). Considerando as barreiras atuais, associadas ao orçamento reduzido, uma alternativa à adoção da tecnologia é a instalação de pequenos biodigestores domiciliares, de custo relativamente baixo. Eles geram o biogás, que pode ser utilizado em fogões para a cocção de alimentos ou a geração de calor; e também fertilizantes líquidos e sólidos utilizáveis na agricultura. Esta estratégia já é adotada em países asiáticos, como por exemplo China e Índia, os quais somam mais de 30 milhões de sistemas instalados (ORTIZ; TERRAPON-PFA; DIENST, 2017). Também tem sido introduzida em países africanos, com o apoio de organizações não governamentais (CLEMENS et al., 2018; LWIZA et al., 2017; ORSKOV et al., 2014; SMITH; SCHROENN; BLIGNAUT, 2014).

Contudo, a experiência demonstrou que é necessário corrigir algumas deficiências na estratégia, a fim de garantir resultados perenes. O custo inicial de aquisição é, ao menos em parte, suportado pelas famílias, e é relativamente alto, considerando seu orçamento (CLEMENS et al., 2018; ORTIZ; TERRAPON-PFA; DIENST, 2017). Muitas famílias, após a aquisição, deixam de utilizar a tecnologia devido à inabilidade de reparar os biodigestores e a falta de acesso à compra de componentes roubados ou estragados (CLEMENS et al., 2018). Outra causa de abandono do sistema é a compra da propriedade por pessoas que não conhecem nem acreditam na tecnologia, ou a saída, do domicílio, das pessoas que receberam

treinamento para operar os biodigestores (CLEMENS et al., 2018; LWIZA et al., 2017).

Segundo Tukker e Tischner (2006a), produtos para os quais o PSS pode funcionar são, tipicamente, caros, tecnicamente avançados, *demandam manutenção e reparo*, fáceis de transportar, são usados infreqüentemente pelos consumidores e não são influenciados grandemente por moda, marca, etc. E o PSS pode ser uma alternativa para atender consumidores que não têm condições de pagar pela propriedade dos produtos que atenderiam suas necessidades (MONT, 2000). Assim, o uso da tecnologia dos biodigestores domésticos para abordar o problema atual dos municípios pequenos do Brasil se afigura um cenário de possível viabilidade para o PSS.

Um desafio crucial do projeto de um sistema PSS é o desenvolver um modelo no qual a oferta de valor atenda as necessidades do consumidor e seja, ao mesmo tempo, viável economicamente para o provedor. Neely (2008) realizou uma meta-análise dos modelos de PSS aplicados em 10.000 empresas inclusas no banco de dados OSIRIS, e encontrou que as indústrias servitizadas são maiores do que as orientadas a produtos, mas tem menores margens de lucro. Ele também constatou que um número maior que a média foi à falência, sugerindo que a servitização não ocorre sem riscos. Na mesma linha, uma pesquisa da Bain and Co's revelou que somente 21% das empresas amostradas tiveram sucesso real com sua estratégia de serviços (CAVALIERI; PEZZOTA, 2012). Quando aumentando suas ofertas de serviços, elas algumas vezes incorrem em maiores custos e eventualmente não atingem os resultados esperados (CAVALIERI; PEZZOTA, 2012). E Bankole et al. (2011) consideram que o PSS é uma oferta competitiva e estável se é acessível do ponto de vista do consumidor (ele pode pagar) e lucrativa do ponto de vista do fabricante, (além de sustentável).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo responder a seguinte pergunta de pesquisa: “um PSS para solucionar o problema de destinação do lixo doméstico orgânico pelo uso de biodigestores por um pequeno município brasileiro seria competitivo e estável?”.

Para o desenvolvimento do escopo foi selecionado um município representativo do cenário dos pequenos municípios brasileiros. No Brasil, o maior custo associado ao gerenciamento do lixo é o transporte, e 83,4% dos domicílios

são atendidos por coleta direta (IBGE, 2015; IFC, 2015). Considerando esta realidade, foi escolhido um município cuja dispersão geográfica dos domicílios, e consequentes custos com transporte relacionados a coleta de lixo orgânico, fossem mais desfavoráveis à proposta do que o cenário da maioria dos pequenos municípios brasileiros. Assim, caso a proposta se mostrasse economicamente viável no seu cenário, isso seria um indicativo de viabilidade econômica para municípios com cenário mais favorável. Utilizando-se este critério, selecionou-se, a partir da análise dos parâmetros de todos os pequenos municípios brasileiros pelos dados do IBGE (IBGE, 2017), o município de Porto Amazonas, cuja densidade populacional é superior à de 52% dos municípios brasileiros e área territorial é inferior à de 78% dos municípios. A eventual comprovação de viabilidade econômica neste município seria um indicativo de viabilidade econômica potencial para municípios brasileiros contidos na interseção de dois grupos: 52% com menor densidade populacional e 78% com maior área territorial.

Foi projetado um PSS para atender sua necessidade de cumprir com a PNRS, processando o lixo orgânico gerado de forma a atender a legislação, seguindo-se as linhas gerais propostas por Hevner et al. (2004) e o método proposto por Peffers et al. (2007). O PSS foi representado usando-se a Systems Modeling Language (SysML). Foi realizada a análise quanto ao cumprimento da PNRS pela função entregue pelo PSS, como proposto por Hevner et al. (2004), Lacerda et al. (2013) e Dresch, Lacerda e Miguel (2015). Também foi realizada a avaliação quanto a acessibilidade para o cliente (se o cliente pode pagar) e a lucratividade para o provedor pelos métodos do Valor Presente Líquido e da Simulação de Monte Carlo, como proposto por Goedkoop et al. (1999), seguindo a orientação de Hevner et al. (2004) e Lacerda et al. (2013).

Uma das áreas de interesse de pesquisa do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM - Mestrado da UTFPR é a manufatura sustentável. A meta é contribuir para a transformação das cadeias de fornecimento em cadeias de valor, o que inclui propostas de fechamento de ciclo de produtos objetivando seu reaproveitamento total.

Para seu cumprimento, foi implantado o Programa de Manufatura Sustentável, através de pacotes de pesquisa ligados as principais demandas identificadas. O escopo do programa está representado por 5 demandas e seus respectivos desafios. Dentre elas, a demanda 2 do mesmo é “otimizar a geração e

praticar o reaproveitamento de resíduos” (“loop-closing”). Ela inclui o desafio de “prospectar e analisar a viabilidade do reaproveitamento de resíduos, água e energia”. O objetivo deste trabalho alinha-se com esta demanda do programa.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral é propor e especificar um PSS que possibilite aos pequenos municípios brasileiros destinar o lixo orgânico produzido em seu território, atendendo as exigências da PNRS, usando seu orçamento atualmente disponível, e avaliar sua viabilidade econômica para o provedor.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho, os quais permitirão atingir-se o objetivo geral, são:

- (i) Determinar o método de projeto a ser aplicado para o desenvolvimento do PSS;
- (ii) Projetar o PSS e especificá-lo através de um conjunto de representações que seja consistente e ao mesmo tempo permita a visualização e o entendimento do seu todo, pelo leitor;
- (iii) Avaliar o PSS em um município representativo do cenário brasileiro, pelos critérios de atendimento das exigências da PNRS pelo município (ponto de vista funcional) e de lucratividade para o provedor (pontos de vista da teoria econômica).

1.2. JUSTIFICATIVA

O PSS é uma proposta que poderia atender as necessidades de prover a função desejada pelos municípios (destinação do lixo orgânico segundo as normas da PNRS), a um custo acessível, considerando o seu orçamento, sendo que o modelo tem o potencial de ser viável para o provedor. Ele também supre a lacuna identificada nas soluções identificadas na literatura (CLEMENS et al., 2018; LWIZA et al., 2017; ORTIZ; TERRAPON-PFA; DIENST, 2017). Elas propõem um modelo de venda de biodigestores, que se tornam inoperantes durante a fase de uso, por falta de treinamento dos usuários e de manutenção adequada. O PSS inclui a entrega de um mix de serviços com o propósito de garantir que o biodigestor permaneça na condição operacional durante todo o período de uso. Uma vez que o PSS responda a questão de pesquisa, entrega também uma contribuição ao arcabouço científico, conforme a visão de Gregor e Hevner (2013), como uma solução nova para um problema conhecido: a solução prescritiva que resolve o problema supracitado para a situação de avaliação considerada (município de Porto Amazonas), sendo passível de generalização mediante avaliação posterior em outros cenários.

1.3. ESCOPO DO TRABALHO

Considerando a complexidade deste projeto, faz-se necessário estabelecer uma clara delimitação do seu escopo, a fim de se poder compreender adequadamente quais serão suas entregas efetivas. O presente trabalho enfoca a solução do problema de gerenciamento dos resíduos orgânicos domiciliares, excluindo os de limpeza urbana. As definições adotadas para caracterizar o “lixo orgânico domiciliar” e o de limpeza urbana seguem a interpretação da PNRS (BRASIL, 2010a). Caracteriza-se como *lixo orgânico domiciliar* não somente os resíduos orgânicos produzidos pelas residências, mas também aqueles gerados nos estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, nos casos em que o poder público municipal os tenha caracterizado como não perigosos, equiparando-os, em razão da sua natureza, composição ou volume, aos resíduos domiciliares (BRASIL, 2010a). Entende-se por *resíduos de limpeza urbana* os provenientes da varrição e

limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010a). O escopo desta pesquisa também não contempla a proposição de soluções para a destinação de resíduos recicláveis, o qual constitui outra linha de pesquisa.

Posto que a implementação do PSS exigira vultuosos custos, o trabalho se limita ao projeto da solução e a estimativa da sua viabilidade, não abrangendo a etapa de implementação.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente tese está estruturada em cinco capítulos. O capítulo 1 contém a introdução, apresentando a problematização dos pequenos municípios na temática da correta destinação dos resíduos sólidos orgânicos de acordo com as disposições da PNRS, e informa os objetivos, geral e específico, e a justificativa da pesquisa. O capítulo 2 apresenta um mapeamento do conhecimento científico produzido sobre PSS, seguido de uma revisão teórica das suas origens, das definições primárias propostas, da análise das suas divergências, das diferenças de compreensão do seu significado e do consequente posicionamento dos pesquisadores; uma análise da consistência das afirmações das definições propostas na literatura e o posicionamento do pesquisador quanto a qual definição será adotada no presente trabalho, acompanhada da justificativa da escolha. O capítulo ainda apresenta os elementos constituintes do PSS e as classificações dos modelos de negócio de PSS reconhecidas na literatura. Segue com uma breve exposição histórica e dos conceitos teóricos essenciais da linguagem SysML, usada para a representação do sistema, e finaliza com uma explanação dos conceitos relacionados a tecnologia de digestão anaeróbia para o processamento do lixo orgânico, utilizada pelos biodigestores, e as configurações mais populares dos biodigestores domésticos. O capítulo 3 apresenta a metodologia adotada na pesquisa e a fundamentação da sua escolha. Discorre também sobre as metodologias existentes para o projeto de PSS; o critério adotado para a seleção de propostas da literatura e a construção da metodologia usada para o projeto do PSS objeto desta tese; e os argumentos que fundamentaram sua escolha. No capítulo 4 é apresentada a construção do PSS

utilizando-se a metodologia mostrada no capítulo 3, e também a avaliação e a análise do PSS projetado, comparando a solução a que se chegou com as soluções anteriores encontradas na literatura. Adicionalmente, o capítulo apresenta a análise de viabilidade econômica para o município e para o provedor, e finaliza com uma discussão sobre o potencial de uso dos resultados entregues pela solução proposta para a realização dos planos municipais de gerenciamento de resíduos sólidos, pelos municípios, e da influência da aplicação da solução proposta, considerando os indicadores de avaliação da gestão de resíduos sólidos pelos municípios definidos no plano de ação subsidiário da PNRS. Finalmente, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas a partir dos resultados encontrados e realizadas sugestões para o avanço da pesquisa em trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresentam-se conceitos teóricos essenciais à compreensão deste trabalho. Para tanto, apresenta-se primeiramente um mapeamento do conhecimento científico produzido sobre PSS, seguido do detalhamento de aspectos necessários ao entendimento da evolução da compreensão da comunidade acadêmica sobre o significado e os reais benefícios entregues pelo PSS. Também apresenta seus elementos constituintes e as classificações dos modelos de negócio de PSS reconhecidas na literatura. Em seguida, introduz a SysML (Systems Modeling Language), uma linguagem de arquitetura de modelagem de propósito geral para a aplicação em engenharia de sistemas criada como fruto do projeto SysML Open Source Specification project, conduzido pelo grupo denominado Object Management Group (OMG), patrocinado pela SysML partners, a qual é atualmente usada no ambiente de indústrias como linguagem padrão para a modelagem de sistemas (SYSML, 2020). São apresentados os diagramas contidos na SysML, seu propósito e uso. Finalmente, apresenta os biodigestores, explicando conceitos gerais sobre suas características construtivas, seu funcionamento, sua operação e sua manutenção.

2.1. PSS

Um grande número de grupos de pesquisa, estabelecidos em contextos variados e com distintas áreas de foco, atribuem diferentes significados para o PSS, motivados por fatores econômicos ou ambientais. Os autores também divergem quanto a definição do PSS (SAKAO; ÖLUNDH; MATZEN, 2009). A literatura provê dezenas de definições primárias diferentes, e não há, ainda, consenso sobre a matéria (HAASE; PIGOSSO; MCALOONE, 2017). Como exemplo, cita-se que, para alguns grupos de pesquisadores, sustentabilidade é uma parte central do PSS, a tal ponto que uma solução não possa ser considerada um PSS a menos que seja mais sustentável do que a convencional; enquanto que, para outros, ela é um benefício

possível, mas não um elemento necessário para que o sistema seja um PSS (HAASE; PIGOSSO; MCALOONE, 2017).

Considerando este cenário de vertentes não coincidentes, a tarefa de apresentar uma fundamentação teórica que possa ser considerada consistente pela comunidade científica em geral exige uma pesquisa mais aprofundada da literatura, a qual envolve o mapeamento do campo do conhecimento do PSS. Esse demanda uma revisão da literatura existente, seguida da análise, numa abordagem pragmática, da consistência dos fatos e conceitos que deram origem às diferentes definições. Somente após a mesma é possível se posicionar, de forma devidamente justificada, quanto a qual das definições adotar. A definição escolhida servirá de premissa base, fundamental para a construção do PSS coerente com o arcabouço científico.

A revisão sistemática da literatura que conduziu o pesquisador em seu posicionamento quando a definição e o significado de PSS encontra-se no Apêndice 1 desta tese. Baseado nesta revisão o pesquisador adotou como definição de PSS aquela proposta por Goedkoop et. al (1999):

“É um conjunto de produtos e serviços comercializável capaz de, conjuntamente, suprir uma necessidade do usuário. O percentual de produtos / serviços pode variar, com respeito ao cumprimento da função ou o valor econômico, ao longo do tempo. Serviços oferecidos de forma gratuita com o propósito de melhorar a imagem da marca ou fidelizar o cliente não caracterizam um PSS.” (GOEDKOOOP et. al, 1999).

Também baseando-se na revisão sistemática realizada, o autor adota o entendimento atualmente consolidado na literatura, quando ao significado atribuído ao PSS, de que o PSS é um *modelo de negócio envolvendo um sistema de produtos e serviços voltado a atender as necessidades dos clientes, o qual não necessariamente gera um impacto ambiental menor do que o modelo tradicional*. Contudo, nada impede que seja proposto para resolver um problema ambiental, gerando valor para o cliente e benefícios econômicos para o provedor, o que já ocorria desde a década de 90, como no caso da empresa Koppert, cujo escopo do

PSS era auxiliar os agricultores a produzir utilizando nada ou o mínimo necessário de agrotóxicos (GOEDKOOOP et al., 1999).

2.1.1. Elementos do PSS

A base teórica proposta para a sistematização do PSS por Goedkoop et al. (1999) e Mont (2000), é assentada em uma conclusão obtida a partir da reflexão sobre a estrutura e os mecanismos da economia, de que o crescimento econômico é o resultado dos sempre crescentes fluxos de produtos e dinheiro entre o governo e os produtores e o governo e os consumidores, aumentando a carga ambiental.

Os autores propõem o PSS como uma solução para desconectar a pressão ambiental do crescimento econômico, a partir do postulado de que o crescimento econômico é ligado a criação de valor percebida, e não necessariamente com o fluxo de bens e capital circulantes na economia. Fundamentam-se no conceito de economia funcional, baseados na ideia de que a função, e não o produto em si, é a base para a satisfação do cliente. O objetivo da economia funcional é criar o máximo valor pelo maior tempo possível enquanto consumindo a menor quantidade possível de materiais e energia.

Os referidos autores propõem a solução de *desmaterializar* a economia, aumentando o valor percebido de todas as transações sem aumentar a carga ambiental de produtos envolvidos, mudando de uma economia baseada na produção de produtos físicos para outra baseada em serviços. Neste contexto, a “desmaterialização” é entendida como sendo o mudar a forma de atender a função desejada pelo cliente de modo que os fluxos de materiais e energia para atendê-la são significativamente reduzidos. Isso implica, por exemplo, em não oferecer a propriedade do produto, mas o seu uso. O provedor mantém a posse do produto e assume o ônus da sua manutenção, dos transportes e dos riscos associados durante a etapa do seu uso, os quais são cobertos por compensações financeiras (REIM; PARIDA; ORQZIST, 2015).

Para Baines et al. (2007), o PSS é fruto da confluência de duas tendências: servitização e produtização. Servitização, é a evolução da identidade de produto baseada no seu conteúdo material para outra onde o componente material é inseparável do sistema de serviço. Produtização é a evolução do componente de serviços para incluir um produto ou um novo componente de serviço comercializado como um produto. Um exemplo de produtização é o caso da empresa Case Study Buddy. Ela oferece para empresas um serviço de construir relatórios de casos de uso de sucesso, dos produtos ou serviços ofertados, os quais serão utilizados para promovê-los junto a clientes potenciais. Como parte de sua estratégia de vendas, ela formatou diversos “pacotes de serviço” com todas as entregas claramente discriminadas, que podem ser comprados separadamente (CASE STUDY BUDDY, 2021).

A convergência de ambos é a consideração do produto e do serviço em uma oferta única: um PSS. A pesquisa de marketing em produtos e serviços confluiu para um paradigma no qual não há mais uma distinção visível entre produtos e serviços, desaguando em soluções como o PSS (SAKAO; OLUNDH; MATZEN, 2009). Em PSS, produtos e serviços estão tão organicamente integrados que não podem ser separados. São projetados para serem totalmente conectados, não simplesmente empacotados (MONT, 2000). Por isso, usa-se o termo *sistema*. O conceito de “sistema” significa que muitos pesquisadores não vêem o PSS como produtos e serviços agregados, mas constituem uma oferta na qual as fronteiras entre os componentes físicos e intangíveis são borradas (MEIER; RAJKUMAR; SELIGER, 2010; TUKKER, 2004).

Para Goedkoop et al. (1999) um *sistema* “é uma coleção de elementos incluindo suas relações”, enquanto que para Mont (2000), é “qualquer arranjo de coisas formando um todo regular e conectado”. Cavalieri e Pezzota (2012) apresentam uma definição mais específica. Para eles, um *sistema* pode ser definido como uma coleção de entidades interdependentes reais ou abstratas, tangíveis ou intangíveis, cuja inter-relação forma o PSS como um todo. Estas entidades podem ser hardware, software, pessoas, estruturas e procedimentos - organizadas como um todo para cumprir um conjunto de metas comuns. Ou seja, um “sistema” compreende a rede de atores participantes, a qual inclui: o provedor, o cliente, os

fornecedores, os provedores de serviço e os demais participantes do cenário no qual se desenrola o modelo de negócio; a infra-estrutura associada; e os produtos envolvidos.

O PSS pode ser provido por uma ou mais empresas. Tonelli, Taticchi e Starnini Sue (2009) apresentaram o caso de uma empresa italiana fornecedora de kits cirúrgicos a qual considerou lançar um PSS agregando serviços de coleta dos materiais utilizados, os quais seriam realizados por um fornecedor parceiro selecionado no mercado, devido ao fato de a empresa não possuir competência interna para realizar os novos serviços que integrariam a oferta.

O PSS pode incluir produtos e serviços adicionais; pode incluir um serviço com a adição de um produto ou ambos podem ser igualmente importantes no cumprimento da função. A necessidade e os objetivos do projetista determinam o nível de hierarquias, fronteiras do sistema e as relações entre os elementos do sistema (GOEDKOOOP et al. 1999).

No PSS, o sistema é projetado para cumprir uma função que atende a necessidade do cliente gerando valor. Para facilitar a tarefa de projeto, a função é normalmente desdobrada em uma unidade, denominada *unidade funcional*. Goedkoop et al. (1999) definem unidade funcional como “uma quantidade padronizada de uma função mensurável cumprida tanto pelo sistema PSS quanto pelo de referência” (atual). É um elemento chave durante a análise econômica e ambiental do sistema. Para Mont (2000), a unidade funcional depende das preferências, dos valores e das qualidades percebidas pelos consumidores e sempre deve ser definida num projeto de PSS. Segundo a norma ISO 14040, deve ter uma definição clara, se possível ser quantitativa, e ser a mesma para todos os PSS's que cumpram a mesma função (ex.: energia para refrigeração) (MONT, 2000).

Outro elemento essencial no PSS é a cadeia de criação de valor, a qual merece consideração especial na etapa de projeto. Para Goedkoop et al. (1999), uma cadeia de valor é um conjunto de atividades econômicas mutuamente conectadas que serve conjuntamente as necessidades dos usuários.

2.1.2. Classificações de PSS

Goedkoop et al. (1999) propuseram uma classificação dos PSS pelo seu processo de criação, de acordo com a relação de participação do produto / serviço no resultado (lucro) ou custos. Mont (2000) propôs a divisão em duas categorias: orientado a resultados e orientado ao uso; sendo que esta segunda é subdividida em uso individual e conjunto. Outros autores também propuseram classificações de PSS; contudo a comunidade científica reconheceu e adotou a proposta de Tukker (2004) como padrão, admitindo que seu trabalho teve um impacto significativo no progresso deste tópico de pesquisa (SAKAO; OLUNDH; MATZEN, 2009; PARK; GEUM; LEE, 2012; BEUREN; FERREIRA; MIGUEL, 2013; BOEHM; THOMAS, 2013; REIM; PARIDA; ORQVIST, 2015; ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016).

Tukker dividiu as diferentes propostas de PSS existentes em 8 subdivisões, e as agrupou em 3 categorias de modelos de negócios - PSS orientado a produtos, PSS orientado ao uso e PSS orientado a resultados, conforme segue no Quadro 1:

Quadro 1 - Categorias e subdivisões de PSS

Categoria	Subdivisão	Exemplo
<i>PSS orientado a produtos</i>	1. Serviços relacionados a produtos.	Contrato de manutenção; esquema de financiamento, contrato de devolução do equipamento, etc.
	2. Aconselhamento e consultoria.	Contrato de softwares de ERP.
<i>PSS orientado ao uso</i>	3. Locação de produtos.	Aluguel de veículos.
	4. Compartilhamento de produtos (locação com acesso coletivo ao produto).	Locação de software de uso coletivo.
	5. Locação com uso simultâneo do produto por vários usuários.	Locação de softwares – pacote Adobe.
<i>PSS orientado a resultados</i>	6. Gerenciamento / terceirização de atividade.	Serviços de limpeza.
	7. Pagamento por unidade de serviço.	Contratos de pagamento por impressão.
	8. Por resultado funcional.	Pagamento por percentual máximo de perda na colheita (fornecedores de produtos químicos).

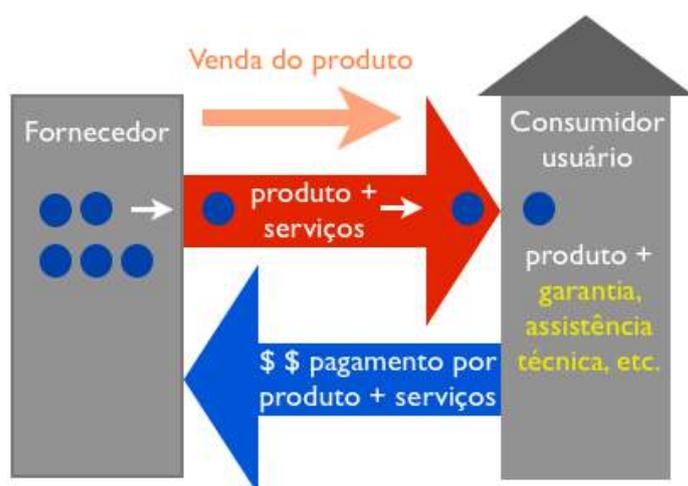
Fonte: Adaptado de Tukker (2004).

Na literatura, normalmente são citadas as três categorias (não as subdivisões): PSS orientados a produtos, PSS orientado ao uso e PSS orientado a resultados. O modelo de negócio correspondente a cada uma delas é explicado a seguir.

PSS orientado a produtos. Neste modelo, o produto é promovido e comercializado da forma tradicional (venda de produto). Nele, ocorre a transferência da sua propriedade para o adquirente. Contudo, no ato da venda, são inclusos serviços para garantir sua funcionalidade e durabilidade, como garantia e assistência

técnica ao usuário (TUKKER, 2004). O modelo de negócio é ilustrado pelo esquema da Figura 1:

Figura 1 - Modelo de negócios – PSS orientado a produtos

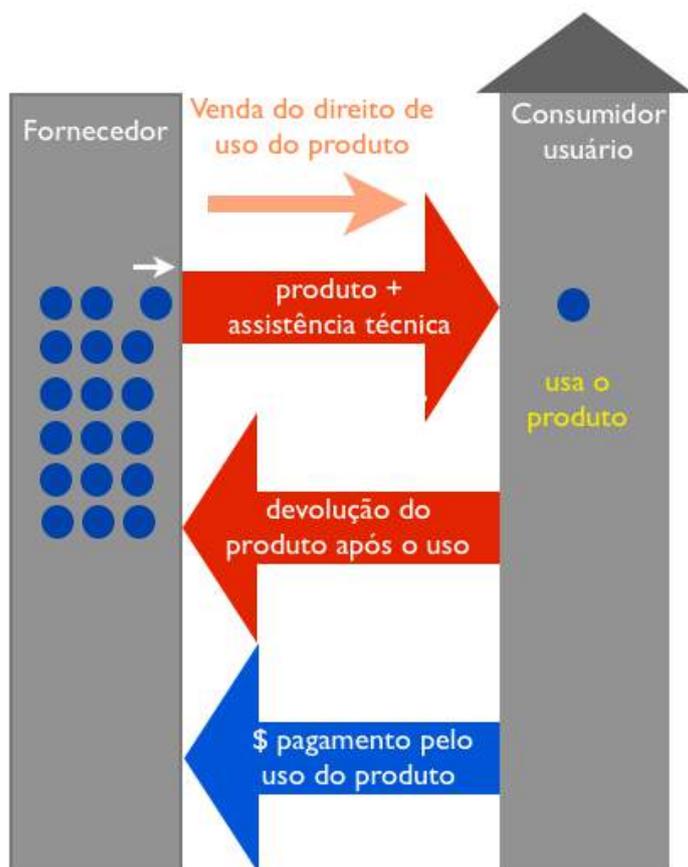


Fonte: Construído a partir de Tukker (2004).

Um exemplo deste modelo de negócio é citado por Toneli, Taticchi e Starnini, (2009), que conduziram um estudo de caso de um provedor de equipamentos hospitalares que provia o serviço de retirada dos seus equipamentos após o uso, para o propósito de reciclagem ou descarte. E a empresa era remunerada por este serviço.

PSS orientado ao uso. Neste modelo o provedor não vende o produto, mas o disponibiliza por meio de contratos de locação ou leasing. Nele, a propriedade do produto não é transferida para o consumidor, e os riscos e responsabilidades do provedor são maiores do que no modelo orientado a produtos (REIM; PARIDA; ORQVIST, 2015). O cliente paga para poder usar o produto por uma fração determinada de tempo, rodagem ou outra unidade de medida utilizada no modelo de negócio (TUKKER, 2004). O modelo é ilustrado pelo esquema da Figura 2:

Figura 2 - Modelo de negócios – PSS orientado ao uso

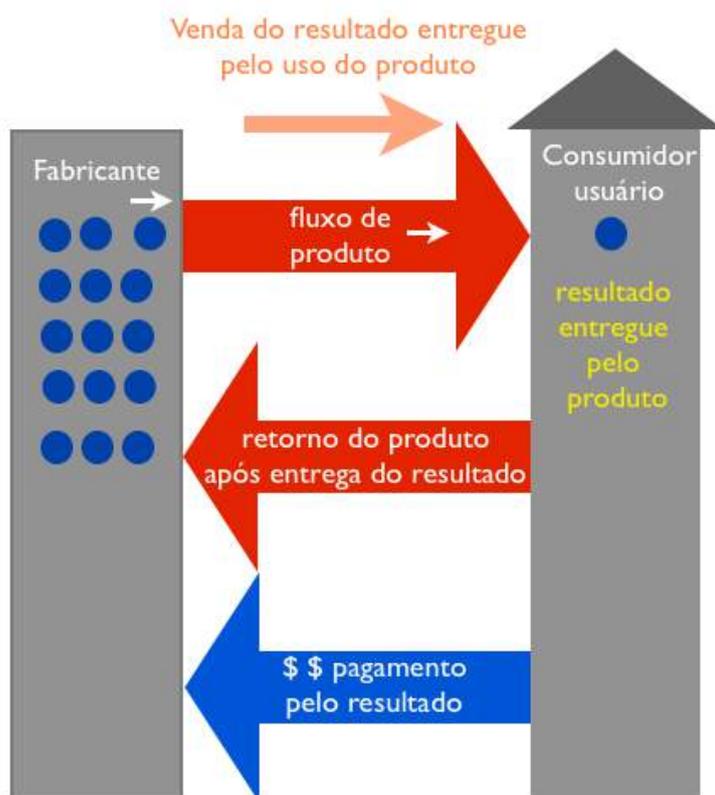


Fonte: Construído a partir de Tukker, (2004).

Sundin, Ohrwall e Sakao, (2010) apresentaram um caso representativo desta categoria, onde o provedor ofertava a locação de empilhadeiras por prazo longo, retendo a propriedade das mesmas bem como a responsabilidade pelo uso.

PSS orientado a resultados. Neste modelo, é vendido um resultado, não um produto ou serviço específicos (REIM; PARIDA; ORQVIST, 2015). O cliente paga, não pelo tempo ou outra fração quantificável de uso do produto, mas sim pela quantidade de resultado entregue pelo seu uso (TUKKER, 2004). Tal como no PSS orientado ao uso, também não há a transferência da propriedade do produto. Ele permanece sendo do provedor. O modelo é ilustrado pelo esquema da Figura 3.

Figura 3 - Modelo de negócios – PSS orientado a resultados



Fonte: Construído a partir de Tukker, (2004)

A figura 3 ilustra uma das variantes do PSS voltado a resultados, na qual o fluxo de produto ocorre do provedor – o fabricante, para o usuário, permanecendo em seu estabelecimento até a efetiva entrega do resultado contratado. Em seguida, o produto retorna para o provedor.

Um exemplo dum PSS orientado a resultados é o dos fabricantes de copiadoras Xerox e Canon, com os programas de pagamento por cópia tirada em suas máquinas (BAINES et al., 2007). Para o cliente, é melhor ter a garantia de que a máquina sempre funcionará do que ter a propriedade de um produto que dá muita manutenção e se tornará obsoleto em poucos anos.

Até aqui vimos a conceituação teórica do PSS. A fim de compreender melhor o presente trabalho, faz-se necessário também conhecer a linguagem SysML, a qual é usada também para a representação de sistemas construídos. Seu conceito, seus diagramas constituintes, seu uso e suas interpretação serão apresentados na sub-seção 2.2.

2.2. SYSML

A Systems Modeling Language (SysML) é uma linguagem de arquitetura de modelagem de propósito geral que suporta a análise, projeto, verificação e validação de um amplo espectro de sistemas e de sistemas de sistemas. Estes sistemas podem incluir hardware, software, informação, processos, pessoas e instalações. (SYSML, 2020).

A linguagem foi desenvolvida originalmente para o uso em aplicações de engenharia de sistemas pela SysML Partners, uma associação informal de especialistas em engenharia de sistemas e modelagem de software, em 2003. Posteriormente ela foi adaptada e adotada pelo Object Management Group (OMG) em 2006, sendo doravante denominada “OMG SysML”. Seu uso se popularizou mais na Europa e nos Estados Unidos, mas também tem sido objetivo de interesse de alguns pesquisadores na Ásia (WOLNY et. al, 2019).

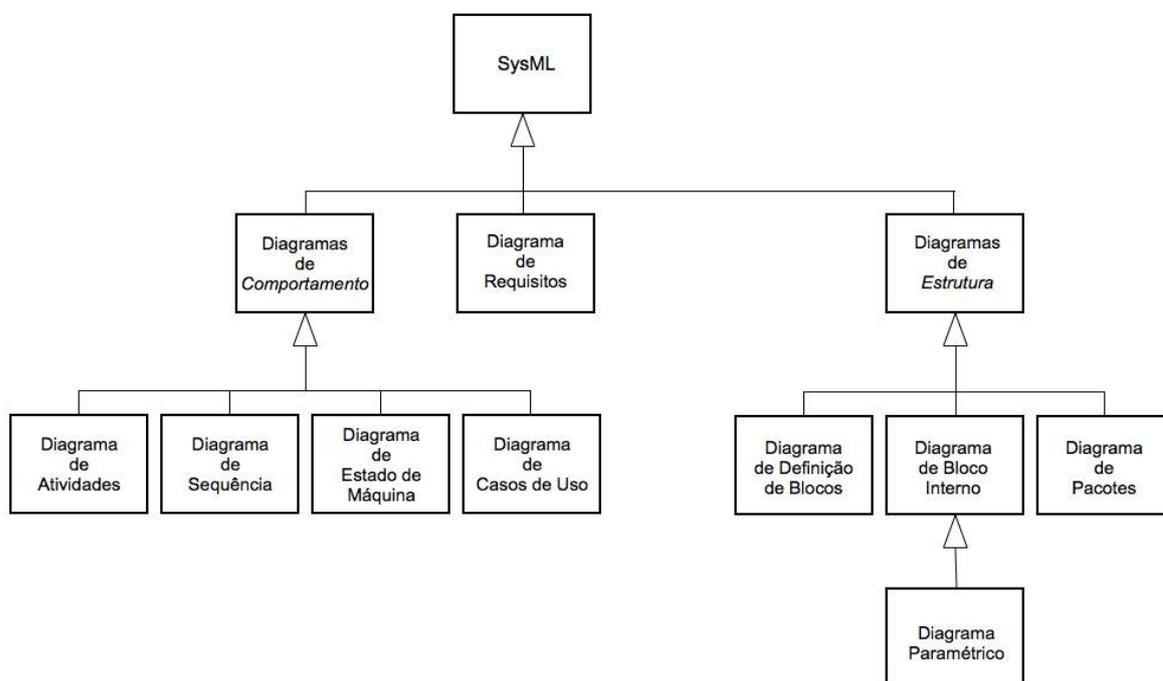
A SysML é uma extensão da linguagem Unified Modeling Language v.2 (UML 2), padrão para sistemas de modelagem da OMG, que provê uma linguagem de modelagem gráfica para o projeto de sistemas complexos (WOLNY et al. 2019). É considerada um dialeto da UML 2 para aplicações de engenharia de sistemas, o qual customiza a linguagem via três mecanismos: Estereótipos, Valores Marcados e Restrições (SYSML, 2020). Suas raízes remontam a versão original da UML (UML 1.1), a qual é considerada também uma ancestral comum da linguagem Business Process Model and Notation (BPMN), uma linguagem bastante conhecida e utilizada para a modelagem de processos de negócio (SYSML, 2020).

Segundo Wolny et al. (2019), a SysML é frequentemente utilizada para possibilitar um melhor entendimento do sistema, melhorando a interoperabilidade, e para permitir uma visualização detalhada e compreensível do mesmo. Os modelos SysML geralmente são usados como base para a descrição estrutural e comportamental dos sistemas. Sua formalização permite a construção de diagramas para a verificação e validação do projeto.

A SysML contém 9 diagramas, assim denominados: Diagrama de Pacotes, Diagrama de Requisitos, Diagrama de Casos de Uso, Diagrama de Sequência,

Diagrama de Atividades, Diagrama de Estados, Diagrama de Blocos, Diagrama de Bloco Interno e Diagrama Paramétrico (WOLNY et al, 2019; SYSML, 2020). Devidamente organizados, apresentam um sistema pela soma de diferentes perspectivas do mesmo, concedendo aos diferentes atores que interagem dentro e com ele uma visão útil do todo, o qual normalmente é abstrato (SYSML, 2020). A figura 4 apresenta a organização dos diagramas da SysML em categorias e as relações entre eles.

Figura 4 - Organização dos diagramas SysML em categorias.



Fonte: Delligatti, (2014).

Os diagramas da SysML são divididos em três grandes categorias, como apresentadas na figura 4: de “comportamento”, de “requisitos” e de “estrutura”, cujos nomes são auto-explicativos. Os diagramas de Atividades, Sequência, de Estado de Máquina e de Casos de Uso são tipos de diagramas que, somados, permitem mostrar o comportamento do sistema quando em funcionamento. Os diagramas de Definição de Blocos, de Blocos Internos, de Pacotes e Paramétrico somam-se para entregar uma visão da estrutura do sistema. Já o diagrama de requisitos é uma categoria única, porém necessária, posto que permite aos atores visualizarem os requisitos e as restrições condicionantes do sistema (DELLIGATTI, 2014).

A seguir, nesta seção, será apresentado um breve sumário sobre o propósito a função de cada um dos diagramas, para permitir a compreensão da sua contribuição para a construção da representação do sistema como um todo. Cada um dos 9 diagramas da SysML possui simbologia e semântica próprias. Por esta razão, a

explicação das mesmas nesta seção a tornaria muito extensa. Por melhor didática e para otimizar o tempo do leitor que já conhece os diagramas da SysML, as informações mais detalhadas sobre a estrutura e a notação de cada diagrama, incluindo a simbologia e respectiva semântica essenciais para a compreensão desta tese, foram alocadas no apêndice 2.

2.2.1. Diagrama de Pacotes

É usado para mostrar a forma na qual o modelo do sistema é organizado. Apresenta-se na forma de pacotes contidos hierarquicamente (semelhante a diretórios de pastas de arquivos no computador). Um diagrama de pacotes pode também mostrar os elementos de modelagem que o pacote contém, as dependências entre os pacotes e os elementos modelados neles contidos (DELLIGATTI, 2014).

2.2.2. Diagrama de Requisitos

Este diagrama apresenta as condições que o sistema deve satisfazer (SYSML, 2020). Possibilita mostrar os requisitos baseados em texto, as relações entre os requisitos e os relacionamentos entre os requisitos e outros elementos modelados que os satisfazem, verificam e refinam (DELLIGATTI, 2014).

2.2.3. Diagrama de Casos de Uso

O diagrama de casos de uso permite mostrar os casos de uso que o sistema se propõe a atender, bem como os atores que os invocam e deles participam. Um diagrama de casos de uso é uma espécie de visão de “caixa preta” dos serviços que um sistema entrega em colaboração com os seus atores (DELLIGATTI, 2014).

O propósito do diagrama é prover uma visão de alto nível do sistema e apresentar os requisitos de nível mais alto em termos não técnicos para todos os atores, incluindo os clientes e os gerentes de projeto, os arquitetos e os engenheiros (SYSML, 2020). Eles possibilitam demonstrar vários tipos de elementos e

relacionamentos para expressar as informações e os serviços que o sistema provê e os atores que requerem estes serviços (DELLIGATTI, 2014).

2.2.4. Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência é usado para especificar um comportamento, mostrando como as partes de um bloco do mesmo interagem entre elas para entregar o serviço, por meio de chamadas de operação e sinais assíncronos (DELLIGATTI, 2014). Mostra interações entre objetos ou serviços realizadas por meio de sequências de mensagens trocadas, coordenadas com os eventos correspondentes (SYSML, 2020). Diagramas de sequência são comumente usados como ferramentas de detalhamento de projeto e para especificar casos de teste (DELLIGATTI, 2014).

2.2.5. Diagrama de Atividades

É usado para especificar comportamentos dinâmicos do sistema que satisfazem os Requisitos Funcionais usando os fluxos de Controle e Objeto (SYSML, 2020). Apresenta o comportamento do sistema com foco no fluxo de controle e na transformação de entradas em saídas através de uma sequência de ações. Permite representar fluxos de matéria, de energia e de dados através de uma atividade, bem como dirigir a execução da mesma. Também permite alocar os comportamentos do sistema às suas estruturas.

Diagramas de atividade são comumente utilizados para apresentar aos atores envolvidos, numa linguagem de mais alto nível, como se desdobra o comportamento do sistema, e para comunicar a outros membros da equipe o comportamento esperado das partes internas. (DELLIGATTI, 2014). Seu objetivo é especificar comportamentos dinâmicos (sequências de eventos no tempo) que satisfazem os Requisitos Funcionais do sistema (DELLIGATTI, 2014; SYSML, 2020).

Os diagramas de atividades também podem servir de especificações gráficas de casos de uso para apoiar descrições em texto informal, sendo, neste caso, usados em paralelo com os diagramas de casos de uso (DELLIGATTI, 2014).

2.2.6. Diagrama de Estado de Máquina

O diagrama de estado de máquina é usado para mostrar um conjunto de estados que um bloco do sistema pode assumir em resposta a ocorrência de eventos. No contexto do diagrama, um estado representa uma condição ou situação, ao longo da vida de um objeto, durante a qual ele satisfaz uma condição, realiza alguma atividade ou espera por outra (SYSML, 2020). Como o diagrama de sequência, ele é uma especificação precisa do comportamento do bloco (DELLIGATTI, 2014). Seu propósito é especificar comportamentos dinâmicos do sistema para objetos cujo tempo, missão, segurança ou finanças sejam críticos (SYSML, 2020).

Esse diagrama foca a atenção no *como* a estrutura dentro de um sistema muda de estado em resposta a ocorrências de eventos no decorrer do tempo. Constitui-se numa especificação precisa e não ambígua de comportamento. Pode ser usado para descrever o comportamento em qualquer nível hierárquico do sistema. Contudo, seu uso é limitado a descrever o comportamento de blocos em resposta a ocorrências de evento. (DELLIGATTI, 2014).

2.2.7. Diagrama de Definição de Blocos

É um diagrama estrutural estático que mostra os componentes do sistema, os seus conteúdos, as suas interfaces e os seus relacionamentos (SYSML, 2020). É usado para mostrar elementos tais como blocos e tipos de valores (elementos que definem os “tipos de coisas” que podem existir num sistema) e os relacionamentos entre eles. São comumente usados para mostrar árvores hierárquicas e de classificação dos sistemas (DELLIGATTI, 2014). Seu propósito é especificar estruturas estáticas do sistema que podem ser usadas para controle, armazenamento de dados e interfaces. O diagrama de blocos pode ser criado em conjunto com outros diagramas SysML para prover uma visão complementar de algum aspecto do sistema (SYSML, 2020).

Um bloco representa um componente do sistema, uma unidade modular estrutural que encapsula seus componentes (propriedades, comportamentos e restrições) e suporta interfaces. Blocos podem especificar software, hardware, componentes mecânicos, pessoas, organizações e prédios. Suportam tanto interfaces providas quando requeridas, quer para fluxo de informações quer físicos. Os blocos podem ser decompostos em partes, onde cada uma deve ser definida por um bloco (SYSML, 2020). As partes também podem servir para a elaboração de Diagramas de Blocos Internos (SYSML, 2020).

2.2.8. Diagrama de Bloco Interno

É usado para mostrar o conteúdo estrutural interno de um único bloco. Mostra as partes, as conexões entre as partes internas e as interfaces entre elas (SYSML, 2020; DELLIGATTI, 2014).

2.2.9. Diagrama Paramétrico

O diagrama paramétrico é uma especialização do diagrama de blocos interno que enfoca as regras matemáticas (restrições) e parâmetros associados com as propriedades de valores de blocos, de forma que uma alteração nas últimas será propagada para outras propriedades do bloco de forma consistente com a regra matemática (SYSML, 2020). É usado para expressar como uma ou mais restrições - especificamente equações e desigualdades - são conectadas com as propriedades de um sistema.

Diagramas paramétricos apoiam as análises de engenharia, incluindo de performance, de confiabilidade, de disponibilidade, de potência, de massa e de custo. Podem também ser usados para apoiar estudos de trocas de diferentes propostas de arquiteturas físicas para um sistema (DELLIGATTI, 2014).

Cabe ressaltar que esse diagrama não é estritamente necessário em uma modelagem em SysML. Posto que requer um alto degrau de fidelidade no sistema modelado, traz consigo um custo associado. Assim, é realizado somente se estiver de fato dentro do escopo do modelo planejado (DELLIGATTI, 2014).

Além de conhecer os diagramas da SysML faz-se necessário ao leitor também o compreender o que são os biodigestores que serão utilizados na composição do PSS objeto desta tese, como funcionam e onde foram e podem ser aplicados. Estes tópicos serão tratados na sub-seção 2.3.

2.3. BIODIGESTORES

Biodigestores são reatores que processam o lixo orgânico e entregam, como produtos resultantes, um gás com alto conteúdo de metano (biogás), e resíduos líquidos e sólidos ricos em nutrientes (fertilizantes) que podem ser usados na agricultura (MIR; HUSSAIN; VERMA, 2016). Usam, em média, 50% de lixo orgânico e 50% de um líquido de diluição, o qual pode ser água (especialmente da chuva), esgoto ou outro líquido não poluente (OLIVEIRA et al., 2011).

Os biodigestores foram desenvolvidos há quase cem anos. Os primeiros modelos foram construídos pelos chineses, por volta de 1936. Desde então, foram objeto de vários melhoramentos. Com a popularização da tecnologia, foram gradualmente surgindo topologias construtivas concorrentes e variantes de cada uma delas.

Atualmente há quatro configurações físicas diferentes de biodigestores industriais: (i) o biodigestor de lagoa coberta, também denominado canadense, de lona ou da marinha; (ii) o Upflow Anaerobic Sludge Blanket, ou reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB); (iii) o Continuous Stirred Tank Reactor ou reator perfeitamente agitado (CSTR) e (iv) o biodigestor de fase sólida (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

O biodigestor de lagoa coberta (i) consiste-se numa grande bolsa de material flexível acomodada no solo escavado, aplainado e ligeiramente inclinado, no qual o substrato escoia por gravidade e o gás é acumulado na mesma câmara, na parte superior. Opera a temperatura ambiente. Por isso, em localidades onde o inverno é mais frio, tem a produção de gás reduzida nesta estação. É a configuração de menor custo dentre as soluções disponíveis, podendo chegar a um décimo do das demais.

É adequado para tratar substratos com menos de 3% de sólidos totais (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

O reator UASB (ii) funciona com substratos que possuem menos de 1% de concentração de sólidos totais. Opera na temperatura controlada entre 35 e 37 graus celsius. Possui alta capacidade de geração de biogás e tempo de retenção baixo, na faixa de horas, permitindo tratar um maior volume de dejetos em menor tempo. Opera com materiais de alta biodegradabilidade e baixa concentração de sólidos. Sua vazão não pode ser alta para evitar-se o arrasto de sólidos (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

O reator CSTR (iii) pode processar substratos que tenham até entre 10 a 12% de concentração de sólidos totais. Opera com temperatura controlada mantida entre 35 e 37 graus e com agitação constante da mistura, mas não vigorosa a ponto de provocar turbulência. É alimentado por batelada, sendo que eventual sobrecarga provoca a formação de espuma (camada sólida) ou espuma (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

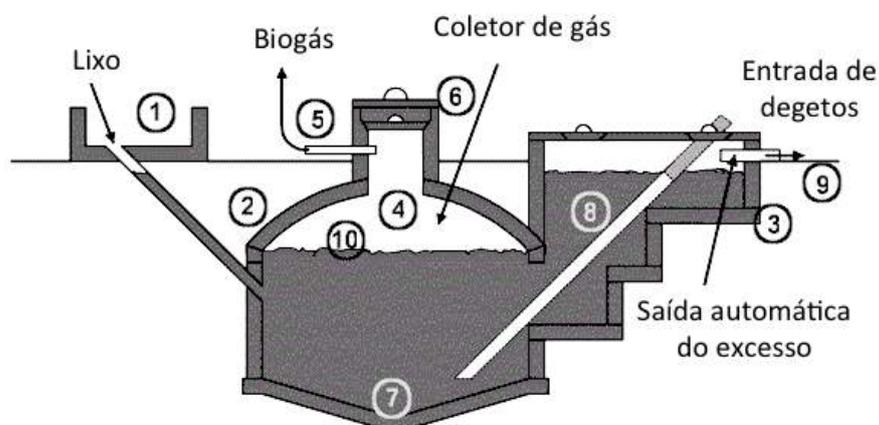
O biodigestor de fase sólida (iv) opera com substratos que possuem acima de 20% de sólidos totais. É utilizado, na Europa, para tratamento da fração orgânica do lixo. A fase sólida fica na parte superior e a líquida na base do mesmo. E possui um sistema de re-circulação entre as fases sólida e líquida (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

Para se escolher a configuração de biodigestor mais adequada para cada situação deve-se caracterizar o substrato, mediante análise química, para saber qual seu potencial de produção de biogás e qual o melhor processo de biodigestão para processá-lo. Em geral, define-se o tipo de biodigestor adequado pela taxa de sólidos encontrada no substrato.

2.3.1. Biodigestores domésticos

Tratam a fração orgânica do lixo, assim como excrementos. É possível agrupá-los em três propostas tecnológicas principais: o biodigestor de cúpula chinês, o de tambor flutuante indiano e o tubular de plástico taiwanês. Os mesmos são apresentados nas figuras 5, 6 e 7.

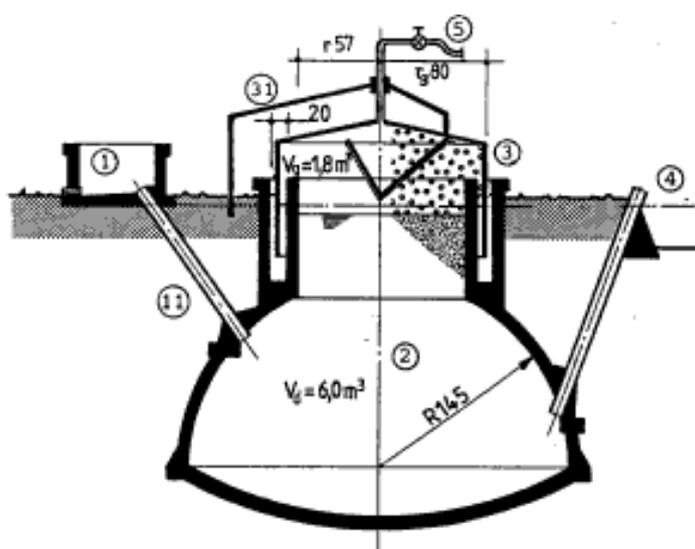
Figura 5 - Biodigestor de cúpula chinês



Fonte: Energypedia (2016a).

O biodigestor de cúpula chinês é construído com materiais de alvenaria comum – tijolos ou pedras, ferro e cimento. Constitui-se de uma câmara de fermentação enterrada no solo e revestida de alvenaria (10), com fundo abaulado (7), interligada a um canal para alimentação com materiais orgânicos e líquidos (2) que a conecta com a superfície (1); uma saída do material digerido, em nível inferior (8), para coleta do resíduo fertilizante (3, 9), uma saída superior (4), para a coleta do biogás produzido (5) e uma tampa removível para a realização de manutenção (6). Apresenta, como vantagens, baixo custo de manutenção e longa vida útil – estimada em 20 anos (MSIBI; KORNELIUS, 2017).

Figura 6 - Biodigestor indiano

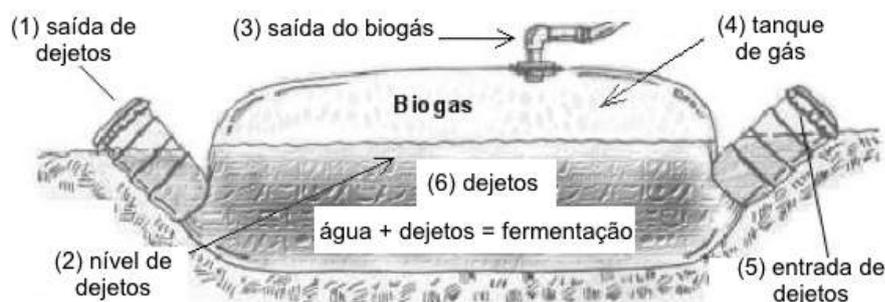


Fonte: Energypedia (2015).

O biodigestor de tambor flutuante indiano é constituído de um cilindro enterrado construído em alvenaria ou concreto reforçado (2), ligado a uma caixa de entrada de resíduos (1); e outro invertido, em forma de tambor (3), que se encaixa abarcando o primeiro, e serve de recipiente contentor de gás. O tambor é conectado a uma saída superior, para a realização da coleta do biogás (5).

Os primeiros tambores eram construídos em aço. Porém, com o tempo, corroíam-se. Mais tarde, passaram a ser fabricados em fibra de vidro, para evitar o problema. O tambor se move para cima e para baixo, de acordo com a quantidade de gás acumulada. A alimentação se faz por um cano de entrada conectando a superfície à câmara de fermentação (11), e há uma saída para o escoamento do lixo processado (4). O gás é retirado pela parte superior do tambor flutuante. Desde sua criação, esta topologia tornou-se muito popular na Índia, tornando-se objeto de muitos melhoramentos por parte da academia e da indústria do país (ENERGYPEDIA, 2015).

Figura 7 - Biodigestor tubular de plástico taiwanês



Fonte: Energypedia (2016b).

O biodigestor taiwanês é uma espécie de pequeno reator de lagoa coberta constituída por um longo cilindro plástico com a relação entre o comprimento e o diâmetro de 14:3, construído em um saco feito de PVC, nylon coberto com neoprene ou um material especial denominado “red mud plastic” (RMP) feito com sobras de

produção de alumínio. Possui um cano de alimentação numa das suas extremidades (5), e outro para a retirada do resíduo fertilizante no lado oposto (1). Na parte superior possui um reservatório de gás (4) e um coletor do gás produzido (3). A biomassa fica armazenada na parte inferior do cilindro (6), no nível do solo (2). É a que apresenta menor custo inicial de implantação dentre as opções construtivas, porém também a de maior fragilidade (pode furar por contato com partes pontiagudas) e menor vida útil – estimada entre 2 e 10 anos (ENERGYEDIA, 2016b; JAXYBAYEVA et al., 2014; MSIBI; KORNELIUS, 2017).

As primeiras propostas de biodigestores desenvolvidas eram construídas no próprio local, voltadas mormente para a aplicação residencial, e funcionavam no sistema de batelada ou alimentação semi-contínua (exemplo: despejo de lixo uma vez ao dia). Mais tarde, surgiram também versões mais aprimoradas, pré-fabricadas (CLEMENS et al., 2018). Também foram desenvolvidas outras para aplicações industriais e processamento de grandes volumes. Atualmente, existem sistemas de biodigestores comerciais, de alimentação contínua, capazes de processar todo o lixo orgânico produzido por uma cidade de médio porte. A tecnologia está especialmente avançada na Alemanha, que inclusive concede inclusive incentivos financeiros à sua adoção (ANDRÉ; PAUSS; RIBEIRO, 2018).

O processo que ocorre em seu interior relembra o do estômago – bactérias realizam a “digestão anaeróbica” da matéria orgânica, o que leva à formação do gás (MIR; HUSSAIN; VERMA, 2016). Ela se dá em quatro etapas, assim denominadas: (i) hidrólise, (ii) acidogênese, (iii) acetogênese e (iv) metanogênese. As várias etapas são realizadas por diferentes bactérias, as quais, por sua vez, possuem exigências específicas, as quais devem ser respeitadas, para se garantir a continuidade da produção do biogás. São elas, o potencial de hidrogenação (PH), porcentagem de conteúdo sólido na mistura, tempo de retenção, velocidade de escoamento e / ou de agitação da mistura dentro do reator, e temperatura.

As bactérias que efetuam a hidrólise e a acetogênese (etapas i e iii) o fazem em ambiente com PH mais ácido (entre 5.5 e 6.5), enquanto que as que produzem metano (etapa iv) requerem PH ligeiramente alcalino (6.8 a 8.5). Por esta razão, os sistemas de biodigestão em duas fases apresentam maior eficiência.

O processo de biodigestão ocorre em ambiente contendo água. De acordo com o teor de sólidos totais na mistura, os substratos, ou misturas resíduos/líquidos que alimentam o biodigestor, são classificados como (i) Sólidos, para substratos com teor de sólidos maior ou igual a 20%; (ii) Semi-líquidos quando contêm entre 12 e 20% de sólidos e (iii) Líquidos, quando possuem menos de 12% de sólidos (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

A digestão anaeróbia pode ocorrer em duas faixas de temperatura distintas, as quais possuem denominações específicas: a mesofílica, que ocorre entre 25 a 40 graus Celsius, e a termofílica, que acontece entre 50-65 graus Celsius. Contudo, o processo termofílico é o de controle mais difícil. Por esta razão, predominam atualmente soluções que utilizam a faixa mesofílica (MIR; HUSSAIN; VERMA, 2016).

Os demais fatores que afetam a funcionalidade do biodigestor estão relacionados com as características do escoamento fluidodinâmico da mistura: taxa percentual de sólidos, tempo de retenção, tamanho das partículas sólidas e velocidade de escoamento. O biodigestor não deve permitir que os microorganismos sejam “lavados”, ou seja, jogados para fora, caso contrário o funcionamento será interrompido. E o tempo de retenção deve ser o suficiente para que se realize a hidrólise, a etapa mais lenta do processo. Todos estes parâmetros devem ser considerados no desenvolvimento de um biodigestor.

Cabe ressaltar que, hoje, a produção de biogás no ambiente doméstico a partir de biodigestores industrializados é incipiente, porque as soluções comerciais não são, via de regra, voltadas para aplicações de pequena escala (MIR; HUSSAIN; VERMA, 2016).

Há algumas propostas recentes de biodigestores domésticos lançadas no mercado (HOME BIOGAS, 2018; EQUIPE ECYCLE, 2010). Contudo, seu custo mínimo de aquisição, equivalente a quase 2 salários mínimos brasileiros para a versão mais barata, é um fator limitante para a sua adoção em larga escala. Daí o PSS ser promissor para viabilizar o uso desta tecnologia, superando esta barreira. Todavia, o mesmo deve levar em consideração as exigências de operação e de manutenção dos biodigestores, pois impactam em vários aspectos da solução. Na próxima seção as mesmas são descritas.

2.3.2. Operação e manutenção de biodigestores

Segundo Kunz; Amaral e Steinmetz (2018), para a maioria dos substratos (tipos de resíduo) o pico de biodigestão ocorre entre 10 e 15 dias. O tempo de retenção hidráulica não deve ser inferior a este período. Metais pesados, antibióticos e desinfetantes são agentes inibidores do processo, e devem ser evitados.

Os autores também asseveram que, quando se desejar iniciar um processo, a fim de se agilizar o início de funcionamento, recomenda-se utilizar o “inóculo”, que é formado normalmente pelo composto líquido de saída de outro biodigestor, o qual contém as bactérias que desempenharão as quatro etapas de processamento do substrato para a produção do biogás.

Pode-se produzir biogás em três faixas de temperatura: 0 a 20 graus Celsius, 20 a 40 ou 40 a 70 graus. Contudo, em baixas temperaturas, o processo é mais lento, o tempo de degradação é maior e demora-se mais para produzir o biogás. A variação de temperatura também influencia o processo. A carga volumétrica (quantidade de substrato por unidade de volume) não deve exceder a capacidade do biodigestor. Do contrário, pode levá-lo a não tratar o efluente, ou mesmo à falência do processo (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

Quando viável, pode-se realizar o pré-tratamento do substrato. Ele conduz à redução do tempo de processamento. Também, por analogia com o corpo humano, tal como a boa mastigação melhora a digestão, a redução da fração sólida em pequenas partículas proporciona maior rendimento na produção de biogás. Outros pré-tratamentos existentes são a explosão a vapor, o peneiramento, a extrusão para a separação das partes líquida e sólida, e a segregação (retirada de ossos, plásticos, talheres, etc.). Para rejeitos de árvores e madeira, sugere-se a hidrotermólise de materiais, a utilização de fungos, enzimas ou a irradiação por microondas. A ausência de pré-tratamento, embora não inviabilize o processo, leva ao aumento do tempo necessário para o processamento do substrato. Um detalhe a se observar é que, quando se avalia a possibilidade de pré-tratamento, deve-se primeiramente estimar sua viabilidade considerando a demanda de energia e de recursos do processo (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

De acordo com Kunz; Amaral e Steinmetz (2018), a alimentação com excesso de matéria sólida leva ao acúmulo de partículas sólidas no fundo (adensamento do

lodo) e a formação de caminhos preferenciais para o líquido, diminuindo o tempo de retenção do substrato no biodigestor e a produção de biogás. Devido as características e a velocidade de processo de biodigestão, recomenda-se realizar o monitoramento dos parâmetros de funcionamento de biodigestores industriais semanal ou quinzenalmente.

O biogás produzido contém metano, dióxido de carbono, vapor de água e sulfeto de hidrogênio (sendo que o último é nocivo e corrosivo), além de outros compostos em menor proporção. Para a melhoria da sua qualidade, pode ser posteriormente filtrado para remover-se o sulfeto de hidrogênio e o vapor de água, e refinado, para reduzir as concentrações de dióxido de carbono, resultando no gás bio-metano, o qual tem características semelhantes às do gás natural (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018).

Neste capítulo foram apresentados os conceitos considerados essenciais para possibilitar a compreensão da pesquisa relatada nesta tese. A seguir, será apresentada a metodologia selecionada para a condução da pesquisa e as razões que fundamentaram a sua escolha.

3. METODOLOGIA

A definição da metodologia a ser usada a fim de garantir o rigor necessário para a pesquisa foi realizada a partir da análise do seu objetivo geral. Esta pesquisa tem o objetivo de especificar um PSS que possibilite aos pequenos municípios brasileiros destinar o lixo orgânico domiciliar produzido em seu território, atendendo as exigências da PNRS, usando seu orçamento atualmente disponível, e avaliar sua viabilidade econômica para o provedor. Ela prescreve a solução para um problema: “auxiliar o município a cumprir com as exigências da PNRS. E deve atender a algumas restrições: “deve mostrar-se viável economicamente para o município (caber no seu orçamento atual), e para o provedor”. Ela é, portanto, de natureza prescritiva.

A abordagem metodológica mais adequada para a pesquisa quando o objetivo do estudo é desenvolver soluções prescritivas é a Design Science Research (DSR) (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; LACERDA et al., 2013). Outras abordagens com escopo próximo seriam o Estudo de Caso e a Pesquisa Ação; mas elas divergem fundamentalmente da DSR porque a primeira é de natureza descritiva (não prescritiva), e a segunda tem como premissa a necessidade de que a avaliação do artefato a ser construído para resolver o problema possa ser realizada apenas no contexto da empresa e ou com a participação dos envolvidos na pesquisa (LACERDA et al., 2013). No presente caso, além de a pesquisa ser de natureza prescritiva, não há a necessidade de ser realizada segundo os critérios exigidos pela Pesquisa Ação. Pois ainda nem se definiu o perfil do provedor (empresa) do PSS que será projetado.

Embora a DSR já tenha assegurado seu lugar na comunidade de pesquisa internacional como abordagem metodológica viável para trabalhos que objetivem soluções prescritivas, há poucos anos ainda buscava-se estabelecer seu espaço e credibilidade na comunidade acadêmica brasileira (LACERDA et al. 2013). Por esta razão, é apresentada, no Apêndice 3, uma explanação histórica da alteração gradual do entendimento da comunidade científica quando ao significado do *design* e o seu papel na construção da base do conhecimento, bem como suas especializações até o surgimento da DSR, construída a partir de trabalhos com escopo histórico e

descritivo dos conceitos assentados, sucessivamente, de “design”, “design science” e finalmente “design science research”. Em resumo, pode-se afirmar que a DSR está fundada em bases teóricas sólidas (BUCHANAN, 1992; SIMON, 1996), cujo conceito germinal existe há séculos (GREGOR; HEVNER, 2013) e que sua teoria formal está em desenvolvimento há mais de meio século (BUCHANAN, 1992; SIMON, 1969), sendo que ela já está amplamente difundida na comunidade científica internacional (GREGOR; HEVNER, 2013). Desde a publicação do trabalho de Hevner et al. (2004), a DSR tem sido objeto de crescente atenção, sendo que agora é considerada como um método de pesquisa firmemente estabelecido, embora ainda em estágio de maturação (FISCHER, 2011).

Nesta seção são apresentados conceitos da DSR com o propósito de evidenciar a adequação do seu uso como suporte metodológico para garantir o rigor exigido na condução deste trabalho. O Apêndice 3 apresenta um histórico do desenvolvimento do conceito da DSR e uma caracterização mais detalhada da mesma, sendo destinado ao leitor que não estiver suficientemente familiarizado com a DSR, bem como àquele que está em busca de aprofundar seus conhecimentos sobre o tema. Os próximos parágrafos são um resumo do mesmo.

A DSR engloba um processo conduzido com rigor científico para projetar artefatos para resolver problemas observados, para fazer contribuições de pesquisa, para avaliar os projetos e para comunicar os resultados para audiências apropriadas (HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013; PEFFERS et al., 2007). Tais artefatos podem incluir construtos, modelos, métodos e instanciações (PEFFERS et al., 2007; LACERDA et al., 2013).

Peppers et al. (2007) argumentavam que, embora os paradigmas de pesquisa dominantes usados para produzir e publicar trabalhos fossem mormente os da pesquisa tradicional descritiva, emprestados das ciências sociais e naturais, as disciplinas de engenharia já aceitavam o *design* como uma metodologia de pesquisa válida e valiosa, pois atribuíam, explicitamente, valor a soluções incrementais para problemas aos quais fossem efetivamente aplicáveis. Ou seja, o ato de criar uma solução explicitamente aplicável a um problema é um paradigma de pesquisa aceito em disciplinas como a engenharia (PEFFERS et al., 2007).

A DSR operacionaliza a construção do conhecimento, pois inclui, além das atividades de construção e aplicação de novos artefatos, uma etapa de avaliação, o que robustece a pesquisa (COSTA et al., 2018; HEVNER et al., 2004). Assim, permite a extração de conclusões que se transformem em incrementos à base de conhecimento científico. Portanto dá o respaldo metodológico para as pesquisas que desenvolvam artefatos, os apliquem em um contexto organizacional (com ou sem a cooperação dos envolvidos) e os avaliem (LACERDA et al., 2013).

Na DSR, as necessidades do negócio são abordadas e avaliadas dentro do contexto organizacional - estratégias, estrutura, cultura e processos de negócio existentes. Elas são contrastadas com a tecnologia, a infra-estrutura, as aplicações, as arquiteturas de comunicação e as capacidades de desenvolvimento existentes. Juntas, elas definem a necessidade do negócio, ou o “problema” percebido pelo pesquisador (HEVNER et al. 2004).

Uma vez definido o problema, a pesquisa é conduzida em duas fases complementares. A ciência comportamental aborda a pesquisa por meio do *desenvolvimento* e da *justificativa* de teorias que explicam ou predizem o fenômeno relacionado com a necessidade identificada. O design science a aborda através da *construção* e da *avaliação* de artefatos projetados para atender a necessidade. A meta da pesquisa comportamental é descobrir a “verdade”. A DSR busca a verdade sobre um fenômeno artificial, ou sobre o comportamento daquilo que é construído pelo homem. Sua meta é encontrar a *utilidade*. O postulado é que há verdade na utilidade (HEVNER et al., 2004). Em outras palavras, a DSR verifica “se é verdade que o artefato projetado resolve o problema”.

Avison e Pries-Heje (2005) apresentam alguns conceitos gerais que definem a contribuição de uma tese de doutorado. Eles mencionam que uma das formas de contribuição é o *desenvolver ou demonstrar um projeto novo ou melhorado de um artefato físico ou conceitual*. A contribuição pode ser demonstrada por raciocínio, prova de conceito, prova de valor adicionado ou prova de aceitação e uso (GREGOR; HEVNER, 2013). O objetivo geral desta tese está alinhado com este conceito. Como a DSR conduz o pesquisador no desenvolvimento das atividades de construção e de avaliação do artefato, ela é adequada para ser usada como método

de pesquisa na presente tese, com o objetivo de prover a contribuição científica esperada.

Segundo Gregor e Hevner (2013), além da contribuição científica, a DSR deve fazer contribuições claras no ambiente de aplicação do mundo real para o qual o problema ou oportunidade de pesquisa foram definidos. As contribuições da DSR podem ser: (i) Invenções, ou novas soluções para novos problemas; (ii) Melhoramentos, ou novas soluções para problemas conhecidos; (iii) Soluções conhecidas extendidas para novos problemas ou (iv) Projetos de rotina, ou soluções conhecidas para problemas conhecidos. Neste último caso, não há contribuição científica relevante. A classe de contribuição da presente pesquisa é a segunda (melhoramentos). Propõe-se uma solução nova (o PSS) para um problema conhecido (os pequenos municípios brasileiros destinarem o lixo orgânico domiciliar atendendo as diretrizes da PNRS usando seu orçamento disponível).

Gregor e Hevner (2013) esclarecem que a contribuição científica na forma de melhoramento envolve a criação de melhores soluções na forma de produtos, processos, serviços, tecnologias ou ideias mais eficientes e efetivas, num contexto de aplicação conhecido, para o qual soluções de artefatos úteis não existam ou sejam sub-otimizadas. O desafio chave é demonstrar que a solução realmente avança para além do conhecimento prévio. No caso desta pesquisa, a contribuição envolve a criação de uma melhor solução na forma de um sistema de produto-serviço o qual envolve serviços, produtos, processos e tecnologias, associados de forma mais eficiente (no modelo de negócio do PSS), no contexto de aplicação do território de um município brasileiro de pequeno porte. O desafio é demonstrar que o PSS avança para além do conhecimento prévio de soluções potenciais para o problema, o qual atualmente está vinculado a mera compra e instalação de biodigestores domésticos.

3.1. Linhas gerais na condução da DSR neste trabalho

Na condução desta pesquisa foram adotadas as linhas gerais para a condução da DSR propostas por Hevner et al. (2004), devido ao seu amplo reconhecimento na comunidade científica (conforme fundamentação apresentada no Apêndice 4). Segundo os autores, a DSR requer:

- (i) *A criação de um artefato inovador e adequado para um domínio de problema específico;*
- (ii) *Este artefato deve ser útil para a solução do problema; portanto*
- (iii) *sua avaliação é crucial;*
- (iv) *O artefato deve ser inovador, resolvendo um problema ainda não solucionado;*
- (v) *O artefato deve ser rigorosamente definido, formalmente representado, coerente e internamente consistente;*
- (vi) *incorpora um processo de pesquisa no qual um espaço de problema é construído e um mecanismo colocado ou habilitado para construir uma solução efetiva;*
- (vii) *os resultados devem ser comunicados para uma audiência com conhecimento técnico na área do artefato (pesquisadores que irão estender e implementá-lo) e com conhecimento gerencial (pesquisadores que o estudarão no contexto e praticantes que decidirão se ele será implementado em suas organizações).*

Embora eles as apresentem como não mandatórias, propõem-nas como referenciais para verificar-se a completude da DSR. A fim de evidenciar melhor o rigor metodológico deste trabalho, foi elaborado um relato demonstrando como cada guia foi seguida na condução da pesquisa, o qual é apresentado no Apêndice 5.

3.2. Método para a condução da DSR:

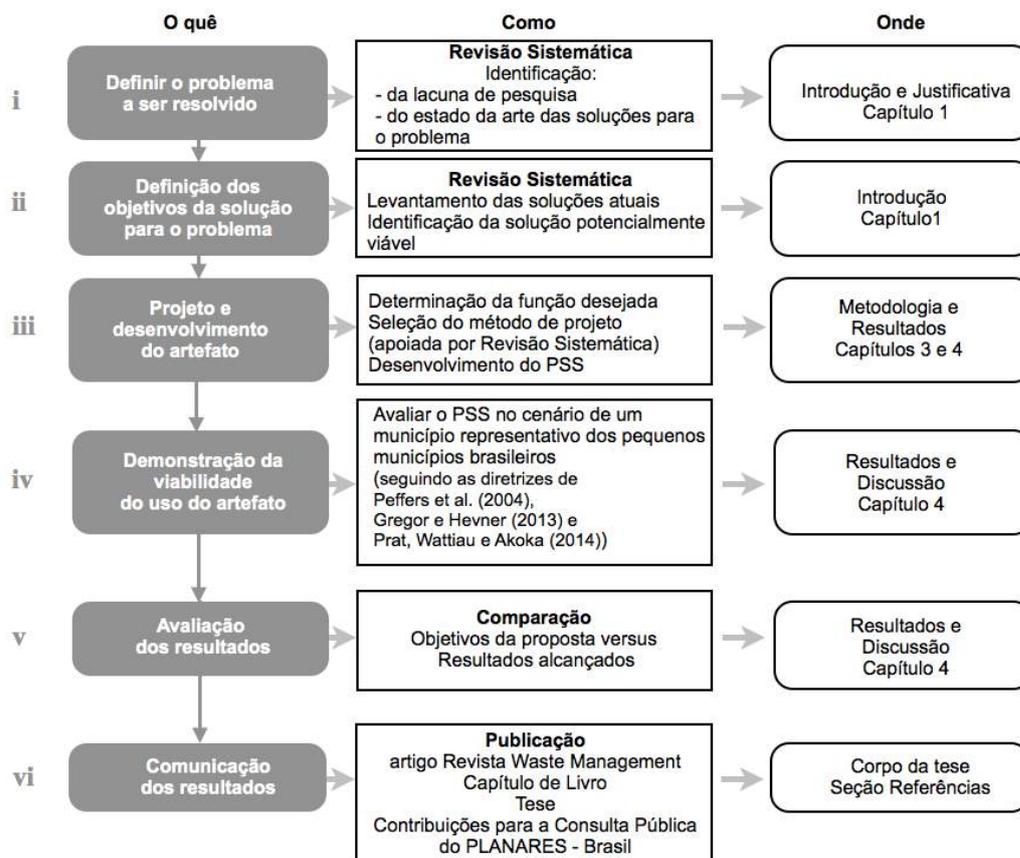
O método selecionado para a condução da DSR foi o Design Science Research Methodology (DSRM), proposto por Peffers et al. (2007), devido ao seu

grande impacto na comunidade científica envolvida com a DSR. A análise da literatura a qual fundamenta sua escolha encontra-se no Apêndice 6.

Segundo os autores, sua aplicação é conduzida por meio de seis passos sequenciais. Os autores argumentam que os pesquisadores podem usar a sequência proposta para estruturar o artigo em pesquisas científicas, tal como na estruturação nominal de um processo de pesquisa empírica (definição do problema, revisão da literatura, desenvolvimento da hipótese, coleta de dados, análise, resultados, discussão e conclusão) (PEFFERS et al., 2007). A estrutura desta tese segue esta sugestão.

Cumpra observar que os próprios autores recomendam que seu trabalho não deva ser utilizado como norma rígida, mas antes como referência orientativa, ficando a critério do pesquisador eventuais customizações ou ajustes contextuais que se façam necessários. Seguindo esta orientação, foram efetuadas algumas customizações. A figura 8, que mostra os passos do DSRM, inclui, à direita, a descrição de *como* eles foram seguidos na condução desta pesquisa e *onde* eles encontram-se apresentados nesta tese.

Figura 8 - Passos sequenciais na condução da DSR



Fonte: Adaptado de Peffers et al. (2007).

(i) *Definir o problema a ser resolvido*. Segundo Peffers et al. (2007), deve-se definir o problema de pesquisa e justificar o valor da solução. Pode incluir o assimilar o conceito envolvido e reduzir o problema ao modo elementar (atomizá-lo), para que o artefato projetado possa, efetivamente, atacar o seu âmago e resolvê-lo. Justificar o valor da solução cumpre dois objetivos: motiva o pesquisador e a audiência da pesquisa a perseguir a solução e aceitar os resultados e ajuda a entender o raciocínio associado com o entendimento do pesquisador sobre o problema. Os recursos requeridos para esta atividade incluem o conhecimento do estado atual do problema e a importância da sua solução.

Neste trabalho, isso foi realizado pela identificação do problema como correspondendo a uma lacuna de pesquisa, o que gerou a publicação de um artigo científico (CARVALHO; BASTCHEN; BORSATO, 2018), e pela identificação do estado atual das soluções para o problema, ambos realizados através de revisão

sistemática da literatura científica. Esta atividade e os resultados encontrados foram descritos nas seções “Introdução” e “1.2 - Justificativa” desta tese.

(ii) *Definição dos objetivos da solução para o problema.* Para Peffers et al. (2007) compreende definir os objetivos da solução, inferindo-os a partir da definição do problema e do conhecimento do que é possível e viável. Os objetivos podem ser quantitativos, em cujos termos a solução desejável seria melhor do que as atuais, ou qualitativos, como a descrição de como o novo artefato é potencialmente capaz de apoiar soluções para problemas ainda não resolvidos. Eles devem ser inferidos racionalmente a partir da especificação do problema. Os recursos requeridos para isso incluem o conhecimento do estado atual do problema e das soluções existentes, caso haja alguma, e sua eficácia.

No caso, foi realizada uma revisão da literatura para identificar quais as soluções atuais propostas para o problema. Como exposto na Introdução, os municípios não atendem a PNRS por falta de verba; o modelo tradicional de venda de biodigestores para resolver o problema não pode ser custeado pela prefeitura. Portanto, foi estabelecido um objetivo de natureza quantitativa, baseado na teoria econômica, o qual pode também ser descrito como segue: prescrever uma solução que possibilite ao município destinar o lixo orgânico domiciliar em conformidade com a PNRS, a um custo que seja compatível com o seu orçamento atual para esta rubrica, e ao mesmo tempo seja viável economicamente para o provedor. O desenvolvimento desta etapa da pesquisa resultou na geração de dois artigos científicos, um publicado em um Congresso e outro em uma Revista Científica nacional (CARVALHO; BORSATO, 2019, 2020). No corpo desta tese, esta etapa foi relatada na seção “Introdução”.

(iii) *Projeto e desenvolvimento do artefato.* Criar o artefato. Peffers et al. (2007) esclarecem que estes artefatos podem ser construtos, modelos, métodos ou instanciações, ou novas propriedades de recursos técnicos, sociais e informacionais. Conceitualmente, um artefato pode ser qualquer objeto projetado cuja contribuição de pesquisa esteja nele embutida. Esta atividade inclui a determinação da sua funcionalidade desejada, a sua arquitetura e a sua criação. Os recursos utilizados

nesta etapa incluem o conhecimento da teoria que pode ser utilizada para obter-se uma solução.

Esta etapa é apresentada nos capítulos 3 a 4 deste trabalho. A metodologia utilizada para criar o artefato é apresentada neste capítulo (3) e a descrição do artefato (PSS) encontra-se no capítulo 4. A determinação da funcionalidade desejada foi realizada através do levantamento bibliográfico, pelo qual descobriu-se que os biodigestores domésticos têm o potencial de resolverem tecnicamente o problema, porém a abordagem do mesmo através do modelo de venda de produto se mostrou ineficaz. A funcionalidade desejada compreende o realizar a correta destinação do lixo sólido orgânico domiciliar produzido no município, atendendo as normas da PNRS, a um custo igual ou menor ao orçamento atual da prefeitura e que propicie uma margem de lucratividade acima da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do negócio determinada para o provedor.

Seguindo as premissas da DSR, a arquitetura do PSS deve ser conduzida por um método que confira à pesquisa o rigor metodológico necessário para que ela seja considerada válida e confiável pela comunidade acadêmica - um método para o projeto de PSS reconhecido no meio científico. A seleção do método para o projeto de PSS demandou a realização de uma revisão sistemática da literatura. Primando pela melhor didática na apresentação das informações, dada a extensão relato do detalhamento desta atividade, optou-se por destinar uma seção específica para ele, alocando-o na próxima seção (3.4) desta tese. Por ora, dá-se sequência à explicação de como as etapas do DSRM foram cumpridas na condução da pesquisa.

Seguindo as proposições para a apresentação do artefato de Hevner et al. (2004), e Gregor e Hevner (2013), ele se consiste na soma de três elementos: (i) *sua descrição informal em linguagem natural, apresentada no capítulo 4 (Resultados), apoiada por* (ii) *um Mapa Organizacional do PSS, como proposto por Costa et al. (2018), identificando os atores e os fluxos de recursos e materiais e* (iii) *diagramas representativos utilizando-se o modelo do Service Blueprint, proposto por Geum e Park (2011), modificado, usando a taxonomia da Business Process Model and Notation (BPMN), apoiados pelos 9 diagramas da linguagem SysML. A apresentação, em detalhes, do como chegou-se a definição dos elementos i, ii e iii encontra-se na seção 3.3.*

Em linha com a proposição de Peffers et al. (2007), o artefato construído nesta pesquisa não consiste de um sistema completo, no nível de detalhamento requerido para a imediata implementação prática. Ele é uma inovação que define ideias, práticas, capacidades técnicas e produtos através dos quais a implementação e o uso do PSS podem ser cumpridos de forma efetiva e eficiente. Contudo, é suficientemente detalhado para permitir a compreensão clara do papel dos atores, da rede de relacionamentos entre eles, dos fluxos econômicos e de recursos e da alocação e organização da sua estrutura de modo que suporte uma tarefa de posterior detalhamento e customização visando a implementação no cenário real. Este fato será melhor evidenciado no capítulo 4 (que apresenta a construção e avaliação do PSS), embora seja mencionado aqui por ser necessário apresentar a vinculação da orientação geral deste trabalho à proposta de condução da DSR de Peffers et al. (2007).

(iv) *Demonstração da viabilidade do uso do artefato*. Para Peffers et al. (2007), esta etapa compreende o demonstrar o uso do artefato para resolver uma ou mais instâncias do problema. Isso pode envolver seu uso em experimentação, simulação, estudo de caso, prova ou outra atividade apropriada. Os recursos necessários para a demonstração incluem o conhecimento efetivo de como usar o artefato para resolver o problema.

Neste trabalho, como proposto por Peffers et al. (2007), Prat, Wattiau e Akoka (2014) e Gregor e Hevner (2013), selecionou-se demonstrar o artefato no cenário de um pequeno município brasileiro a fim de indicar que ele se mostra satisfatório quanto a atingir a funcionalidade pretendida e as metas quantitativas delineadas. De acordo com Prat, Wattiau e Akoka (2014), se isso ocorrer, o método selecionado para a sua construção estará também validado, podendo incorporar a base de conhecimento como teoria nascente, a qual pode ser generalizada por eventuais comprovações em trabalhos futuros.

A demonstração da viabilidade do artefato se deu pela avaliação do PSS considerando sua aplicação no município selecionado, usando-se os critérios descritos a seguir. Selecionou-se a prova lógica, como proposto por Simon (1996) e Peffers et al., (2007). Neste caso, o critério é: o custo da solução deve ser *menor que* (<) o orçamento atual do município para o gerenciamento de resíduos sólidos

orgânicos, e a taxa interna de Retorno (TIR) do investimento, para o provedor, deve ser maior que ($>$) a taxa mínima de atratividade (TMA) determinada. Como ferramentas de suporte à avaliação de viabilidade para o provedor, selecionou-se as consagradas para o escopo: o Valor Presente Líquido (VPL) e a simulação de Monte Carlo (METROPOLIS; ULAM, 1949).

Selecionou-se também o método de avaliação funcional, utilizando-se o critério do Argumento informado (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013), descrevendo-se as qualidades do artefato que cobrem as lacunas identificadas em trabalhos anteriores, respondendo a questão de pesquisa. Este argumento é apresentado na seção Resultados e Discussão (capítulo 4) desta tese.

(v) *Avaliação dos resultados*. Segundo Peffers et al. (2007), abarca o observar e medir quão bem o artefato apoia a solução do problema. Esta atividade envolve a comparação dos objetivos da solução com os resultados observados pelo uso do artefato. Ela requer o conhecimento das métricas relevantes e das técnicas de análise. Conceitualmente, tal avaliação pode incluir qualquer evidência empírica apropriada ou prova lógica. Ao final desta atividade os pesquisadores podem decidir sobre voltar para a atividade 3, para tentar melhorar a efetividade do artefato, ou continuar, passando para a próxima atividade. No caso, como o objetivo da DSR e da pesquisa é atingir uma solução satisfatória e não ótima, uma vez sendo ela satisfatória avançou-se para a etapa de comunicação dos resultados.

Segundo Peffers et al. (2007), dependendo da natureza do problema e do artefato, a avaliação pode ter diversas formas diferentes. Pode incluir itens como a comparação da funcionalidade do artefato com os objetivos da atividade 2, medições objetivas da performance quantitativa, como orçamentos ou itens produzidos, o resultado de pesquisas de satisfação, feedback de clientes ou simulações.

No caso, dado que o objetivo de pesquisa era o de projetar um PSS o qual viabilizasse *economicamente* uma tecnologia (biodigestores) a qual já se sabe, pelas referências da literatura, ser capaz de solucionar o problema, as métricas relevantes seriam justamente aquelas relacionadas ao orçamento do município e à

lucratividade do provedor. Os critérios de validação adotados para o município e para o provedor são os apresentados no ítem anterior (iv).

O problema desta pesquisa é enquadrado na classe dos *wicked problems*. Esses foram definidos por Rittel como “uma classe de problemas sociais insuficientemente formulados, onde a informação é confusa, existem muitos clientes e tomadores de decisão com valores conflitantes e as ramificações do sistema como um todo são confusas” (BUCHANAN, 1992). Isso porque municípios, como entidades públicas, e provedores, como entidades privadas voltadas ao lucro, possuem valores conflitantes. Além disso, via de regra há vários tomadores de decisão nos municípios, e as ramificações que um sistema produto serviço deve ter para atender a estrutura organizacional dos mesmos não são previamente claras. Neste caso, seguindo a diretiva preconizada por Hevner et al. (2004), é buscada uma solução satisfatória (não otimizada) para o problema. Assim, caso o custo do PSS para o município seja menor (<) que o orçamento mensal atualmente disponibilizado para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos e a taxa interna de retorno (TIR) para o provedor seja maior (>) que a TMA definida, então a solução é considerada satisfatória. A avaliação do PSS é apresentada na seção de Discussão dos resultados, no **capítulo 4** desta tese.

(vi) *Comunicação*. Comunicar o problema e a sua importância, o artefato, sua utilidade e novidade, o rigor do seu design e sua efetividade para pesquisadores e outras audiências relevantes, como profissionais praticantes, quando apropriado. A comunicação requer o conhecimento da cultura da disciplina. No caso, ela se deu por meio de um artigo científico publicado na Revista Waste Management (CARVALHO et al., 2020), pela presente tese, pelo capítulo do livro publicado “Passando a Limpo a Gestão Pública: arte, coragem, loucura” (CARVALHO et al., 2020) e pelas contribuições encaminhadas à Consulta Pública do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), aberta pelo Governo Federal – Ministério do Meio Ambiente, inclusas no Apêndice 9 desta tese.

3.3. Seleção do método para o desenvolvimento do artefato (PSS)

Peppers et al. (2007) aclaram que seu modelo é genérico e, como tal, pode exigir um maior detalhamento, pelo pesquisador usuário, para o cumprimento do escopo da sua pesquisa. Esse é o caso concernente ao passo “iii”, que engloba o desenvolvimento do PSS. Ele é um sistema produto-serviço cujo desenvolvimento é uma tarefa complexa, a qual demanda um método específico na sua condução. Portanto, para a execução desta atividade foi necessário realizar a busca por um método que se mostrasse adequado ao escopo. Essa baseia-se em algumas premissas, mencionadas a seguir.

Segundo Saunders, Lewis e Thornhill (2012), o método de pesquisa tem como objetivo conduzir o pesquisador na busca para as respostas necessárias ao problema de pesquisa que se propõe. Portanto, seu propósito, suas entregas e sua saída final devem corresponder, respectivamente, ao propósito, aos objetivos e a resposta do problema desta pesquisa (Dresch, Lacerda e Miguel, 2015).

Como Hevner et al. (2004) e Peppers et al. (2007) argumentam, a iteratividade consiste-se na essência da condução da DSR. Assim, para ser coerente, o detalhamento processual de qualquer das etapas do DSR deve preservar esta premissa. Por esta razão, entende-se que um método de desenvolvimento de PSS que apresente um processo linear (não iterativo) não se alinha com a DSR e estaria desqualificado como proposta de condução do desenvolvimento do artefato neste trabalho.

Seguindo as premissas da DSR (Hevner et al. 2004; Peppers et al., 2007), o desenvolvimento do PSS deve ser conduzido por um método que confira à pesquisa o rigor metodológico necessário para que ela seja considerada válida e confiável pela comunidade acadêmica - um método para o desenvolvimento de PSS reconhecido no meio científico. Há muitas propostas, na literatura, para o desenvolvimento de PSS; mas não há um framework consensual (ANDRIANKAJA; BOUCHER; MEDINI, 2018; QU et al., 2016; TUKKER, 2015).

Considerando as premissas anteriores, foram definidos alguns critérios para a seleção do método de desenvolvimento de PSS: (i) ser uma proposta recente; (ii) possuir um reconhecimento mínimo na comunidade científica, acumulando pelo menos 25 citações no Google Scholar (exceção se faz a artigos publicados a partir de 2018, para os quais estimou-se que ainda não houve o tempo de obterem o devido reconhecimento, os quais foram selecionados para análise com qualquer

número de citações); (iii) número de casos de aplicação bem sucedidos - pelo menos um, bem documentado, na publicação descritiva do método; (iv) aplicar-se ao escopo do trabalho - PSS orientado ao uso, considerando três atores - provedor, cliente e usuários; (v) disponibilizar informações suficientes para garantir sua correta implementação, como construtos, atividades, ferramentas de apoio usadas nas mesmas e modelos de representação de informações de saída; (vi) estar alinhado com a premissa da DSR (não ser um processo com etapas encadeadas em lógica linear).

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura, a qual se iniciou pela busca das propostas de métodos de desenvolvimento de PSS recentes, publicadas entre 2011 e 2018, usando o portal da CAPES (CAPES, 2018) - que indexa mais de 500 bases de dados, incluindo Web of Science, ScienceDirect®, Emerald, Springer, Proquest e Scopus, entre outras. Foram usadas as expressões booleanas “holistic” AND “design PSS” e “PSS” AND “design methodology”. Os artigos encontrados foram filtrados por título e resumo, sendo selecionados aqueles cujo escopo era apresentar propostas de desenvolvimento de PSS. Em seguida, foram eliminadas as referências duplicadas. Como resultado, 8 artigos foram selecionados e analisados. Nesta etapa, identificou-se que 2 não eram propostas de desenvolvimento de um PSS completo, sendo descartados. Assim, teve-se um portfólio final de 6 artigos. Após a análise, as propostas dos artigos foram contrastadas com os critérios definidos para a seleção do método para este trabalho, resultando no Quadro 2.

Quadro 2 - Propostas de desenvolvimento de PSS versus critérios de seleção

Critérios	i	ii	iii	iv	v	vi
Propostas	Proposta recente (2011 em diante) SIM/NÃO	Citações (mínimo 25 para artigos anteriores a 2018; qualquer para posteriores)	Casos de aplicação bem sucedidos	Aplicação do mesmo ao escopo do trabalho	Informações suficientes para garantir uma correta implementação	Alinhado com as linhas gerais da DSR propostas por Hevner et al. (2004) e Peffers et al. (2007) Processo iterativo?

						(SIM/NÃO)
Geum e Park (2011)	Sim	176	0	Sim	Não	Não
Pezzota, Cavalieri e Gaiardelli (2012)	Sim	42	0	Sim	Não	Não
Tran e Prak (2014)	Sim	57	0	Sim	Não	Não
Andriankaja, Boucher e Medini (2018)	Sim	12	Um caso em aplicação. PSS não concluído.	Sim	Não	Não
Costa et al. (2018)	Sim	27	1	Não	Sim	Sim
Pezzotta et al. (2018)	Sim	8	1	Não	Não	Não

Fonte: Construído pelo autor.

A maioria dos trabalhos selecionados originam-se de pesquisadores de universidades europeias (PEZZOTA; CAVALIERI; GAIARDELI, 2012; ANDRIANKAJA; BOUCHER; MEDINI, 2018; COSTA et al. 2018; PEZZOTA et al, 2018), mas há também propostas vinculadas a universidades coreanas (GEUM; PARK, 2011; TRAN; PARK, 2014). Tukker (2015), além de constatar que o PSS surgiu na Europa, o que justifica o maior número de contribuições, identificou que a pesquisa em PSS encontrou uma “caixa de ressonância” na Coreia. Assim, a distribuição geográfica das propostas do portfolio corresponde ao mapa dos expoentes neste domínio.

De maneira geral observou-se que não há propostas de métodos de desenvolvimento para PSS autoritativas na comunidade científica. A de maior relevância dentre as encontradas, de Geum e Park (2011), tem 176 citações no Google Scholar (GOOGLE SCHOLAR, 2020). Também notou-se que, embora cada proposta apresentasse credenciais para viabilizar seu uso, em cada caso ocorreu que a falta de informações suficientes para a sua condução num caso real, o

desalinhamento com as linhas do DSR e ou a não abordagem de aspectos relevantes para o desenvolvimento inviabilizou a seleção de uma proposta específica para a condução dos trabalhos, como se explica a seguir.

A proposta de Geum e Park (2011) tem como pontos fortes o permitir modelar e representar adequadamente as atividades de suporte a entrega dos serviços e uso de produtos, na entrega da função do PSS, além de detalhar a rede de atores e os fluxos econômicos, de produtos e de informações entre eles. Contudo, não especifica técnicas para a definição da proposta conceitual do PSS, nem o modelo de saída da etapa inicial de preparação para alimentar a etapa correspondente a ideação da solução. Também não apresenta ferramentas para o levantamento das restrições inerentes a oferta, oriundas das limitações dos atores, das ferramentas ou modelos para a definição do perfil dos colaboradores e suas competências necessárias nem da relação de ativos de infra-estrutura requeridos. Adicionalmente, a proposta de condução do desenvolvimento é um sequenciamento linear de etapas, fugindo da iteratividade inerente ao DSR.

Pezzota, Cavalieri e Gaiardeli (2012) construíram sua proposta a partir do estudo de caso de duas empresas que já fornecem soluções PSS e possuem um processo de engenharia completamente formalizado, em termos de atividades centrais e de suporte. Este constitui-se o ponto forte da sua proposta - o fato de partir da identificação das melhores práticas já em aplicação (portanto, que funcionam). Contudo, o artigo falha ao não prover informações suficientes que permitam implementar a proposta. Não informa quais ferramentas devem ser usadas para apoiar a execução das etapas do método, não detalha as atividades a serem conduzidas em sua execução nem apresenta os respectivos modelos de representação das informações de saída. Ressalta-se também que, embora os autores apresentem o método como iterativo, em realidade a sequência de etapas proposta é linear, havendo iterações apenas após a análise de satisfação do cliente, durante a fase de uso (meio do ciclo de vida do produto) - fato comum às empresas analisadas. Portanto, não se alinha com as guias gerais da DSR propostas por Hevner et al. (2004) e Peffers et al. (2007).

O método proposto por Tran e Park (2014) apresenta como ponto positivo o fato de descrever, para cada uma das etapas propostas, as atividades correspondentes, bem como o envolvimento esperado de cada ator e uma descrição

sumária e genérica do critério de validação, o que facilita o eventual uso em desenvolvimentos posteriores. Contudo, não propõe as ferramentas de apoio a serem usadas em cada etapa nem os seus respectivos modelos de saída, o que inviabiliza seu uso. Também propõe o que parece ser uma inversão lógica nas etapas de desenvolvimento, pois preconiza a segmentação de mercado depois da etapa de proposição e validação da ideia do PSS - o equivalente a propor o produto e depois buscar mercado para ele. O método também baseia-se em uma lógica sequencial linear, numa topologia de etapas e portais (Stage Gate), não alinhada com a DSR.

Costa et al. (2018) propõe um método robusto para a condução de algumas fases do desenvolvimento do PSS, como a criação da proposta de valor, a definição do modelo conceitual do PSS, o desenvolvimento da rede de atores e da experiência do cliente. Além disso, detalha as atividades propostas na condução do método, identificando as informações de saída e seus respectivos modelos de representação. Porém, não aborda o desenvolvimento da infra-estrutura de suporte para viabilizar a proposta. Entrega o *quê* deve ser feito pelos atores, mas não informa o *como* nem *com o quê*. O método também propõe o uso extensivo da prática de brainstorming envolvendo todos os atores - cliente, provedor e fornecedores da cadeia, em várias etapas do desenvolvimento. Esta prática foi considerada inviável de se realizar no contexto deste trabalho, o que vedou a utilização do método.

Pezzota et al. (2018) propuseram um método orientado para a indústria, para viabilizar sua transformação no processo de servitização. Por esta razão é bem estruturado e robusto, tendo como ponto forte a descrição detalhada das etapas e a proposição de ferramentas de apoio conhecidas para cada uma delas. Mas o método não modela com precisão a integração dos processos relacionados a produto e a serviços para a entrega da função pretendida. Os autores reconhecem que a definição de um alinhamento coerente entre os processos de desenvolvimento de produtos e serviços e as responsabilidades dos atores é o principal desafio para criar uma oferta coerente e responder efetivamente as necessidades dos consumidores e que esse representa o principal risco para a adoção da metodologia proposta e das ferramentas de suporte apresentadas. Além disso o método é linear, sequencial, e não iterativo, não se alinhando com a DSR. Sua sequência de etapas deixa como lacuna a possibilidade de se observar uma falha de projeto somente

durante a avaliação do cliente, na fase de uso, trazendo como consequências potenciais grande perda de tempo e recursos.

Andriankaja, Boucher e Medini (2018) propuseram um método integrativo construído a partir de 10 propostas da literatura, bem estruturado, o qual cobre todas as fases do processo de desenvolvimento, especificando as etapas e as respectivas ferramentas utilizadas, as informações e os modelos de saída, o qual integra consistentemente três dimensões complementares do desenvolvimento do PSS: os produtos, as ofertas e os pacotes de serviços e a rede de entrega do PSS associada ao modelo econômico. A iteração das etapas é um elemento presente no método. Porém o mesmo é baseado no uso, em várias de suas etapas, de uma ferramenta de software, para a modelagem de diferentes perspectivas do PSS, a qual é proprietária, customizada pelos próprios pesquisadores para cada caso, o que inviabilizou sua utilização neste trabalho.

Como não se encontrou uma proposta que pudesse ser selecionada para o emprego neste desenvolvimento, foi necessário construir-se o método integrando-se as propostas da literatura, como realizado por Peffers et al. (2007) e Prat, Wattiau e Akoka (2014). No ponto, Peffers et al. (2007) argumentam que, quando a integração é consensual de outras propostas anteriores encontradas na literatura, sua validade é intrínseca. O amplo reconhecimento ganho pelo DSRM por eles proposto comprovou a veracidade do seu postulado. Assim, buscou-se construir o método a partir das propostas analisadas.

Utilizando-se o método analítico conceitual indutivo (MEREDITH, 1993; COSTA et al., 2018) construiu-se uma estrutura de macro-etapas consensual a partir das propostas analisadas, como representado no Quadro 3. Em seguida, por meio do método analítico dedutivo (MEREDITH, 1993), deduziu-se as atividades e as ferramentas pertinentes para a condução de cada macro-etapa a partir das melhores práticas, ferramentas e modelos de representação identificados nos trabalhos analisados.

Quadro 3 - Macro-etapas do desenvolvimento de PSS identificadas na literatura

continua...

Autor	Geum e Park (2011)	Pezzota, Cavaliere e Gaiardelli (2012)	Tran e Park (2014)
Macro fase identificada	Passos		Passos
Observação / levantamento de cenário	1. Preparação - identificação do propósito do PSS.	1. Geração de requisitos do cliente.	1. Identificação dos atores / desenvolvimento da ideia, conceito.
Ideação da solução PSS	2. Identificação dos produtos e serviços necessários e suas relações com os usuários / produzir o produto.	2. Planejamento, projeto, ou desenvolvimento (engenharia).	2. Planejamento; análise de requisitos; projeto. 3. Integração.
Prototipagem e teste da solução PSS	3. Construção de relações entre usuário, produto e serviços.		4. Teste e Refinamento.
Implementação		3.Implementação (construção e entrega). 4. Avaliação do cliente.	5. Implementação.

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro 3 - Macro-etapas do desenvolvimento de PSS identificadas na literatura

final.

Autor	Costa et al. (2018)	Pezzota et al. (2018)	Andriankaja, Boucher e Medini (2018)
Macro fase identificada			
Observação / levantamento de cenário	1. Exploração: análise da experiência do cliente.	1. Identificação das necessidades do cliente.	1. Estratégia do PSS e análise de contexto.
Ideação da solução PSS	2. Criação: projetar a experiência do cliente com a informação sobre a orquestração dos recursos necessários para os processos de interface com o cliente e internos que viabilizam a mesma.	2. Projeto do conceito da solução - geração e priorização de propostas.	2. Projeto funcional do PSS.
		3. Projeto dos serviços / produto.	3. Projeto detalhado do PSS.
	3. Prototipagem e teste - criação de storyboards e protótipos físicos para	4. Modelamento dos indicadores de performance chaves.	

	realizar a prototipagem de soluções integradas		
Prototipagem e teste da solução PSS	4. Planejamento da implementação - fazer o mapa de rede organizacional. Ajuste e negociação das expectativas, motivações e papéis dos múltiplos atores envolvidos no projeto.		4. Industrialização.
Implementação		5. Implementação.	

Fonte: Construído pelo autor.

Geum e Park (2011), Tran e Park (2014) e Costa et al. (2018) propõem uma primeira etapa na qual são identificados o propósito do PSS, seus elementos e os atores. Tran e Park (2014) acrescentam a ela a análise e a segmentação de mercado. Pezzota, Cavalieri e Gaiardeli (2012), Costa et al. (2018), Pezzota et al. (2018) e Andriankaja, Boucher e Medini (2018) preconizam, para a primeira etapa, a prática do levantamento das necessidades e dos desejos dos clientes a partir de informações como o histórico de satisfação e o serviço de atendimento ao consumidor. Pezzota, Cavalieri e Gaiardeli (2012) observaram também como boas práticas o benchmarking e a coleta de informações estratégicas de mercado, e Andriankaja, Boucher e Medini (2018) incluem, além destas, a coleta de informações e a análise do macroambiente de negócios, do contexto regulatório, político e econômico, dos fatores de concorrência e o levantamento não só das expectativas dos clientes, mas dos pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças (SWOT) dos atores envolvidos. Costa et al. (2018) também propõem a indicação de um líder de projeto para a condução dos trabalhos.

A Macrofase consensual identificada foi: **Observação**, ou levantamento de cenário. Esta etapa envolve a identificação das necessidades do cliente e dos demais atores, a análise de mercado, incluindo o macro e o micro-ambiente de negócios, e do contexto regulatório, político e econômico. Atividades a serem realizadas nesta etapa incluem a escolha de um líder de projeto, o brainstorming com a equipe de desenvolvimento (OSBORN, 1953, appud HOLT, 1996) para a

definição das informações a serem levantadas sobre o cliente, o preparo e a realização de entrevistas semi-estruturadas para a coleta de informações de dados de necessidades dos clientes, o levantamento do ambiente interno e o brainstorming com a equipe de desenvolvimento para a identificação dos pontos fortes, dos fracos, das ameaças e das oportunidades dos atores (COSTA et al. 2018; ANDRIANKAJA; BOUCHER; MEDINI, 2018; PEZZOTA et al. 2018); pesquisa em bases e outras fontes de dados disponíveis para o levantamento dos dados do ambiente regulatório, político e econômico (macroambiente) e do micro ambiente interno (PEZZOTA, CAVALIERI e GAIARDELI, 2012; ANDRIANKAJA; BOUCHER; MEDINI, 2018). Ferramentas de apoio para estas atividades incluem questionários estruturados, e modelos de saída desta macro-etapa incluem a matriz SWOT dos atores mostrando as oportunidades de negócio identificadas, as necessidades do cliente, as funcionalidades pretendidas e o relatório informal sumário do cenário regulatório político e econômico, do ambiente interno dos atores e das restrições de projeto identificadas, com base nas informações identificadas (ANDRIANKAJA; BOUCHER; MEDINI, 2018). As atividades, os objetivos, as ferramentas de apoio e os modelos de representação de saída utilizados em cada sub-etapa estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 – Sub-etapas propostas para a macrofase Observação

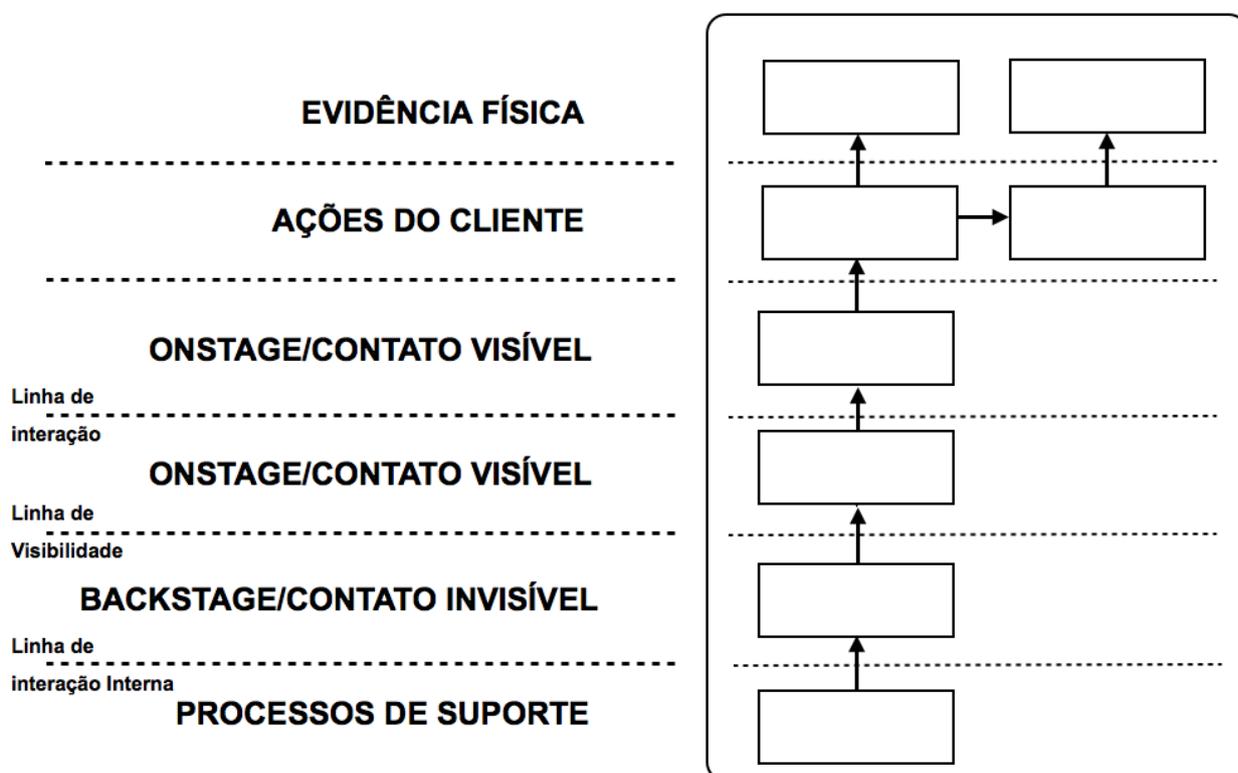
Sub-etapa	Atividade	Objetivo	Ferramenta de apoio / fonte	Saída / Modelo
Identificação das necessidades do cliente.	Brainstorming e entrevistas semi-estruturadas.	Identificar as necessidades do cliente a serem atendidas e entender o ambiente interno.	Questionário estruturado.	Relatório informal sumário do cenário regulatório político e econômico, do ambiente interno dos atores e das restrições de projeto identificadas.
Análise de mercado - macro e micro-ambientes, e do ambiente interno.	Levantamento dos dados do ambiente regulatório, político e econômico.	Identificar oportunidades e restrições de projeto associadas aos cenários regulatório, político e	Bases de dados.	

		econômico.		
Análise SWOT.	Análise SWOT dos atores.	Identificar os pontos fortes, os fracos, as oportunidades e as ameaças.	Matriz SWOT.	Matriz SWOT preenchida.

Fonte: Construído pelo autor.

Após o levantamento de cenário, todos os trabalhos propõem a construção e a priorização de cenários conceituais alternativos de PSS a partir das restrições de projeto identificadas, seguida da etapa de desenvolvimento dos serviços, produtos e redes de atores, pela equipe de desenvolvimento. Andriankaja, Boucher e Medini (2018) e Pezzota et al. (2018) propõem a condução dos trabalhos dando enfoque inicial ao desenvolvimento do serviço. Geum e Park (2011) apresentam, além desta proposta, a possibilidade de o desenvolvimento se iniciar pela área de suporte. Os autores também incluem o desenvolvimento da infra-estrutura tecnológica necessária para prover o PSS. Como atividade para o cumprimento desta sub-etapa, Costa et al. (2018), Andriankaja, Boucher e Medini (2018) e Pezzota et al. (2018) propõem sessões criativas e o uso da técnica de brainstorming. Os autores divergem sobre as ferramentas de apoio a serem utilizadas nesta etapa, porém convergem quanto ao modelo de representação de saída. Pezzota et al. (2018) preconizam o uso da ferramenta Service Blueprint, proposta por Shostack (1982), usando a taxonomia da BPMN. O Service Blueprint é definido por FlieB; Kleinaltenkamp (2004) como “uma pintura ou mapa que apresenta acuradamente o sistema de serviço de forma que diferentes pessoas envolvidas em provê-lo podem entender e lidar com ele objetivamente a despeito de seus papéis ou pontos de vista individuais” (Geum e Park, 2011). Ele é um modelo de fácil apreensão e sua estrutura é demonstrada na figura 9. Para maiores informações sobre o Service Blueprint o leitor pode referenciar-se por Shostack (1982).

Figura 9 - Estrutura do Service Blueprint

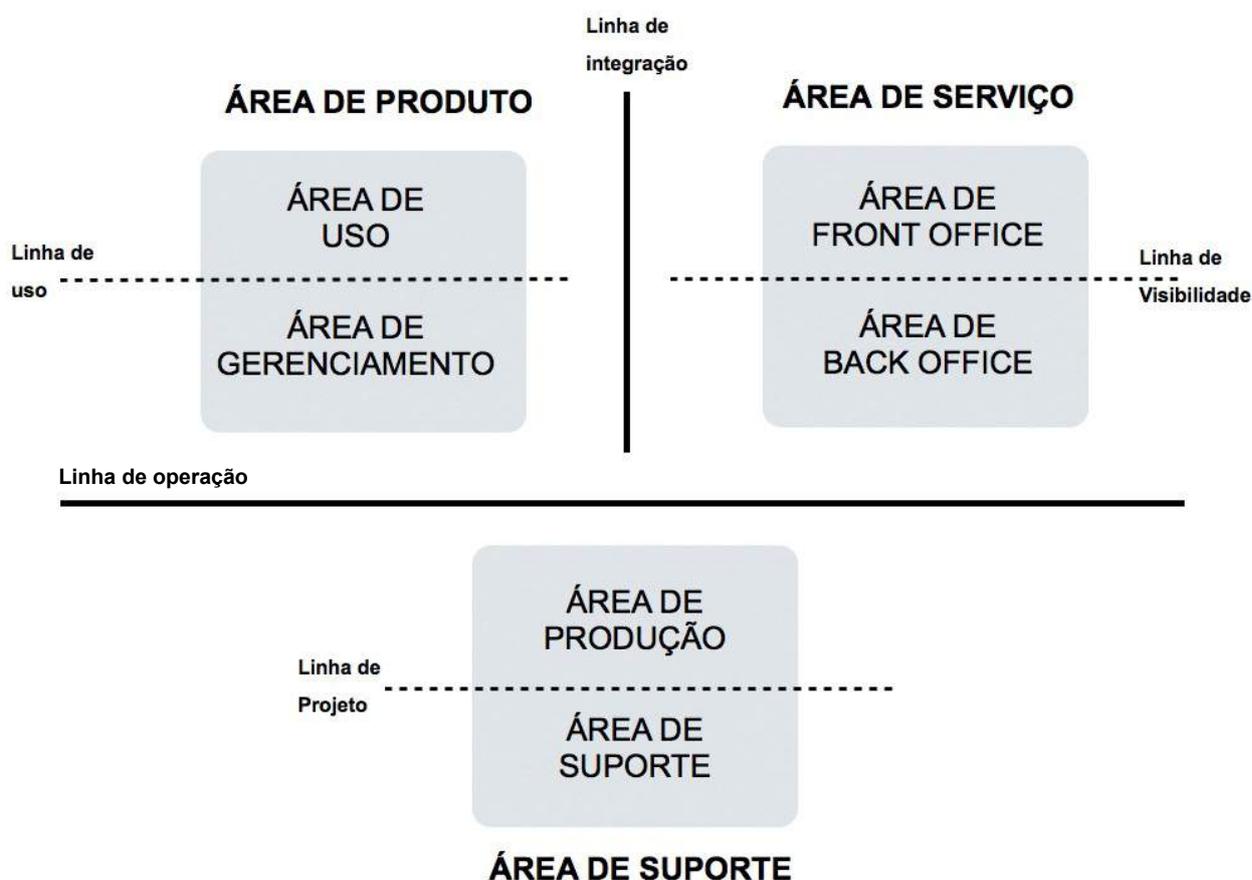


Fonte: Adaptado de Geum e Park (2011)

Andriankaja, Boucher e Medini (2018) e Costa et al. (2018) propõem, respectivamente, a modelagem e a representação por meio de um software proprietário e por um método proprietário (PSS Navigation), ambos com funcionalidade e objetivos assemelhados aos do Service Blueprint. Geum e Park

(2011) estenderam o Service Blueprint para permiti-lo também abarcar as áreas de projeto de produtos e de processos de suporte e apoiar a modelagem das interações entre os atores nas fases de implementação e de uso do PSS. A figura 10 apresenta a estrutura do Service Blueprint para PSS por eles proposta.

Figura 10 - Service Blueprint para PSS

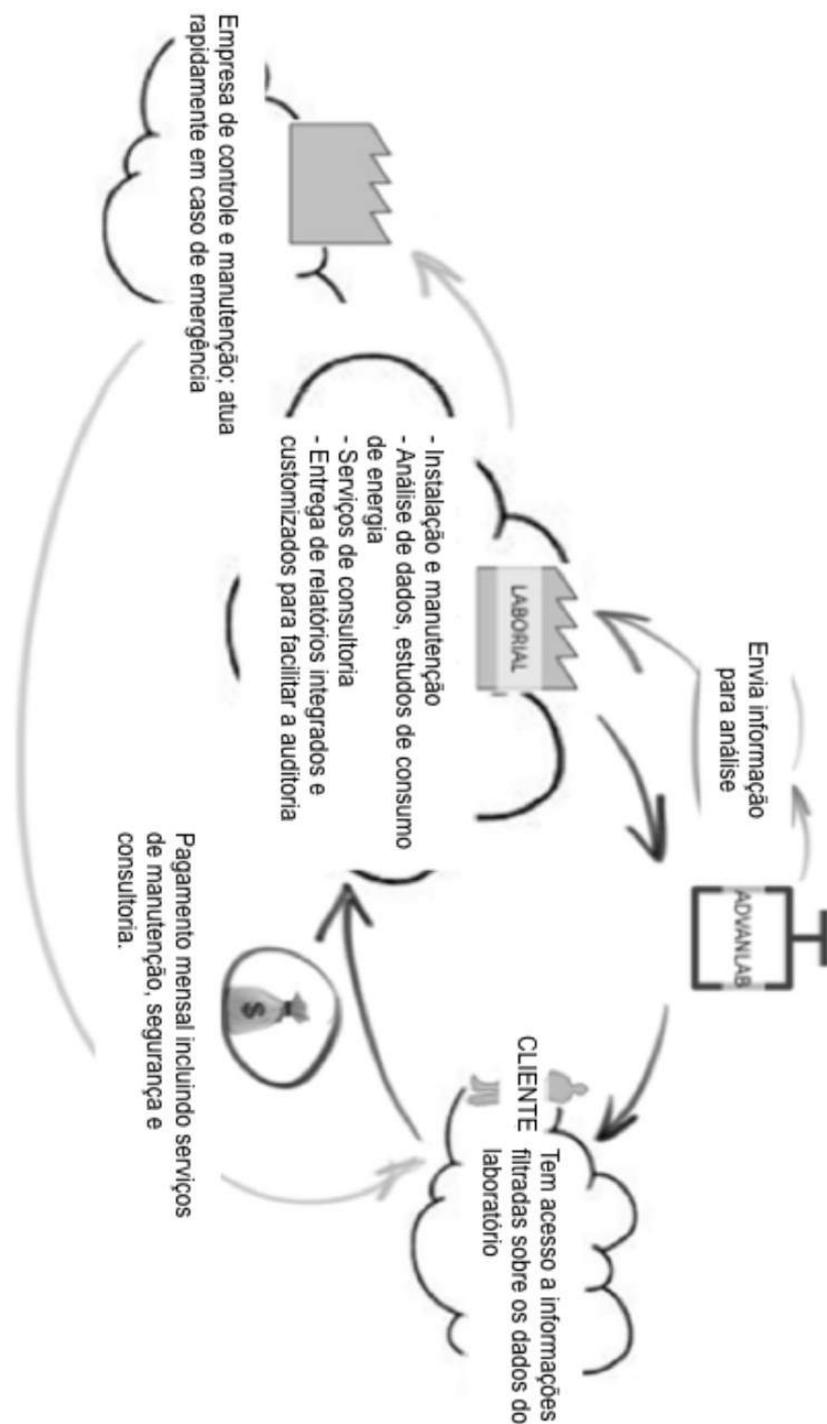


Fonte: Geum e Park, 2011

Em sua proposta, Geum e Park (2011) adicionaram duas linhas para formar o diagrama e facilitar a representação: a linha de operação, que divide a macro-área de suporte das de produto e serviço, e a linha de integração, que divide as atividades relacionadas ao produto daquelas vinculadas a entrega do serviço.

Uma vez projetado, o PSS precisa ser representado de uma forma que permita aos colaboradores dos atores entender sua lógica organizacional. Costa et al. (2018) propuseram uma ferramenta visual simples e eficaz, de assimilação intuitiva, denominada Mapa Organizacional do PSS, apresentada na figura 11. O mesmo é um desenho esquemático, contendo os atores e a representação dos fluxos de valor, serviços e produtos associados ao PSS.

Figura 11 - Exemplo de Mapa Organizacional do PSS



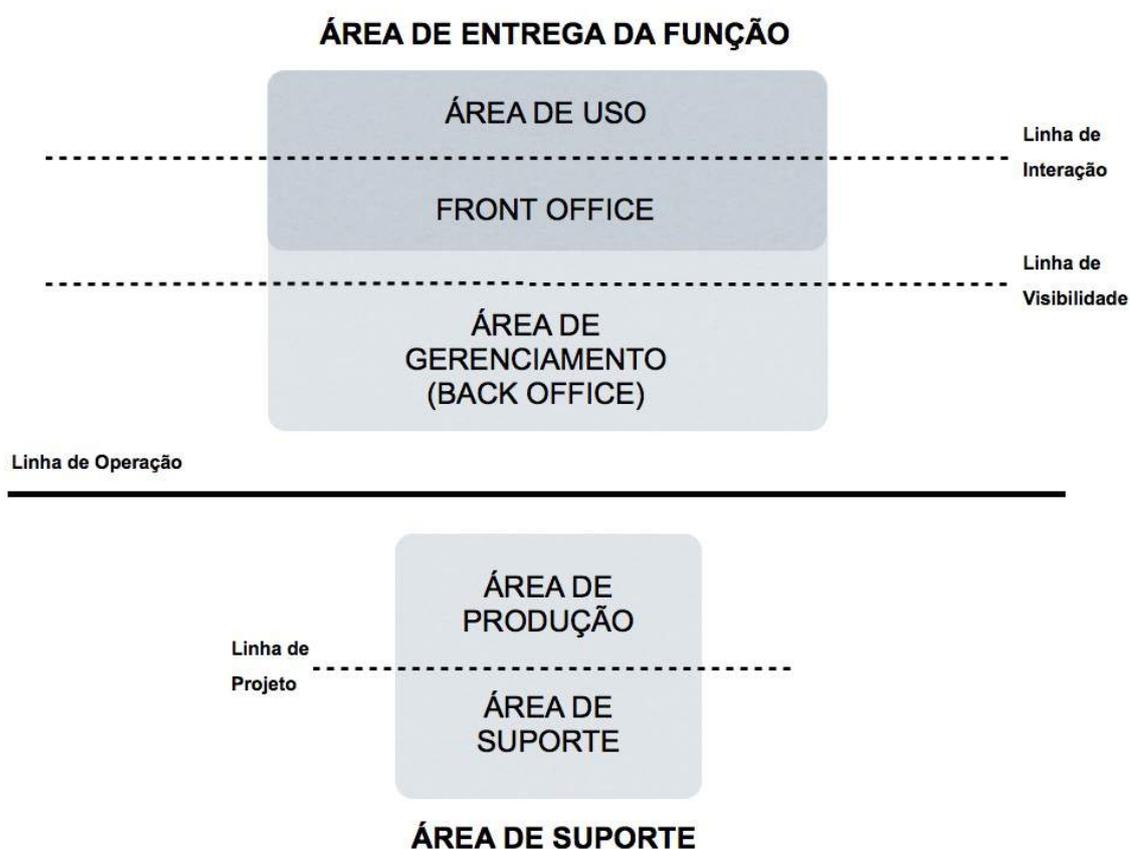
Fonte: Adaptado de Costa et al. (2018).

A partir da análise das propostas da literatura, a macrofase identificada nesta fase foi: **Ideação**, ou projeto e modelamento dos serviços, dos produtos, da infraestrutura e da rede de atores. As atividades para o cumprimento desta etapa são sessões criativas ou brainstorming com a equipe de desenvolvimento (OSBORN, 1953, appud HOLT, 1996), para a definição da proposta de valor, e o projeto dos serviços, dos produtos, da infra-estrutura e da rede de atores que permitem a entrega da função do PSS definida como proposta de valor. Opcionalmente, as sessões criativas podem ser assistidas por computador, sendo realizadas através da internet, por meio de e-mails (HOLT, 1996), caso haja indisponibilidade de todos os participantes para a realização de reunião presencial. As ferramentas de apoio selecionadas para estas sub-etapas foram o método Service Blueprint para PSS, de Geum e Park (2011) e o Mapa Organizacional do PSS, proposto por Costa et al. (2018). Os modelos de saída desta etapa são o Mapa Organizacional do PSS, proposto por Costa et al. (2018) e o diagrama do Service Blueprint para PSS, de Geum e Park (2011).

Notou-se que a condução da modelagem do Service Blueprint para PSS, de Geum e Park (2011) se dá de forma simples, primeiro identificando os elementos necessários para a entrega da função definida como proposta de valor do PSS e em seguida construindo as relações entre eles, considerando o cenário de uso da proposta conceitual priorizada. Contudo é oportuno colocar que a proposta apresenta uma falha conceitual, embora fácil de ser corrigida. O PSS é entendido como uma oferta na qual serviços e produtos estão tão organicamente integrados que não podem ser separados (PARK; GEUM; LEE, 2012). Entretanto, a proposta de modelagem dos autores separa a área de produtos e serviços. Por uma análise do diagrama da mesma (figura 10), bem como das suas aplicações apresentadas no trabalho publicado (Geum e Park, 2011), vê-se que a linha de divisão entre as áreas de produtos e serviços poderia ser abolida sem que com isso perdessem-se informações com relevância para a compreensão do modelo. Além disso, tal procedimento facilitaria a representação do sistema, evitando correrem-se linhas em excesso para conectar elementos da área de produtos com a de serviços, o que

simplificaria também a própria construção do diagrama. Finalmente, esta correção permitira a representação de outra dimensão do PSS: o tempo. Portanto, no método construído para o desenvolvimento do PSS, aboliu-se a linha divisória entre produtos e serviços e incluiu-se a dimensão temporal na representação, avançando-se, no tempo, da esquerda para a direita, como mostrado na figura 12.

Figura 12 - Service Blueprint para PSS modificado



Fonte: Construído a partir de Geum e Park (2011).

Foi realizado outro ajuste para facilitar a operação de modelagem. Os autores propõem um sistema de notação simbólica proprietário, porém relativamente limitado. Ele não permite, por exemplo, representar adequadamente o transcorrer do tempo entre os processos. Além disso, o fato de não haver softwares disponíveis que utilizem os símbolos propostos tornaria a atividade de modelagem desnecessariamente trabalhosa. Portanto, seguindo a proposta de Pezzota et al. (2018), definiu-se adotar a taxonomia da BPMN para representar o Service Blueprint

para PSS modificado. As ferramentas de apoio para a confecção dos diagramas foram o Software Camunda (CAMUNDA, 2019), para a modelagem dos diagramas de orquestração do BPMN, e o software Yaoqiang (SOURCEFORGE, 2019) para a modelagem dos diagramas de coreografia do BPMN.

Um último ajuste foi realizado, objetivando enriquecer a representação do PSS a ser projetado, de forma a facilitar sua compreensão pelos atores participantes. Notou-se que, embora apoiados pela literatura, os modelos de representação de PSS selecionados ainda falhariam em entregar informações importantes como: (i) a organização das informações sobre a estrutura e a funcionalidade do sistema desenvolvido, (ii) o detalhamento dos casos de uso dos eventos de entrega de serviços do PSS em alto nível, de forma simplificada, e (iii) a ilustração do funcionamento do biodigestor durante o ciclo de operação (uso) do PSS. A primeira permitiria aos colaboradores do provedor compreender melhor o sistema e onde encontrar as informações relevantes para aprenderem a desempenhar seus papéis dentro da cadeia de valor do PSS; a segunda possibilitaria aos atores participantes (especialmente os clientes) entender com mais clareza como se processa a geração, a entrega e a captura de valor durante a execução do PSS, por meio de representações gráficas que não entremieiem a descrição dos seus papéis com a do fluxo de informações e objetos que apoiam a entrega do serviço; e a última permitiria entregar aos atores uma visão mais clara de um diferencial do PSS proposto em relação às outras soluções encontradas na literatura – garantir a continuidade do funcionamento do biodigestor durante todo o ciclo de uso do mesmo durante o período de entrega e captura de valor do PSS.

Lane e Bohn (2013) afirmam que a SysML provê um rico conjunto de modelos para apoiar o projeto e o desenvolvimento de sistemas, o qual pode ser também usado para realizar a sua representação. Wolny et al. (2019), que fizeram um mapeamento sistemático da literatura sobre SysML dos últimos treze anos, desde que foi lançado (em 2006), para identificar tópicos relevantes abordados, concluíram que os diagramas introduzidos pela SysML são de grande valia, auxiliando a construir a ponte entre documentos escritos em linguagem natural e casos de uso modelados. No campo da modelagem de PSS, Durugbo, Tiwari e Alcock (2011) argumentam que os diferentes diagramas oferecidos pela linguagem SysML ajudam a enxergar o “cenário completo” do PSS, sendo que Durugbo (2012) afirma que a

SysML provê uma visão comum, clara e consistente do PSS entre os colaboradores do sistema. Além disso, a SysML é considerada uma linguagem padronizada para a representação de sistemas (SYSML, 2020). Assim, optou-se por utilizar os diagramas da SysML como ferramenta de apoio para a representação do PSS, em adição àquelas selecionadas a partir da literatura.

Cumprido ressaltar que como os diagramas SysML foram selecionados como ferramenta *adicional*, não com o propósito de apoiar o desenvolvimento do PSS, mas apenas apoiar sua representação, seu uso tende apenas a *robustecer* e enriquecer a representação do modelo, facilitando seu entendimento por todas as partes envolvidas, não impactando o rigor metodológico definido e seguido na construção do método para o desenvolvimento do PSS. Dito de outra forma, seu uso não impacta o rigor científico desta pesquisa, posto que ocorre ao final da etapa de desenvolvimento, como apoio a representação do PSS criado. Assim, enriquece a entrega de informações sobre o PSS desenvolvido.

A pesquisa das fontes selecionadas na literatura conduziu à constatação de que os 9 diagramas da SysML podem ser convenientemente alocados para cobrir as lacunas identificadas na representação do PSS (DELLIGATTI, 2014; LANE E BOHN, 2013; SYSML, 2020; WOLNY et al., 2019). Segundo Delligatti (2014), o diagrama de pacotes serve ao propósito de mostrar a forma hierárquica na qual o modelo do sistema é identificado e organizado. O diagrama de requisitos possibilita mostrar os requisitos baseados em texto, as relações entre eles e entre os elementos modelados que os satisfazem e refinam (DELLIGATTI, 2014). Ambos foram selecionados, o primeiro para entregar uma visão organizada das informações do PSS, e o segundo para apresentar uma informação gráfica dos relacionamentos entre os requisitos do PSS e os elementos modelados que os satisfazem e refinam.

Os diagramas de blocos permitem mostrar os componentes do sistema, seus conteúdos, interfaces e relacionamentos, e os diagramas de bloco interno mostram o conteúdo estrutural de blocos individuais, quando tal informação for relevante e pertinente (SYSML, 2020). Por esta razão, optou-se pelo uso do diagrama de blocos para mostrar a estrutura de blocos do PSS projetado, e o diagrama de bloco interno para ilustrar o funcionamento do biodigestor.

Segundo Delligatti (2014), o diagrama paramétrico pode ser usado para especificar equações e desigualdades conectadas com as propriedades de um sistema, apoiando análises de engenharia, incluindo massa e custos. Também pode servir para apoiar o diagrama de blocos interno, especificando as regras matemáticas que regem as propriedades do bloco (DELLIGATTI, 2014). Posto que, na entrega do serviço do PSS os biodigestores processarão uma massa conhecida de lixo orgânico produzida pelo município, o diagrama paramétrico afigura-se uma ferramenta útil para a representação do modelamento matemático realizado para chegar-se até a solução, permitindo uma melhor compreensão do funcionamento da estrutura do PSS, bem como apoiando a avaliação de sua viabilidade econômica. Por isso foi incluído no escopo de representação do PSS, para esse propósito.

Nota-se que os modelos de representação selecionados a partir da revisão da literatura - o Mapa Organizacional do PSS, proposto por Costa et al. (2018) e o diagrama do Service Blueprint para PSS, de Geum e Park (2011), modificado – suprem *parcialmente* a demanda de representação do comportamento dinâmico do sistema. O mapa entrega uma visão organizacional com foco nas interações entre os atores, mas não apresenta a sucessão das etapas durante a entrega do serviço, nem a *sequência* de ações que lhes darão cumprimento. Esta deficiência é suprida, em parte, pelo diagrama do Service Blueprint, posto que ele apresenta a sequência das interações entre os atores durante a entrega do serviço e dos processos internos que as apoiam. Contudo, embora adequado para permitir aos colaboradores do provedor do PSS entenderem seus papéis durante o seu ciclo de execução, o modelo não entrega uma visualização simples (de alto nível), que permita aos atores clientes compreenderem facilmente os casos de uso do PSS, pois agrupa a representação dos papéis dos atores clientes com a dos colaboradores e fluxos de objeto e serviços que apoiam o cumprimento de cada etapa. Esta lacuna é suprida pelo diagrama de casos de uso da SysML, pois ele concede uma visão de alto nível do papel que os atores desempenham ao, respectivamente, invocarem e / ou participarem dos casos de uso que o sistema se propõe a atender (DELLIGATTI, 2014), sem poluir o diagrama com informações gráficas detalhadas sobre processos nos quais os clientes não têm interesse direto. Por esta razão ele foi selecionado para apoiar a representação dos mesmos de

modo a entregar uma informação gráfica, de mais fácil compreensão, para os atores do PSS.

A entrega dos serviços durante a execução dos casos de uso projetados gera demandas funcionais. O diagrama de atividades é utilizado para mostrar comportamentos dinâmicos do sistema que satisfazem os requisitos funcionais, (SYSML, 2020), e pode ser usado com o objetivo de detalhar os casos de uso para os colaboradores do provedor do sistema (DELIGATTI, 2014). Os diagramas de sequência e de estado de máquina podem apoiar esta tarefa. O primeiro especificando como as partes de um bloco do sistema interagem, por meio de trocas de sequências de mensagens coordenadas com os eventos, para entregar o serviço; e o último para mostrar o conjunto de estados que um bloco do sistema pode assumir durante o evento de entrega do serviço (SYSML, 2020).

Nota-se que os diagramas de comportamento da SysML (diagramas de casos de uso, de atividade, de sequência e de estado de máquina) são complementares. Convenientemente arranjados, eles se apoiam mutuamente na tarefa de apresentar o comportamento dinâmico do sistema (DELLIGATTI, 2014). Portanto é conveniente usá-los de forma conjugada na especificação de um sistema. Ocorre que, comparando-os com o modelo de representação Service Blueprint selecionado e adaptado a partir da revisão da literatura, vê-se que alguns deles, especialmente os diagramas de Sequência e de Atividades, apresentam informações que se superpõem às entregues por ele como, por exemplo, as apresentações de fluxos de mensagem, de controle e de objetos. Assim, seu uso implicaria em relativa redundância de informação. Contudo, considerando que o PSS é um todo abstrato, portanto de mais difícil assimilação, seu uso contribuiria para enriquecer o conjunto de informações gráficas entregues, contribuindo para uma melhor compreensão do PSS pelos atores envolvidos. Ademais, o uso dos diagramas de atividades, de sequência e de estado de máquina conjugado aos diagramas de casos de uso permite o fracionamento da visão gráfica do todo do PSS, possibilitando um melhor detalhamento de cada parte. Soma-se às razões apresentadas o fato de que o conjunto dos diagramas SysML é considerado um *projeto documentado* (as built), o equivalente a uma *especificação* do sistema modelado, apresentado numa linguagem tida como “padrão” pelo mercado (SYSML, 2020), o que contribui para sua melhor compreensão por eventuais atores interessados em implementar o

sistema, no futuro. Por esta razão, optou-se por utilizar todos os diagramas da SysML, mesmo os que gerarão alguma redundância de informação (os da categoria de *comportamento*), para especificar o PSS desenvolvido. A ferramenta de apoio escolhida para a confecção dos diagramas foi o software Visio (MICROSOFT, 2020), e a notação selecionada para uso foi a da versão atual da linguagem: SysML 1.6 (SYSML, 2019). As ferramentas selecionadas para edição de texto, cálculos e desenhos, foram as padrões disponíveis no mercado: Word, Excel e Powerpoint ou similares, na sua falta, conforme a configuração dos computadores disponíveis.

As atividades, objetivos, ferramentas de apoio e modelos de representação de saídas utilizados em cada sub-etapa desta macrofase estão descritos no Quadro 5.

Sub- etapa	Atividade	Objetivo	Ferramenta de apoio / fonte	Saída / Modelo
-----------------------	------------------	-----------------	--	-----------------------

Projeto do serviço.	Sessões criativas com a equipe de desenvolvimento.	Projetar e definir a proposta de serviços.	Mapa Organizacional do PSS. Software para a construção de imagem (Powerpoint ou similar).	Desenho do Mapa Organizacional do PSS.
Projeto do produto.	Sessões criativas com a equipe de desenvolvimento / levantamento de dados com fabricantes de biodigestores.	Projetar o produto - definir as especificações de um produto do mercado a ser utilizado.	Software de edição de texto.	Relatório informal com as características do produto selecionado.
Projeto da infra-estrutura.	Sessões criativas com a equipe de desenvolvimento / levantamento de dados com potenciais fornecedores da cadeia de suprimentos.	Projetar a infra-estrutura, definir relação de ativos necessários para a implementação da proposta e quantificar o seu custo.	Service Blueprint para PSS modificado; Software de cálculo (Excel ou similar) / Software Camunda para modelagem em taxonomia BPMN.	Tabela de ativos de infra-estrutura necessários e respectivos custos.
Projeto da rede de atores.	Sessões criativas com a equipe de desenvolvimento.	Projetar a rede de fluxos de valor, serviços e produtos associada ao PSS, nas etapas de implementação e uso.	Softwares: Camunda e Visio.	Diagrama do Service Blueprint para PSS modificado; Mapa Organizacional do PSS; Descrição do PSS em linguagem informal; 9 Diagramas da SysML.

Fonte: Construído pelo autor.

Cabe ressaltar que, embora, por questões de representação ordenada na tabela, as sub-etapas de desenvolvimento nesta fase parecem estar sequenciadas linearmente, na prática, são realizadas em ciclos iterativos de projeto conceitual, ideação e validação por comparação com as restrições funcionais levantadas na macrofase *Observação*, até obter-se uma solução que satisfaça minimamente os critérios de funcionalidade estabelecidos.

Uma vez ideada a solução, Pezzota, Cavalieri e Gaiardeli (2012) e Tran e Park (2014) preconizam o teste e a validação da mesma comparando-a com as restrições de projeto. Costa et al. (2018) e Pezzota et al. (2018) sugerem métodos diferentes para a avaliação e teste, porém convergem na defesa da avaliação qualitativa da solução junto ao cliente. Andriankaja, Boucher e Medini (2018) propõem o projeto detalhado de mais de uma proposta de cenário, seguido da análise econômica dos cenários de PSS projetados para a priorização de propostas e também para garantir que as restrições de projeto vinculadas às limitações dos atores sejam observadas. Embora não sugiram uma ferramenta para apoiar esta etapa, há várias opções amplamente conhecidas e validadas para a análise de viabilidade de cenários econômicos.

A proposta de Andriankaja, Boucher e Medini (2018) é particularmente adequada ao escopo deste trabalho, dado ao fato de algumas restrições de projeto levantadas nas etapas anteriores da DSR serem vinculadas a teoria econômica.

A partir da análise das propostas da literatura, a macrofase identificada nesta fase foi: **Avaliação**. Esta etapa coincide com as etapas iv e v da DSR, de *Demonstração da viabilidade do uso e Avaliação do artefato*, posto que o artefato é o próprio PSS. Por consequência, a definição dos critérios de validação do PSS é fruto de uma sobreposição das propostas encontradas na literatura para a condução da DSR e do desenvolvimento do PSS analisadas. Assim, repisa-se que o critério de validação para o provedor foi o da prova lógica, proposta por Simon (1996), e Peffers et al. (2007): a taxa interna de Retorno (TIR) do investimento deve ser maior que ($>$) a taxa mínima de atratividade (TMA) determinada. Ferramentas selecionadas para apoiar esta etapa são o VPL e a simulação de Monte Carlo (METROPOLIS; ULAM, 1949). Foi escolhida a ferramenta Visyond para realizar a simulação de Monte Carlo, a qual é uma ferramenta de planejamento de risco e gerenciamento que realiza simulações e é amplamente utilizada por grandes corporações (VISYOND, 2019).

Para a avaliação da viabilidade para o município, selecionou-se também a prova lógica. O critério é: o custo mensal da solução deve ser *menor que* ($<$) o orçamento mensal atual do município para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos. Os critérios de avaliação do PSS escolhidos para o método não apenas

se relacionam com o problema de pesquisa, como também se alinham com a proposta de Andriankaja, Boucher e Medini (2018) para o desenvolvimento de PSS.

O problema desta pesquisa é enquadrado na classe dos *wicked problems*. Esses foram definidos por Rittel como “uma classe de problemas sociais insuficientemente formulados, onde a informação é confusa, existem muitos clientes e tomadores de decisão com valores conflitantes e as ramificações do sistema como um todo são confusas” (BUCHANAN, 1992). Isso porque municípios, como entidades públicas, e provedores, como entidades privadas voltadas ao lucro, possuem valores conflitantes. Além disso, via de regra, há vários tomadores de decisão nos municípios, e as ramificações que um PSS deve ter para atender a estrutura organizacional dos mesmos não são previamente claras. Hevner et al. (2004) recomenda que, ao lidar-se com *wicked problems*, se busque uma solução satisfatória (não otimizada) para o problema. Assim, no caso desta pesquisa, uma vez que o custo mensal do PSS para o município seja menor (<) que o orçamento mensal atualmente disponibilizado para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos e a taxa interna de retorno (TIR) para o provedor seja maior (>) que a TMA, então a solução é considerada satisfatória.

Conforme a escolha realizada para a etapa de avaliação da DSR, apresentada na seção 3.2, selecionou-se também o método de avaliação funcional, utilizando-se o critério do Argumento informado (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013). Será avaliado se a funcionalidade entregue pelo PSS cobre as lacunas identificadas em trabalhos anteriores, respondendo a questão de pesquisa.

As atividades, objetivos, ferramentas de apoio e modelos de representação de saídas utilizados em cada sub-etapa estão descritos no Quadro 6.

Quadro 6 – Sub-etapas propostas para a macrofase Avaliação

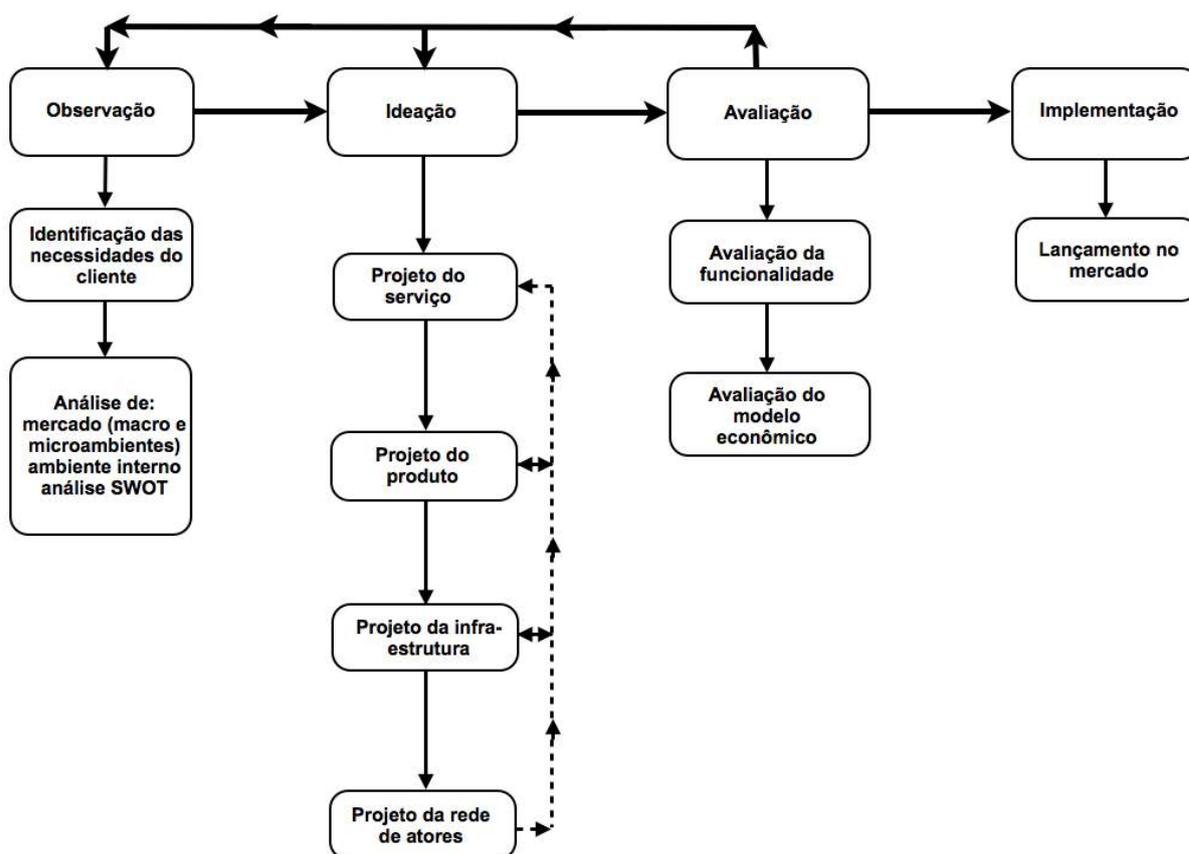
Sub-etapa	Atividade	Objetivo	Ferramenta de apoio / fonte	Saída / Modelo
Avaliação de funcionalidade.	Avaliação funcional: comparar a funcionalidade do	Verificar se a funcionalidade do PSS cobre as lacunas	Software de edição de texto (Word ou similar).	Relatório informal da análise, informando quais lacunas foram cobertas (e quais eventualmente não

	PSS com as lacunas identificadas em propostas anteriores da literatura.	identificadas na literatura, cumprindo o objetivo da pesquisa.		o foram) pela funcionalidade do PSS.
Avaliação do modelo econômico.	Prova lógica: Cálculo do VPL, realização da simulação de Monte Carlo e análise dos resultados.	Verificar se o modelo econômico atende os critérios de viabilidade identificados para os atores clientes e o provedor.	Softwares de cálculo Excel (ou similar) e Visyond.	Relatório informal apresentando a aplicação da prova lógica ao PSS, com Tabela com os dados do cálculo do VPL e Gráficos da simulação de Monte Carlo.

Fonte: Construído pelo autor.

Finalmente, após a avaliação, a etapa final é a **Implementação** do PSS, com o lançamento da oferta no mercado. O diagrama demonstrando as macrofases e respectivas sub-etapas do método proposto para o desenvolvimento do PSS é apresentado na figura 13.

Figura 13 - Fluxograma do método para o desenvolvimento de PSS desenvolvido



Fonte: Construído pelo autor.

Todo o processo é cíclico e iterativo, sendo que, verificado em uma etapa a impossibilidade de atender-se aos critérios estabelecidos, retorna-se para a(s) fase(s) anterior(es) e reinicia-se o ciclo, iterando quantas vezes for necessário, até obter-se uma solução que, avaliada, seja considerada satisfatória. Esta característica do método comprova seu alinhamento com as diretrizes propostas para a condução da DSR por Hevner et al. (2004) e Peffers et al. (2007), e também com a filosofia de condução de desenvolvimento do PSS aparente na proposta de Costa et al. (2018), mostrando sua consequente adequação ao escopo deste trabalho.

Ressalta-se que, pelo advento do novo cenário mundial, fruto da pandemia de Covid 19, que inviabilizou grandemente iniciativas de interação presencial, não foram planejadas etapas de avaliação do PSS pelos possíveis atores participantes (colaboradores do município e usuários potenciais dos biodigestores). Reconhece-se ser esta uma limitação deste trabalho.

Neste capítulo foram apresentados a abordagem metodológica escolhida para a realização deste trabalho (DSR), e a construção do método para projeto do PSS a partir das propostas selecionadas da literatura. No próximo capítulo serão apresentados os relatos: da construção do PSS seguindo o método construído; da avaliação do PSS segundo os critérios definidos neste capítulo e a discussão dos resultados encontrados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez definido o framework da figura 13, avançou-se para a etapa de projeto do PSS. Foi definida uma equipe de quatro pesquisadores voluntários para atuar no projeto. Os membros da equipe possuíam as seguintes formações: (i) um pós doutor em gestão, doutor em administração, mestre em contabilidade e finanças, com MBA em administração de empresas, pós graduado em contabilidade com ênfase em controladoria, engenheiro eletricista e contador; (ii) uma doutoranda em planejamento e governança pública, mestre em políticas públicas e advogada; (iii) uma mestre em governança e sustentabilidade, com MBA em gestão empresarial, especialização em administração de empresas e logística empresarial, graduada em letras e técnica em edificações e (iv) o pesquisador, doutorando em engenharia de materiais e manufatura, com MBA em gestão de marketing, engenheiro eletricista e técnico em eletrotécnica, o qual assumiu o papel de líder do projeto. Os resultados de cada etapa estão apresentados nas sub-seções seguintes.

4.1. OBSERVAÇÃO

A primeira sub-etapa indicada no framework envolve a identificação das necessidades dos clientes, o que inclui identificar o próprio cliente. Para tanto, primeiramente foram realizadas duas reuniões com a equipe de desenvolvimento. As atas das reuniões com as respectivas listas de presença, assinadas, encontram-se no Apêndice 7.

A primeira foi uma sessão criativa realizada no dia 18.06.2019, para definir os critérios de escolha do município alvo (cliente) do PSS a ser projetado e as fontes de pesquisa a serem consultadas para a realização do levantamento de informações que embasassem a escolha do mesmo. Na segunda reunião, realizada no dia 02.07.2019, foram definidos o município alvo e as informações do macro e micro-ambientes de negócios a serem levantadas. Foi definido o uso de questionário estruturado como instrumento de apoio à coleta de informações para a atividade de

condução de entrevistas com representantes da equipe de gestão do município. O questionário foi construído e em seguida validado por uma entrevista prévia com um funcionário da equipe de obras do município escolhido, realizada por telefone. O mesmo encontra-se no Apêndice 8. Os critérios e a análise que conduziram a escolha do município são apresentados a seguir.

Considerando que o objetivo da pesquisa era propor uma solução PSS para auxiliar municípios brasileiros de pequeno porte a cumprirem com os requisitos da PNRS, era necessário selecionar um que fosse representativo do maior número de casos possível. O Brasil possui 5570 municípios, cuja área varia de 3,5km² a 159.000 km². Seu PIB per capita varia de R\$3,3 mil a R\$513 mil (IBGE, 2014). Com tal diversidade é impossível selecionar um município “tipo” que represente todos os demais. Conseqüentemente, buscou-se um que pudesse representar uma parte significativa do todo.

No Brasil, o maior custo associado ao gerenciamento do lixo é o transporte, e 83,4% dos domicílios são atendidos por coleta direta (IBGE, 2015; IFC, 2015). No caso da adoção de biodigestores para integrarem a solução PSS, o lixo orgânico seria tratado onde é produzido, evitando seu transporte. Portanto, quanto maior fosse a área territorial e mais dispersos estivessem os moradores do município, maiores seriam as chances da solução ser viável. Quanto maior fosse o PIB, mais dinheiro ele teria para pagar pelas despesas com o gerenciamento do lixo orgânico. Adicionalmente, se o município fosse pequeno a tarefa de modelar a solução seria mais simples, tornando a avaliação mais fácil de realizar.

Considerando estas variáveis, foi escolhido o município de Porto Amazonas, no Estado do Paraná, pelas razões expostas a seguir. Seu PIB per capita é de R\$20,3 mil, abaixo da média nacional, de R\$29,3 mil (IBGE, 2017). Sua densidade populacional, de 24,19 habitantes / km², é superior à de 52% dos municípios brasileiros. Sua área territorial, de 186,6 km², é inferior à de 78% dos municípios. Portanto, os resultados obtidos pela avaliação do cenário de Porto Amazonas seriam indicativos de viabilidade potencial para municípios contidos na interseção de dois grupos: 52% dos municípios com menor densidade populacional e 78% dos municípios com maior área territorial. Adicionalmente, o fato de possuir PIB inferior a média nacional o torna um melhor representativo da situação de falta de verba, a qual caracteriza o problema dos municípios. Destaca-se que não foi identificada uma

correlação lógica na tríade: “Densidade Populacional X Área Territorial X PIB” que permitisse um melhor refinamento na seleção do município.

4.1.1. - Análises do macro e micro-ambientes e SWOT

Após selecionar o cliente, a equipe avançou para a atividade de levantamento das suas necessidades. Foram realizadas entrevistas com alguns gestores do órgão responsável no município, apoiadas por questionário estruturado, no dia 06 de agosto de 2019. Em paralelo a esta atividade, foi realizado o levantamento do cenário do macro-ambiente, por meio de consulta nas bases de dados disponíveis na internet, nas leis federais, estaduais e municipais e nas regulamentações de órgãos normativos com jurisdição sobre o município de Porto Amazonas. Após colherem-se os dados, a equipe reuniu-se, no dia 13.08.2019 e compilou as informações. Como resultado desta etapa, elaborou-se um relatório informal resumido do cenário regulatório político, econômico, do ambiente interno dos atores e das restrições de projeto identificadas, conforme segue.

“Foram entrevistados o Secretário de Obras do município e outros dois servidores municipais, sendo um vinculado a secretaria de obras (assistente do secretário) e outro a de agricultura. A entrevista com o secretário de obras e seu assistente foi realizada de forma presencial, na sede da secretaria de obras do município, e teve duração aproximada duas horas. Nela foram levantadas as informações sobre como se processa o serviço de coleta do lixo orgânico do município, qual a massa de lixo orgânico coletada mensalmente, a destinação dada a ele atualmente, quem são os responsáveis pela coleta, quais são os custos associados, qual o percentual de domicílios atendidos pelo serviço. Também foram levantadas informações quanto a se o município possui um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, implantado ou em estudo, quais as dificuldades atuais enfrentadas no gerenciamento que se constituem barreiras para se cumprir as metas da PNRS. Foram obtidas também informações sobre a situação atual de caixa do município para cumprir com as atividades de gerenciamento, o cenário regulatório leal delineado por lei municipal, o perfil da equipe de gestão do executivo do município, e sua disposição para abraçar outras propostas inovadoras que tenham

até então surgido, bem como para realizar treinamento e mudar rotinas de trabalho, o eventual interesse em testar novas tecnologias, como a dos biodigestores, proposta no contexto deste trabalho. Por último, levantou-se informações sobre o cenário político local, a relação entre o executivo e o legislativo do município (prefeitura e câmara de vereadores) e a possibilidade de o executivo receber apoio do legislativo local para eventuais mudanças propostas na atividade de gerenciamento, pelo executivo, que demandem alterações de legislação.

Também foi realizada uma entrevista com uma assistente do setor de agricultura do município. Como não foi possível atender ao pesquisador presencialmente, foi realizada a entrevista por telefone. A entrevista teve duração aproximada de 20 minutos. Nela foram levantadas informações sobre quais produtos agrícolas são produzidos no município, qual é a área de plantio aproximada por proprietários privados, quais as principais culturas, se há programas de horta comunitária e qual a área de plantio eventualmente utilizada por estes programas.

As informações obtidas pelas entrevistas foram comparadas com os dados disponíveis no Caderno Estatístico de Porto Amazonas (IPARDES), com os da Lei Municipal 1050 que regula o convênio para o uso do aterro sanitário da cidade vizinha de Palmeira-PR, e com um estudo de impacto ambiental de um projeto de transmissão de energia para a região, realizado por uma empresa de consultoria (GEOCONSULTORES, 2018; IPARDES, 2019; PORTO AMAZONAS, 2016). Durante a entrevista, todos os desvios relativos aos dados dos documentos foram esclarecidos.

Porto Amazonas possui cerca de 1380 domicílios ocupados. A administração provê o serviço de coleta do lixo orgânico, o qual cobre toda a área urbana e 70% da área rural. Os cidadãos que ocupam a área rural têm que carregar seu lixo orgânico e depositá-lo numa lixeira coletiva localizada nas proximidades das suas casas. Os habitantes dos outros 30% das casas na área rural possuem o hábito de queimar o lixo ou lançá-lo em valas. O município terceiriza os serviços de poda, de varrição e de recolhimento dos resíduos de construção civil com um fornecedor privado, o qual também se responsabiliza pela destinação dos mesmos. Assim, o gerenciamento dos serviços de coleta e destinação de resíduos de poda e varrição compõem um centro de custo diverso do de resíduos sólidos orgânicos. Segundo informado, o fornecedor terceirizado realiza o descarte dos mesmos de duas formas diversas:

utiliza os resíduos de construção civil para a realização de aterro em propriedades privadas e queima ou enterra, conforme o caso, os resíduos de poda e varrição. Porto Amazonas também realiza a coleta de lixo reciclável, mas possui outra equipe e outro centro de custo para este gerenciamento.

A área urbana é atendida por um serviço de coleta semanal de resíduos orgânicos. Quatro toneladas de lixo são coletadas diariamente e enviadas a um aterro sanitário localizado na cidade de Palmeira, a 70km de distância do centro da cidade. O município paga R\$9.108,00 mensais pela entrega do lixo no aterro. Ressalta-se que a quantidade de lixo coletada informada é uma estimativa empírica dos entrevistados. Não se faz um controle preciso, documentado.

A cidade possui 460 domicílios. Nela também estão situados 82 estabelecimentos empresariais, incluindo indústrias, empresas de serviços e a administração municipal. Juntas, elas empregam cerca de 960 pessoas.

Três empregados realizam o serviço de coleta de lixo orgânico, sendo um motorista e dois coletores, com salários mensais de, respectivamente, R\$2.200,00 e R\$1.200,00. O caminhão de lixo consome uma média de 1 litro de diesel para cada 4,5km percorridos. São consumidos 500 litros por mês, ao custo de R\$3,36 por litro.

Porto Amazonas não conta com um Departamento de Serviço de Atendimento ao Consumidor. A equipe de gerenciamento é aberta a ideias inovadoras e os empregados frequentemente recebem cursos de treinamento, sendo que alguns deles agem, mais tarde, como mentores de treinamento interno. Os respondentes não reportaram registros de insatisfação com o sistema atual de gerenciamento. Os moradores estão aculturados ao modelo e têm um perfil conservador.

A atividade econômica predominante no município é a agricultura. São cultivados: soja, milho, trigo, batatas e frutas. Destaca-se que todos esses requerem o uso de fertilizante, o qual é um sub-produto dos biodigestores. Segundo informado, não havia programa de horta familiar em desenvolvimento, no momento.

De acordo com a lei nacional brasileira 12.305/2010, o gerenciamento do lixo é da competência dos municípios (BRASIL, 2010a). Para cumprí-la, bem como adequar-se às diretrizes da PNRS, Porto Amazonas celebrou um convênio com o município de Palmeira, instituído pela lei municipal 1050, de 17.08.2016, para depositar seu lixo no seu aterro (PORTO AMAZONAS, 2016). Mas ainda não atende

integralmente a legislação, pois parte dos domicílios não são atendidos por coleta e, em muitos domicílios, o lixo é queimado, o que é proibido (BRASIL, 2010).

A venda de gás e combustíveis líquidos no Brasil é regulada pela Agência Nacional de Petróleo e Gás (ANP) (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018). Assim, a produção e a venda de combustíveis não aprovados é ilegal até a ANP lançar uma nova resolução regulando a atividade. A produção e a venda de biometano gerado a partir de resíduos agrícolas e gases de aterro é regulada através das resoluções no. 8 de 2015, no. 658 de 2017 e no. 734 de 2018”.

Também construiu-se a matriz SWOT da administração, como preconizado por Kotler (2000), a qual é apresentada no Quadro 7. A coluna *Orientação* descreve as ações que poderiam ser consideradas na solução, baseando-se na oportunidade visualizada e nas forças e nas fraquezas identificadas.

Quadro 7 - Matriz de confrontação SWOT da administração do município

OPORTUNIDADE	FORÇA / FRAQUEZA	ESTRATÉGIA	ORIENTAÇÃO
Propor um PSS que envolva a locação de biodigestores pelo município a um preço mensal igual ou inferior ao custo atual de	PONTOS FORTES	OFENSIVA	Projetar um programa de treinamento sobre o modelo e a tecnologia de biodigestão anaeróbia. Desenvolver um modelo PSS.
	Não há problemas de caixa.		
	Equipe de gestão e administração aberta a inovações.		
	Há funcionários dispostos a aprender e agir como tutores.		

gerenciamento.	A equipe de gestão está disposta a testar novas tecnologias.		
	PONTOS FRACOS		
	Falta de disposição dos funcionários para trabalhar na coleta de lixo. Não há equipe de ouvidoria. Atendimento ao consumidor concentrado no secretário de obras. Coleta de lixo não é feita com regularidade nas regiões rurais. Lixo de cerca de 30% dos domicílios rurais é queimado.	CONFRONTO	Re-alocar os catadores para atividades de manutenção dos biodigestores.
		CONFRONTO	Incluir Serviço de Atendimento ao Consumidor, realizado pelo provedor, no PSS a ser projetado. Prover biodigestores para tratar o lixo na fonte geradora.
	Dificuldades de aprovação de novas propostas na câmara de vereadores.	DEFENSIVA	Realizar uma apresentação prévia da solução para vereadores e representantes da comunidade, mostrando as vantagens da tecnologia e seus benefícios ambientais, econômicos e sociais.

Fonte: Construído pelo autor.

4.2. Macrofase de Ideação

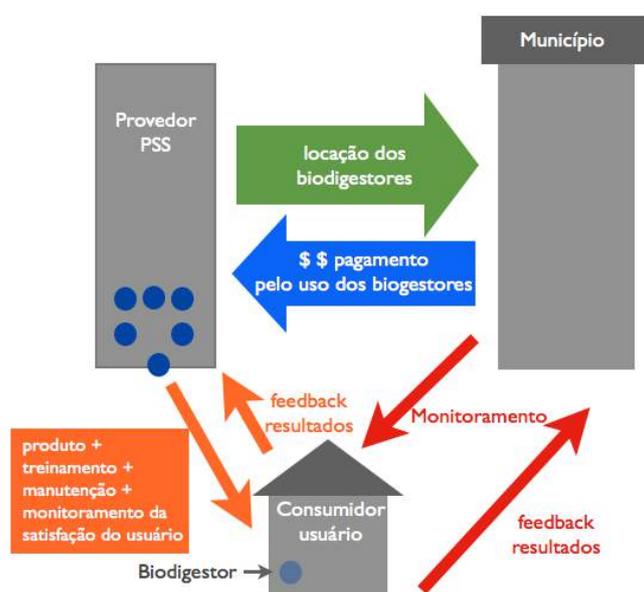
Seguindo o framework, a equipe de desenvolvimento realizou, no dia 13.08.2019, uma sessão criativa para a realizar a ideação do PSS, com base na matriz SWOT e nas informações obtidas através das entrevistas com os gestores do município e das consultas realizadas nas bases de dados.

A equipe mapeou o modelo tradicional de gestão de resíduos sólidos orgânicos de Porto Amazonas e elaborou uma proposta de serviços para atender a oportunidade identificada, a qual resultou no esboço de um Mapa Organizacional do PSS preliminar (figura 14). Ressalta-se que, dadas as restrições de projeto, de ordem econômica, consideradas, a tarefa de propor soluções que se encaixassem no orçamento atualmente disponível foi difícil e, embora tenha sido realizada uma sessão criativa, as opiniões convergiram para apenas uma proposta. O fato de três

dos participantes da equipe terem formação na área de exatas e experiência na área de gestão de custos contribuiu para a convergência das ideias e proposições.

Figura 14 - Mapa Organizacional do PSS - proposta preliminar

Modelo proposto - PSS:



Fonte: Construído pelo autor.

A proposta conceitual de serviços consiste na entrega da função “tratamento do lixo orgânico sólido domiciliar produzido mensalmente conforme a PNRS”, através da locação de kits de biodigestores para o município. A administração do município será responsável pelo pagamento mensal do serviço. Os biodigestores serão instalados diretamente nas unidades geradoras de lixo e o biogás será consumido por elas, ou seja, no próprio local onde for produzido.

A proposta de valor a ser entregue pelo provedor para a prefeitura consiste em tratar o lixo orgânico domiciliar produzido pelo município de Porto Amazonas em conformidade com a PNRS. A *unidade funcional* é igual a produção mensal de lixo orgânico de Porto Amazonas, a ser devidamente processada pelos biodigestores. O cálculo de viabilidade será realizado para uma unidade funcional. A principal fonte

de receita do provedor do PSS identificada foi o valor pago pela prefeitura de Porto Amazonas pela locação dos biodigestores - a qual foi considerada no Mapa Organizacional do PSS delineado.

A aceitação da proposta do PSS impactaria o contrato celebrado para o uso do aterro da cidade de Palmeira. Assim, entendeu-se ser prudente recomendar que seja realizada uma apresentação da solução para a administração e a câmara de vereadores do município, explicando os benefícios da solução, embora esta não integre o PSS.

Em seguida, avançou-se para a sub-etapa de projeto do produto. Pelo fato de nenhum dos membros da equipe possuir expertise na construção de biodigestores, optou-se por buscar soluções de mercado prontas. Foram levantadas as opções de biodigestores de pequeno porte disponíveis no mercado, coletando informações sobre preço, suporte técnico disponibilizado pela fábrica, durabilidade quando exposto ao ar livre, facilidade de uso e adaptação para a alimentação dos fogões movidos a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), que é o tradicional gás de cozinha.

Para entender melhor o funcionamento, conforme delineado no método, o pesquisador fez uma visita a um fabricante, localizado em Curitiba, Paraná, para conhecer as exigências de manutenção e de suporte do produto selecionado, ocasião na qual foi realizada uma entrevista aberta com um dos sócios da empresa, na qual foram levantadas informações sobre a resistência, exigências de instalação, atividades necessárias para colocar o produto instalado na condição *operacional*, vida útil do equipamento e dos acessórios e demais aspectos associados a experiência da empresa com os biodigestores instalados em diferentes localidades.

Também foram levantados custos de itens de suporte e infraestrutura cuja necessidade foi identificada, como um caminhão “limpa-fossa” para o transporte dos resíduos fertilizantes produzidos pelos biodigestores, e custos de mão de obra, entre outros, especificados na Tabela 2. Foi ainda elaborado um modelo econômico de custos associados ao produto, ao treinamento e a manutenção, para realizar a modelagem econômica prévia de cenários alternativos, utilizando-se o software de cálculo, e foi realizado o mapeamento de todas as vias públicas do município de Porto Amazonas para apurar os custos logísticos do provedor na entrega da solução.

De posse das informações, a equipe se reuniu novamente, no dia 27.08.2019, para analisar as informações coletadas e realizar as sub-etapas de projeto do produto, da infra-estrutura e da rede de atores do PSS, considerando as restrições levantadas.

Foram identificados dois fabricantes de biodigestores locais e um importador de um fabricante estrangeiro. Nenhum dos fornecedores possui serviços de suporte operacional ao usuário por técnicos de campo nem está plenamente ciente de todos os problemas operacionais decorrentes da desinformação e ou da falta de acompanhamento posterior do cliente, identificados nas referências bibliográficas. Assim, concluiu-se que considerar o fabricante como o provedor do PSS envolveria o transpor-se barreiras culturais internas para mudar sua estratégia. Então, a equipe decidiu que o melhor seria considerar um cenário hipotético no qual uma terceira empresa compraria o produto mais adequado ao desenvolvimento e proveria a solução.

Considerou-se, de acordo com as informações levantadas, que os três produtos disponíveis no mercado são tecnicamente equivalentes. Então, o critério para a seleção do melhor parceiro fornecedor foi o de preço de aquisição do kit do biodigestor. Nem todos ofereciam um kit completo. Assim, o custo de aquisição dos itens não fornecidos por uma empresa foi adicionado ao preço do seu biodigestor para se obter um preço equalizado. A comparação entre eles é apresentada na Tabela 1. Com base neste critério, o produto do fabricante “A” foi selecionado.

Tabela 1 - Comparativo de preços do biodigestor

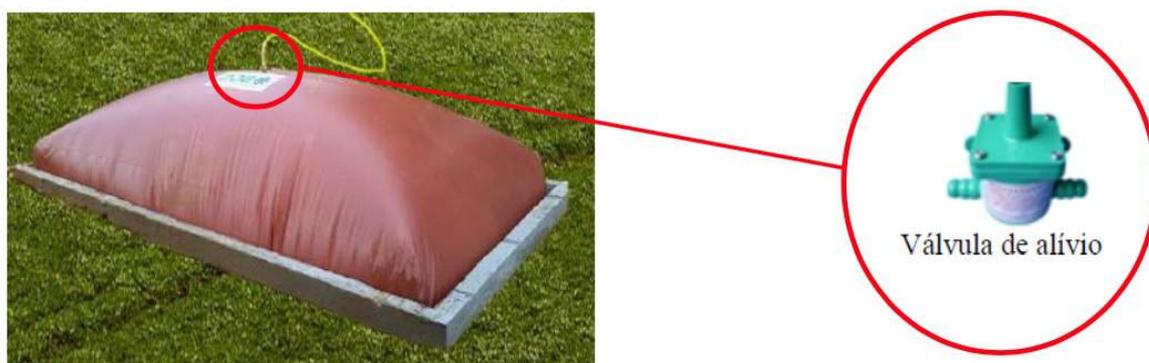
Fabricante	A	B	C
Capacidade do biodigestor	1m ³	1m ³	0,6m ³
Preço equalizado	R\$1.905,00	R\$2.691,00	R\$5.900,00

Fonte: Construído pelo autor.

Como saída desta etapa especificou-se o produto conforme o relatório informal a seguir:

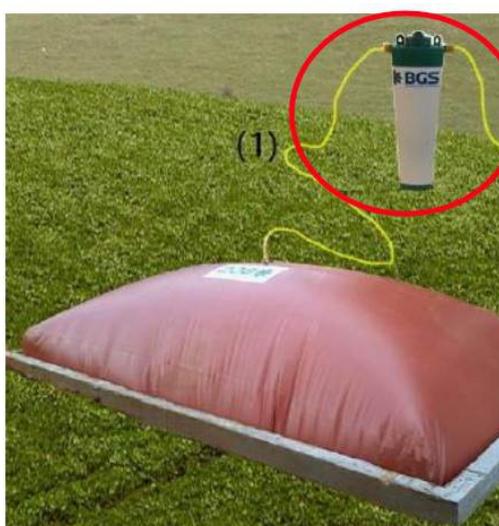
“Especificou-se um biodigestor doméstico com capacidade de 1 m³, fabricado em material polimérico reforçado por malha trançada, equipado com válvula de alívio, filtro de gás sulfídrico (H₂S), medidor de vazão de gás e pressurizador (Figuras 15, 16, 17 e 18). O produto deve acompanhar uma mangueira de alimentação de gás GLP de 3/8” e espessura de 4mm, para a interconexão das peças do sistema e do mesmo ao fogão. Deve ser instalado um filtro de H₂S para evitar a corrosão dos fogões pelo gás, pois o H₂S é corrosivo. Ele também remove o mau cheiro característico do biogás, produzido pelo H₂S (BARROS, 2020)”.

Figura 15 - Imagem do biodigestor selecionado para o desenvolvimento do PSS



Fonte: Santos, (2019).

Figura 16 - Imagem do filtro de H₂S do biodigestor



Fonte: Santos, (2019).

Figura 17 - Filtro de H₂S e medidor de vazão do biodigestor



Fonte: Santos, (2019).

Figura 18 - Pressurizador



Fonte: Santos, (2019).

Após definir o produto a ser utilizado, a equipe avançou para a sub-etapa do projeto da infraestrutura. Com base nas informações sobre os biodigestores, dos custos dos ativos necessários levantadas, e na experiência da equipe, analisou-se o cenário proposto e identificou-se as ações de suporte necessárias. Os biodigestores exigem cuidados especiais de manutenção para começarem a funcionar e também para continuarem operacionais. Para efetuar-se o início de operação é necessário carregá-los com um inóculo de estrume e água. O fabricante escolhido recomenda estrume bovino.

O provedor também deve fornecer informações para os usuários sobre como alimentar os biodigestores. O fabricante A orienta o usuário a colocar uma parte de água igual, em volume, à do lixo orgânico depositado. Os biodigestores não podem processar ossos, plástico e outros materiais não orgânicos, nem excesso de cascas de frutas cítricas (laranja, por exemplo) em cada carga. O conteúdo dos biodigestores precisa ser levemente movimentado a cada 15 dias, para garantir a continuidade do processo de produção de biogás pelas bactérias. O biofertilizante

também precisa ser coletado com a mesma periodicidade, para evitar a perda de material pelo extravasor.

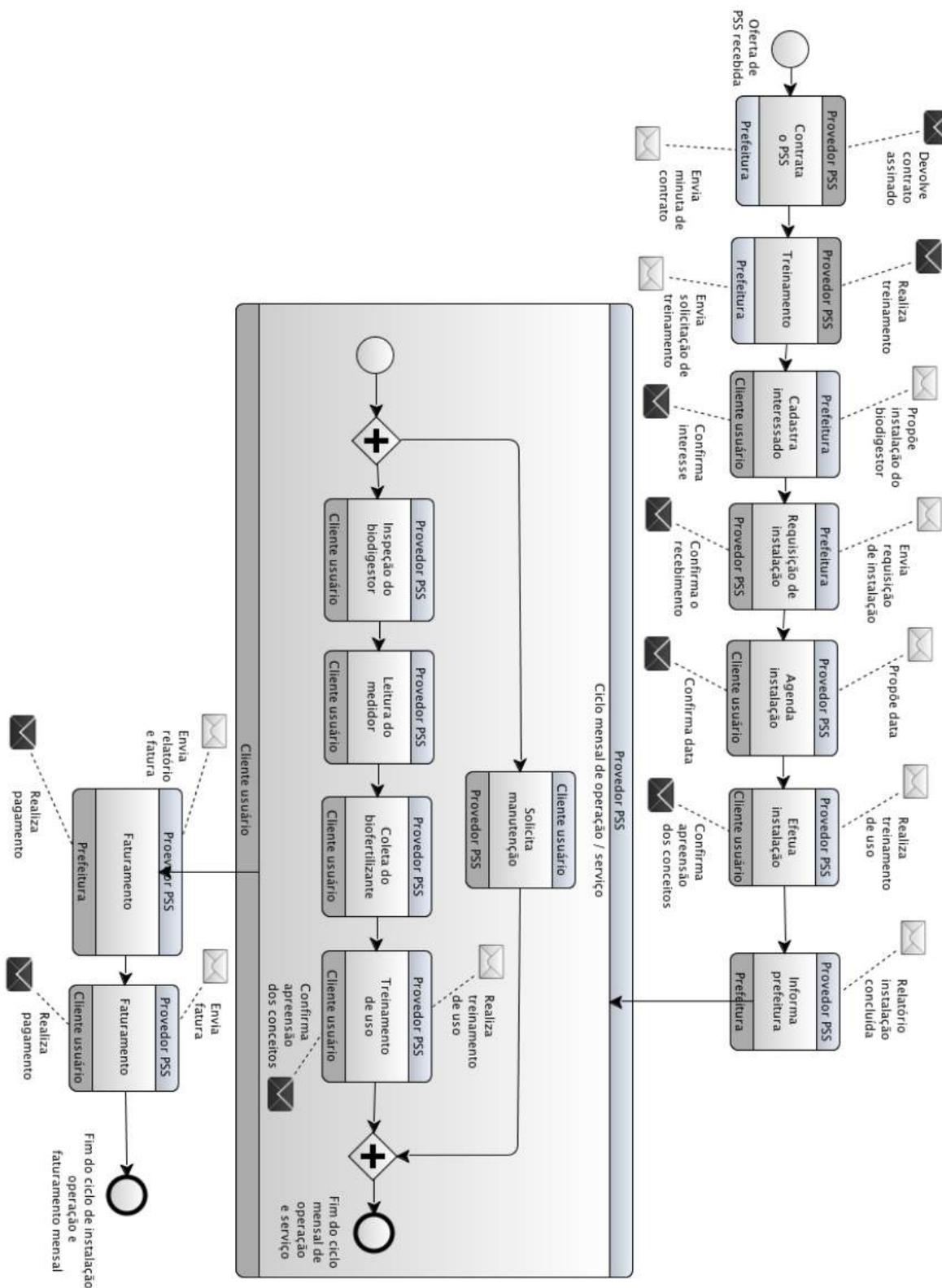
Com base nas informações obtidas sobre a manutenção dos biodigestores, foi necessário iterar retornando para a sub-etapa do projeto de serviços. Então incluiu-se, no projeto do serviço do PSS, os serviços de treinamento dos usuários, de inspeção e de manutenção operacional com frequência quinzenal, dos biodigestores. Verificou-se que o lixo não processado no biodigestor poderia ser coletado pelo serviço de coleta de lixo não orgânico, o qual é atualmente provido pelo município, não ocasionando novas demandas de suporte para o PSS. Considerou-se que o estrume para uso como inóculo poderia ser obtido sem custo adicional, coletando-se nas propriedades rurais do próprio município, na medida em que os biodigestores fossem instalados, sendo este fornecido pela prefeitura.

Nesta iteração foram identificadas e incluídas no modelo duas novas fontes potenciais de receita para o provedor PSS: a venda do biofertilizante para agricultores da região e do biogás para o usuário hospedeiro do biodigestor. Em seguida, levantou-se e orçou-se uma lista preliminar de ativos de infra-estrutura necessários para a realização do PSS e passou-se para o projeto da rede de atores.

Realizou-se então o projeto da rede de atores, esboçando-se um novo Mapa Organizacional do PSS contendo os fluxos de valor, de serviços e de produtos associados ao PSS. Nesta etapa, verificou-se ser necessário iterar, retornando ao projeto de serviços e de infra-estrutura, para refinar a lista dos ativos necessários para atender também os fluxos de mensagens e de treinamento identificados.

Então, após a realização dos ajustes, conforme o método definido, o PSS foi modelado e representado na linguagem BPMN. Primeiramente fez-se o diagrama de coreografia do BPMN, envolvendo as fases de instalação, operação (uso) e faturamento dos serviços entregues pelo provedor ao município, apresentado na figura 19.

Figura 19 - Diagrama de coreografia - Service Blueprint para PSS modificado



Fonte: Construído pelo autor.

Nas extremidades de cada caixa são mencionados os atores participantes e, no respectivo centro, a atividade desenvolvida. Em cada caixa, a tarja clara sinaliza qual ator inicia o processo. Por exemplo, na primeira caixa a esquerda, a partir da oferta do PSS recebida, a Prefeitura inicia o processo de contratação, enviando a minuta do contrato, simbolizada pelo envelope claro. O envelope escuro ligado ao Provedor PSS sinaliza a devolução da mensagem com a resposta correspondente. Em seguida (na próxima caixa, avançando para a direita), a Prefeitura envia a

solicitação de treinamento do seu pessoal, a fim de que sua equipe de gestão possa entender como funcionará o sistema. Este treinamento foi projetado para capacitar os colaboradores da Prefeitura a interagir com os clientes usuários, tanto para incentivá-los a tornarem-se hospedeiros dos biodigestores em suas casas, quanto para atendê-los em eventuais demandas pontuais recebidas, as quais, por descuido ou desinformação eventual dos usuários, não venham a ser encaminhadas diretamente para o provedor.

O diagrama permite a visualização dos principais fluxos de comunicação entre os atores durante as etapas de instalação e operação do PSS. A identificação dos mesmos através das caixas auxiliou na tarefa de visualização das atividades desenvolvidas durante a entrega do PSS e subsidia o projeto dos ativos necessários para garantir-se a entrega do serviço. Contudo, a equipe não desceu ao nível de detalhamento de todas as atividades em cada interfaceamento identificado. Considerou-se que tal atividade é relegada a fase de implementação da proposta, pois exigiria a identificação do provedor e o conhecimento das peculiaridades de sua estrutura operacional, como localização geográfica, rotina atual de trabalho, entre outras.

O centro de cada caixa, dividindo as extremidades onde são apostos os nomes dos atores, corresponde também as linhas divisórias entre os mesmos, propostas no diagrama do Service Blueprint para PSS modificado. No caso da segunda caixa a esquerda, por exemplo (atividade de Treinamento), o centro corresponde à linha de interação, onde ocorre a interação entre o “front office” do Provedor PSS e a Prefeitura, como cliente. Contudo, notou-se que o diagrama de coreografia da linguagem BPMN nem sempre permite a identificação clara das linhas divisórias propostas no Service Blueprint para PSS modificado. Por exemplo, na primeira caixa da esquerda (atividade “Contrata o PSS”) há duas linhas (não visualizáveis) de separação entre os atores. Na atividade “Contrata o PSS” a Prefeitura primeiramente entrega a minuta de contrato para o Provedor PSS. Neste momento o interfaceamento se dá com o “front office” do Provedor PSS, ou seja, na linha de interação. A equipe de front office recepciona o contrato. Então, o encaminha para a assinatura dos gestores, localizados na área de gerenciamento do Provedor PSS. Nesta fase, ocorre a transposição da “linha de visibilidade”, que divide o front office

do back office do Provedor PSS. Finalmente, o contrato faz o caminho inverso e volta para a Prefeitura.

A deficiência do diagrama de coreografia da linguagem BPMN no representar as linhas divisórias propostas no Service Blueprint para PSS modificado é suprida pelos diagramas de orquestração da linguagem BPMN (figuras 20 e 21). A figura 20 apresenta o diagrama de orquestração do BPMN dos processos envolvidos até o término da instalação dos biodigestores.

Figura 20 - Diagrama Service Blueprint para PSS modificado - instalação

Observa-se uma separação nítida entre os atores. Cada linha de separação corresponde a uma linha do Service Blueprint para PSS modificado (SBPSS). Por exemplo, a linha que separa as piscinas do Cliente Usuário e do Provedor PSS corresponde a linha de interação. Já a área de separação entre a piscina do Provedor PSS e a do Fornecedor corresponde a linha de operação.

Vê-se que as piscinas do Provedor PSS e do Fornecedor são divididas, cada uma por uma linha interna. No caso do Provedor esta é a *linha de visibilidade*, que divide o “front office” do “back office” e separa os processos visíveis pelo cliente dos invisíveis. Na piscina do Fornecedor, a linha divisória corresponde a *linha de projeto*, a qual separa os processos de gerenciamento e front office do fornecedor dos relacionados com as alterações no projeto do produto decorrentes de demandas do Provedor PSS.

As linhas tracejadas do diagrama de orquestração da figura 20 representam os fluxos de comunicação entre os atores. As caixas retangulares e suas linhas de conexão representam processos internos (ações) realizados por cada ator, com suas respectivas inter-relações.

Nota-se que o diagrama de orquestração permite uma visualização dos processos realizados para a materialização das entregas aos clientes pelo provedor, previstas no PSS. Por outro lado, o diagrama de coreografia concede uma visão geral resumida das principais interações entre os atores envolvidos no processo do PSS. Neste sentido, ambos diagramas se complementam. Enquanto o de coreografia apresenta uma visão macro do cenário e dos fluxos de comunicações entre os atores, o diagrama de orquestração permite a extratificação dos processos envolvidos, dando suporte às atividades de orçamentação e implementação efetiva da proposta.

Dado o fato de que o diagrama de orquestração da figura 20 já consiste-se numa exposição de informações, em linguagem gráfica, entende-se que ele dispensa a apresentação das suas informações em forma narrativa, evitando a prolixidade. O leitor interessado em compreender melhor a codificação das informações visuais embutida na linguagem BPMN (simbologia) pode basear-se por Dumas et al. (2013).

Voltando ao diagrama de coreografia da figura 19, na próxima caixa (terceira a partir da esquerda) identificou-se a atividade do cadastramento de clientes usuários interessados em hospedar os biodigestores em suas propriedades em troca do benefício de desconto nos gastos com gás de cozinha. Previu-se que a prefeitura, sendo o ator legalmente responsável por gerenciar o lixo produzido pela comunidade, realize o cadastramento dos clientes usuários interessados em hospedar o biodigestor.

Há várias atividades que podem ser desenvolvidas para viabilizar esta etapa. Propôs-se a realização de eventos de apresentação dos benefícios do PSS para a comunidade, no formato de palestra seguida de seção de perguntas e respostas. Durante os mesmos, o provedor e a prefeitura poderão apresentar os benefícios da proposta para os clientes individuais e para a comunidade como um todo. Ao fim de cada evento, caberá a Prefeitura cadastrar os usuários interessados em hospedar o biodigestor em troca de obterem economia no consumo de gás de cozinha. Assim, prevê-se uma implementação gradual do serviço.

Em seguida, conforme identificado na quarta caixa a partir da esquerda, a Prefeitura encaminha requisições de instalação para o Provedor PSS. Ele, por sua vez, realiza os processos de agendamento, de instalação do biodigestor e de informar a prefeitura sobre a instalação concluída (identificados na quinta, sexta e sétima caixas). Este procedimento possibilita o controle do número total de biodigestores instalados, o que subsidiará o posterior faturamento do serviço de locação mensal pelo provedor.

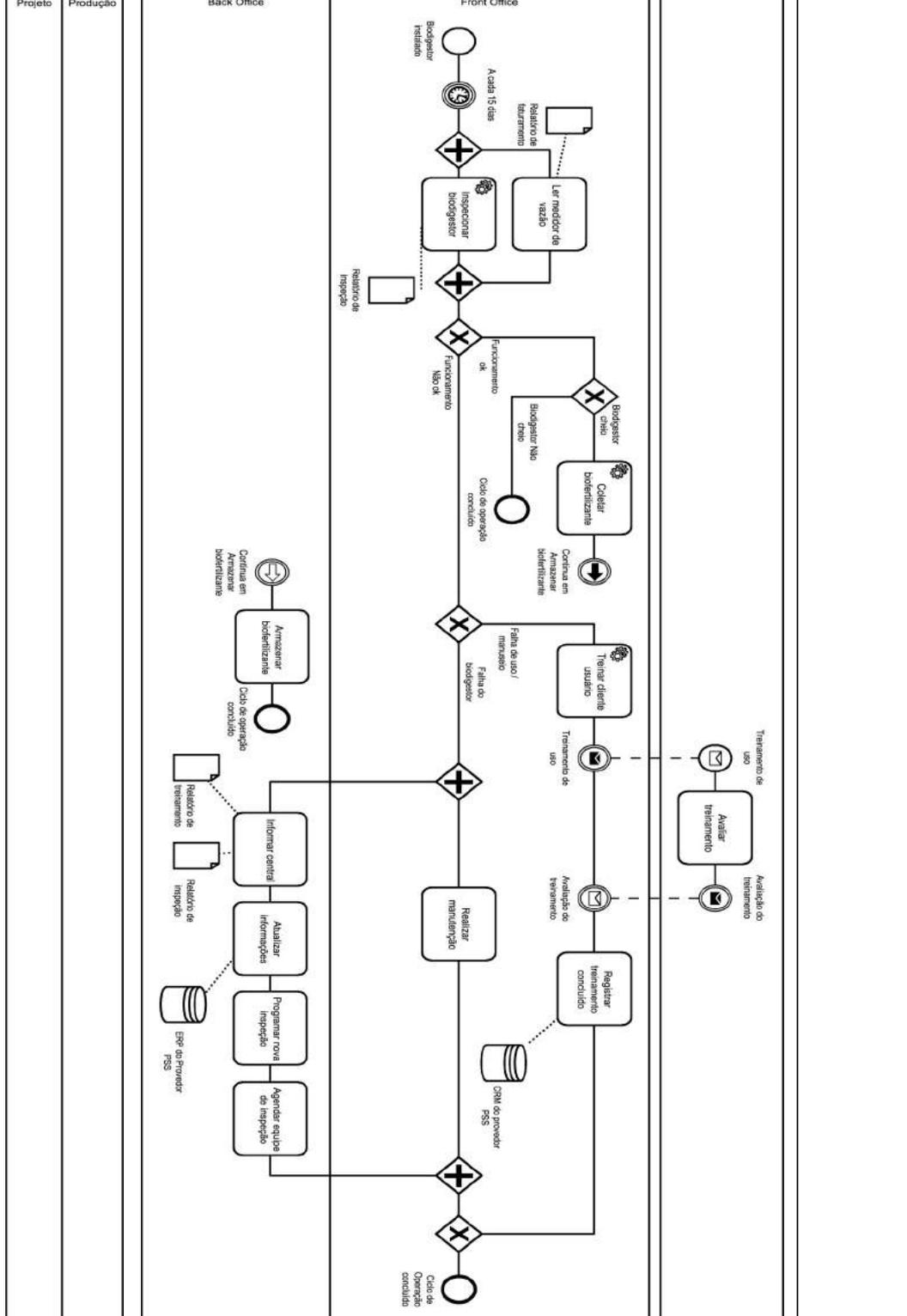
Após a instalação dos biodigestores, o PSS entra na fase de uso, denominada no diagrama de coreografia da figura 19 de “ciclo mensal de operação / serviço”. Neste ciclo o provedor realiza, no ambiente do usuário, as operações de inspeção do biodigestor para verificar sua funcionalidade; de leitura com vistas a posterior faturamento do consumo do biogás; e de coleta do biofertilizante. Também realiza a re-ciclagem do treinamento quanto ao uso do biodigestor, caso constatare que o mesmo está inoperante ou com o funcionamento irregular por imperícia do usuário. Como anteriormente informado, o diagrama não desce ao nível de detalhamento necessário para a efetiva implementação. Por exemplo, o detalhamento da ação *Inspeção do Biodigestor* incluiria tarefas como realizar a agitação da mistura dentro do biodigestor, eventual limpeza dos canais de alimentação e extravasamento, etc.

Considera-se que, numa implementação prática, um único documento, (por exemplo, uma instrução de trabalho), vinculado a etapa de inspeção, englobaria todas elas. O mesmo ocorreria para outras etapas do diagrama. Tais documentos precisam ser contextualizados ao cenário de implementação, o que torna inviável a sua inclusão no escopo deste trabalho.

Voltando ao diagrama, prevê-se também que, em qualquer dia, durante o ciclo, o usuário possa tomar a iniciativa de solicitar manutenção e suporte ao uso do biodigestor por identificar problemas de funcionamento ou encontrar dificuldades de operá-lo.

Durante o ciclo de operação são previstas duas visitas ao ambiente do usuário, com periodicidade quinzenal, a fim de realizar os processos delineados. Seu planejamento pode ser visualizado pelo diagrama de orquestração da etapa de operação, apresentado na figura 21. Para evitar redundância de informações, foi omitida, nele, a etapa de faturamento apresentada no diagrama de coreografia da figura 20.

Figura 21 - Diagrama de orquestração do SBPSS - ciclo mensal de operação



Fonte: Construído pelo autor.

Ao final de cada ciclo mensal de operação o Provedor realiza o faturamento do serviço de locação dos biodigestores para a Prefeitura e do gás consumido para os usuários, o que pode ser visto nas últimas duas caixas do diagrama de coreografia da figura 19. Esta operação fecha o ciclo mensal do PSS. Por meio dela, o Provedor captura o valor entregue aos clientes - Prefeitura e usuário.

Além do ciclo mensal de entrega e captura de valor, o Provedor realiza também as vendas do biofertilizante coletado para os agricultores da região. Contudo, esta

operação não segue um ciclo mensal, dados a diversidade de culturas da região e a variação dos seus respectivos ciclos de adubação. Assim, para efeito de cálculo de viabilidade, considerou-se apenas que o Provedor teria êxito em vender todo o volume de biofertilizante coletado durante o período selecionado.

Após a determinação dos fluxos de comunicação e dos processos envolvidos, a equipe determinou quais os ativos necessários e a demanda de mão de obra para dar suporte a etapa de instalação. Os custos levantados, associados as etapas de suporte e provimento de serviços, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Ativos e Investimento inicial necessários – provedor PSS

Descrição	Quantidade / valor
Infra-estrutura	
Número total de biodigestores	542
Custo unitário biodigestor com acessórios	R\$2.265,00
Mão de obra - instalação, por equipamento	R\$100,00
Sub-total: equipamentos + instalação	R\$1.281.830,00
Caminhão limpa fossa ano 2012, revisado	R\$125.000,00
Tanque 500m ³ (equipamento + instalação)	R\$14.607,00
TOTAL DE CUSTOS - INFRA-ESTRUTURA	R\$1.421.437,00
Despesas Mensais	
Salários	R\$13.745,06
Despesas administrativas (eletricidade, água, telefone, internet, faturamento, combustível, papelaria)	R\$1.200,00
TOTAL DE DESPESAS MENSAIS	R\$14.945,06

Fonte: Construído pelo autor.

Como definido, o cálculo foi realizado para uma unidade funcional. Ela foi definida como a quantidade de lixo orgânico gerado pelo município por mês. Seu cálculo pode ser feito a partir de três referências. A primeira seria a partir das informações passadas pelos entrevistados, de 4 toneladas / dia, o que totalizaria aproximadamente 120 toneladas por mês (4 x 30), considerando o mês médio de 30 dias usado em cálculos contábeis e adotado como referência neste trabalho (JORNAL CONTABIL, 2018). Ocorre que a prefeitura não realiza um controle preciso e documentado da quantidade – portanto a informação pode estar bastante imprecisa.

Outra forma de determiná-la seria a partir da população do município, multiplicando-a pela média de geração diária de lixo orgânico, apresentada pela Abrelpe, de 1,04kg / habitante (ABRELPE, 2016). Os dados do último censo apontam uma população de 4514 habitantes (IBGE, 2021). Usando este critério, a unidade funcional totalizaria 140,84 toneladas por mês ($4514 * 1,04 * 30$). Ocorre que o último censo foi realizado em 2010, estando, portanto, bastante defasado.

Goedkoop et al. (1999) definem unidade funcional como “uma quantidade padronizada de uma função mensurável cumprida tanto pelo sistema PSS quanto pelo de referência” (atual). A partir dela se deprende que deve haver uma comparação igual entre o PSS e o sistema de referência. Portanto, para que a avaliação do PSS seja coerente é importante que a unidade funcional estimada se aproxime o máximo da realidade. Sabe-se que a população atual deve ser maior, pois o IBGE estima para 2020 uma população de 4874 pessoas (IBGE, 2021), o que elevaria o total para 152,07 toneladas. Ressalta-se que este também seria um número estimativo.

O princípio extraído da literatura (GOEDKOOOP et al., 1999) é que deve ser possível realizar o comparativo entre os dois sistemas a partir da unidade funcional, para fins de avaliação. Posto que não haveria precisão na determinação da mesma a partir dos dados do município, optou-se por determinar o valor da unidade funcional de outra forma. É possível determinar a massa que o PSS será capaz de processar a partir da quantidade de biodigestores a serem instalados. O PSS tem que, necessariamente, possuir capacidade de processamento superior a estimada, para poder atender eventuais flutuações mensais – para maior - na produção de lixo orgânico do município. Esta sobre capacidade não é compensada com o aumento na receita com locação, uma vez que o PSS tem que ser viável para o município e, portanto, o valor máximo a ser pago é igual a despesa atual com o gerenciamento do lixo orgânico. Tem-se, portanto, uma situação na qual qualquer capacidade extra de processamento do PSS não será compensada com aumento de receita fixa para o provedor.

A situação se altera no caso das receitas variáveis com a venda do biogás e do biofertilizante. Ambas são dependentes da quantidade de lixo orgânico que entra no sistema. A receita será máxima se o sistema trabalhar com 100% da capacidade de processamento, e reduzida na mesma proporção da redução da sua carga. Isso foi

considerado na etapa de avaliação do PSS. As informações de entrada para a posterior avaliação consideradas neste trabalho são: (i) o carregamento mínimo do sistema corresponde a produção média mensal calculada a partir da estimativa de população para 2020, de 152,07 toneladas de lixo orgânico / mês; (ii) a unidade funcional corresponderá a massa que o PSS será capaz de processar a partir da quantidade de biodigestores a serem instalados. Optou-se por realizar o cálculo para uma unidade funcional e, na etapa de avaliação, verificar qual a alteração nos resultados considerando a situação de carregamento mínimo. A análise conducente a definição do valor da unidade funcional é apresentada a seguir.

Segundo o caderno do IPARDES de 2019, Porto Amazonas possui uma média de 3,28 pessoas por domicílio (IPARDES, 2019). Considerando a média brasileira de geração diária de 1,04kg / habitante (ABRELPE, 2016), um biodigestor atenderia até 3 domicílios, baseado na sua capacidade de alimentação de cerca de 10 kilogramas de lixo orgânico/dia, informada pelo fabricante ($3,28 \times 3 \times 1,04 = 10,23$). Considerando o número total de municípios do domicílio, seriam necessárias 460 unidades para atender a todos. Seriam necessárias 82 unidades adicionais para atender os estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços, totalizando 542 unidades ($460 + 82$). Não se encontrou dados sobre o número exato de colaboradores de cada estabelecimento comercial e industrial do município. Então estimou-se a demanda média de 1 biodigestor por estabelecimento, totalizando 82 biodigestores. Considerando os dados obtidos, de que há cerca de 960 pessoas empregadas, e que os mesmos não são exatos, entendeu-se que a estimativa era razoável. Isso porque, caso as 960 pessoas residissem nos estabelecimentos e sua geração de resíduo acompanhasse a média nacional, o volume mensal somaria 998,4kg/dia ($960 \times 1,04$), o que corresponderia a um processamento de 12,18kg por biodigestor/dia, ou 21,8% a mais do que a capacidade nominal (10 kg/dia). Contudo, posto que os colaboradores apenas passam parte do dia nos estabelecimentos, sabe-se que o volume será menor, donde estimou-se que 82 biodigestores seriam suficientes. Na prática, muitos colaboradores moram na cidade. Sendo assim, o resíduo gerado no estabelecimento acaba correspondendo a um decréscimo no volume gerado no domicílio do colaborador. Portanto, sabe-se que o projeto de 542 biodigestores atende com sobra a demanda de processamento. A estimativa para maior segue o princípio contábil da prudência, onde os custos são maximizados e a

receitas minimizadas. Além disso prevê capacidade extra para atender pequenas flutuações de demanda.

Repisa-se que não há dados disponíveis do número de colaboradores dos estabelecimentos do município que residem no mesmo, o que impede maior detalhamento no cálculo e impõe a necessidade de trabalhar-se com estimativas aproximadas, como foi feito pela equipe.

Uma vez determinada a quantidade de biodigestores a serem instalados, calculou-se a unidade funcional. Considerando a base instalada de 542 biodigestores, o mês médio de 30 dias e o carregamento de 100% dos biodigestores (10,23kg / dia / unidade), tem-se que a unidade funcional será de 166,34 toneladas de lixo orgânico / mês ($542 \times 30 \times 10,23$). Os itens de infra-estrutura do PSS foram estimados considerando este valor.

O custo de equipamentos como os biodigestores, o caminhão e os acessórios do tanque de armazenamento de fertilizante foi obtido com os fabricantes mediante consulta comercial. Foi considerada a aquisição de um caminhão limpa fossa com 5 anos de uso, com sua manutenção revisada. Seu valor foi obtido num dos maiores portais de anúncios de veículos do país (OLX, 2019).

Em seguida, a solução PSS que potencialmente atenderia as necessidades do município e dos cidadãos foi representada no Mapa Organizacional do PSS - figura 22.

Figura 22 - Mapa Organizacional do PSS

adoção do sistema. Os dois proprietários das casas adjacentes alimentarão aquele mesmo biodigestor, depositando seu lixo orgânico nele. Portanto, cada biodigestor processará o lixo orgânico de três casas. Assim, a etapa de transporte do lixo orgânico por meio de caminhões, do modelo tradicional, será eliminada.

As flechas pontilhadas pretas representam os fluxos de comunicação, incluindo treinamento e serviço. As flechas marrons representam o fluxo de biofertilizante. O provedor coletará o biofertilizante produzido por meio de um caminhão limpa fossa e o transportará para um tanque de armazenamento. Ele será, então, vendido para os fazendeiros localizados da região de Porto Amazonas.

O provedor fornecerá treinamento e informações para os usuários sobre como alimentar os biodigestores, uma vez que eles não podem processar ossos, plástico e outros materiais não orgânicos. Ele também realizará a manutenção dos biodigestores para remover materiais não processáveis e dará suporte técnico. O lixo não processado no biodigestor será coletado pelo serviço de coleta de lixo não orgânico, o qual é atualmente provido pelo município, não impactando na matriz de custos do PSS.

As flechas azuis na figura 22 mostram as fontes de receita do provedor. O município pagará uma quantia de 10% a menos que aquela atualmente gasta no gerenciamento do lixo orgânico para a locação dos biodigestores. A redução no percentual foi projetada como incentivo para a adoção da proposta. O provedor também venderá os biofertilizantes para os fazendeiros ao preço equivalente ao dos químicos fertilizantes deduzindo-se o custo do frete”.

A descrição informal acima, somada aos diagramas representativos do modelo Service Blueprint modificado, de coreografia e de orquestração, usando a taxonomia BPMN, das Figuras 19, 20 e 21 e a Tabela de Ativos de infra-estrutura necessários (Tabela 2), compõem o PSS desenvolvido, conforme previsto na metodologia.

Então, seguindo-se a metodologia planejada, passou-se para a construção da especificação do PSS utilizando-se os diagramas da SysML. Nesta etapa, primeiramente definiu-se quais eram as informações gráficas essenciais que permitiriam aos atores ter uma visão adequada do PSS como um todo, bem como das suas principais entregas. Esta definição gerou uma lista de correlações entre

cada diagrama e o aspecto do PSS que se enfocaria por meio dele, a qual é apresentada no quadro 8.

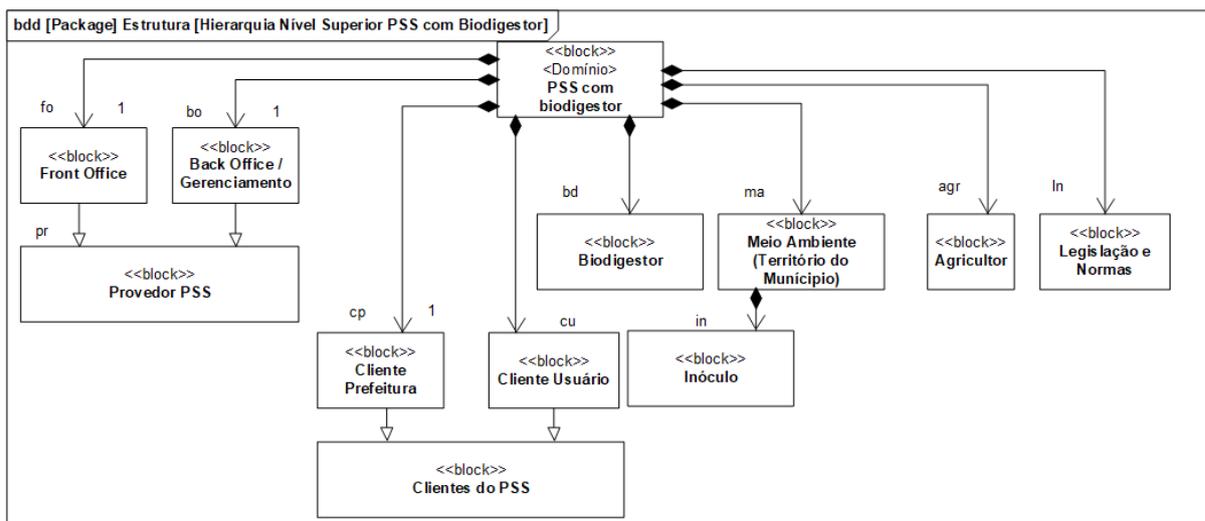
Quadro 8 – Informações do PSS realçadas pelos diagramas SysML

Diagrama da SysML	Característica do sistema representada	Faceta do PSS que realça
Diagrama de Pacotes.	Organização de informações.	Organização dos diagramas SysML que especificam o PSS.
Diagrama de requisitos.	Requisitos.	Relações entre os requisitos entre si e com o PSS.
Diagrama de Casos de Uso.	Comportamento.	Casos de uso (funcionamento) do PSS quando em execução.
Diagrama de Sequência.	Comportamento.	Como o provedor PSS Captura Valor.
Diagrama de Atividades.	Comportamento.	As ações e os fluxos de informações, dados e objetos que dão suporte aos casos de uso.
Diagrama de Estado de Máquina.	Comportamento.	O diferencial da solução proposta pelo PSS em relação as propostas da literatura.
Diagrama de Definição de Blocos.	Estrutura.	Estrutura do PSS dividida em blocos dentro do contexto (ambiente) no qual ele está inserido.
Diagrama de Blocos Internos.	Estrutura.	Funcionamento do biodigestor.
Diagrama Paramétrico.	Regras matemáticas que regem o PSS.	Relação entre as equações matemáticas que regem o sistema e dão suporte para a avaliação da sua viabilidade econômica.

Fonte: Construído pelo autor.

Em seguida, realizou-se a confecção dos diagramas, começando pelo diagrama de blocos apresentado na figura 23.

Figura 23 – Diagrama de Blocos do PSS



Fonte: Construído pelo autor.

Por meio dos blocos do diagrama foram especificadas as relações relevantes do PSS (*PSS com biodigestor*) com o meio ambiente, o cenário regulatório (*Legislação e normas*) e os atores do PSS. Em harmonia com a representação dos diagramas de orquestração construídos, dividiu-se o bloco do Provedor PSS em dois blocos componentes *Front Office* e *Back Office / Gerenciamento*, e o bloco de Clientes em *Cliente Prefeitura* e *Cliente Usuário*. Assim, garantiu-se que as representações fossem coerentes entre si.

Embora o agricultor seja um ator no contexto do PSS, não é um cliente do serviço entregue do sistema, mas sim de um sub-produto do serviço de processamento do lixo orgânico, entregue pelo biodigestor: o biofertilizante. Além disso, sua interação com o provedor do PSS é esporádica, ocorrendo somente quando ele negocia o biofertilizante com aquele. As negociações são comandadas pela sazonalidade natural da atividade de agricultura, a qual é vinculada às estações do ano destinadas a preparação do solo, seguindo o calendário próprio da cultura de plantio escolhida. Por esta razão representou-se o agricultor num bloco separado dos clientes do PSS.

Finalmente, o diagrama mostra o PSS utiliza um elemento retirado do meio ambiente – o *Inóculo*, que é uma quantidade de estrume bovino mesclado com água, o qual contém as bactérias que darão início ao processo de biodigestão, e é usado para efetuar-se o primeiro carregamento, no ato da sua instalação.

Em seguida, foi construído o diagrama de requisitos do sistema, apresentado na figura 24.

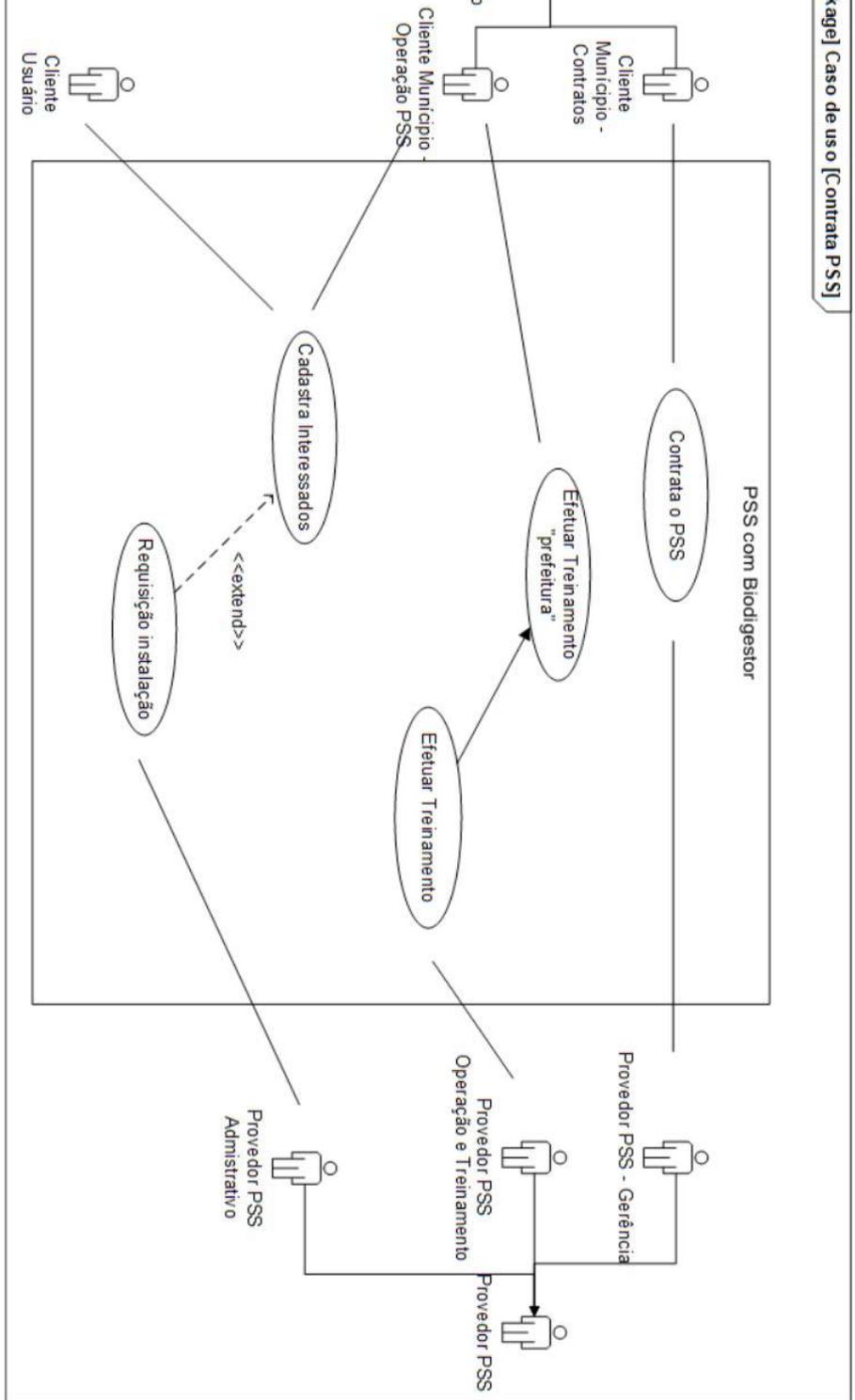
Figura 24 – Diagrama de requisitos do PSS

Biodigestor mostra que eles somam todas as condições que o PSS deve satisfazer. O diagrama mostra, no canto inferior direito, em linguagem gráfica, que o sistema (bloco *PSS com biodigestor*) deve satisfazer todos os requisitos.

Em seguida, foram confeccionados os diagramas de casos de uso, para ilustrar as diversas etapas do PSS: (i) contratação do PSS pelo município; (ii) instalação dos biodigestores; (iii) ciclo mensal de operação do sistema e (iv) ciclo do biofertilizante. Cada etapa do PSS (caso de uso) gera demandas de fluxos coordenados de ações, informações, dados e objetos. Por esta razão entendeu-se que seria apropriado apresentar cada diagrama de Caso de Uso associado ao(s) diagrama(s) de atividades correspondente(s). Assim, foram construídos Diagramas de Atividades SysML a partir das ações, representadas dos diagramas de coreografia e de orquestração do PSS projetado, correspondentes aos casos de uso especificados na linguagem SysML. As figuras 25 a 33 e 35 a 37 mostram o conjunto de Diagramas – de Caso de Uso e de Atividades – para as etapas i, ii, iii e iv.

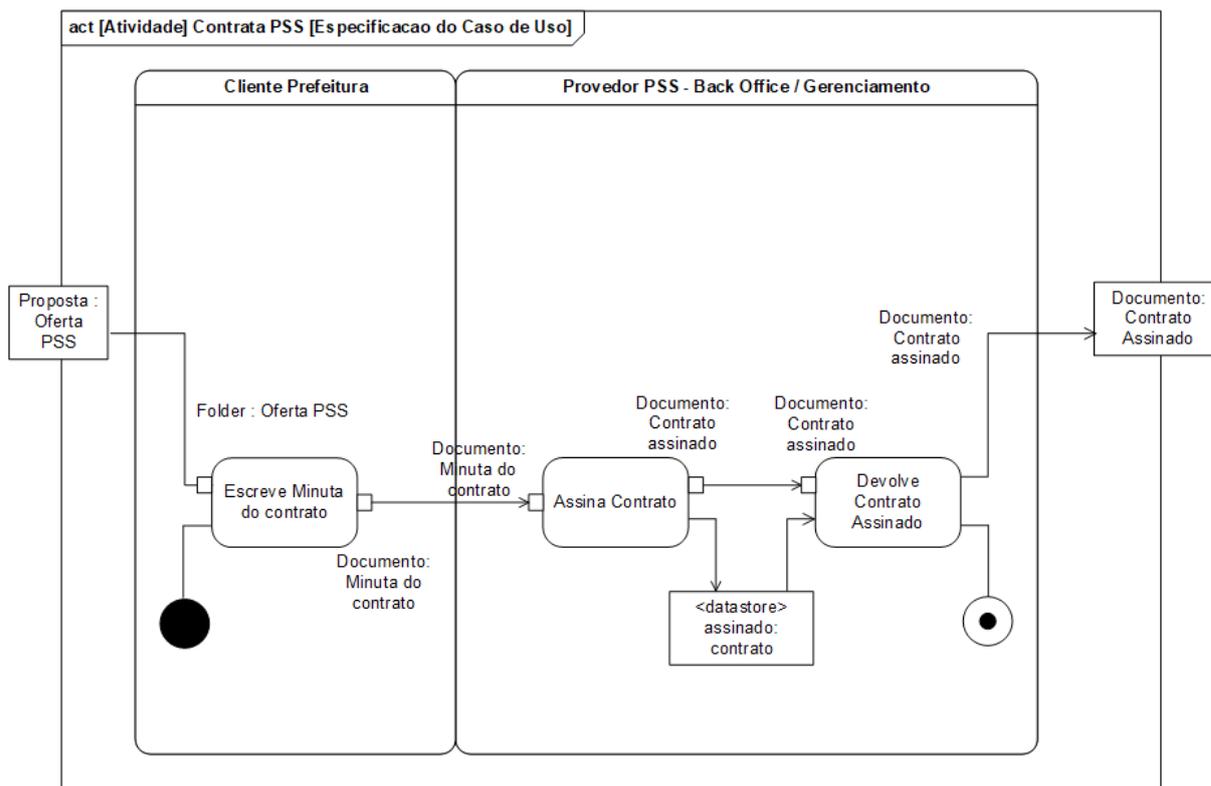
Figura 25 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa i – contratação do PSS





Fonte: Construído pelo autor.

Figura 26 – Diagrama de Atividade – Etapa i - contratação

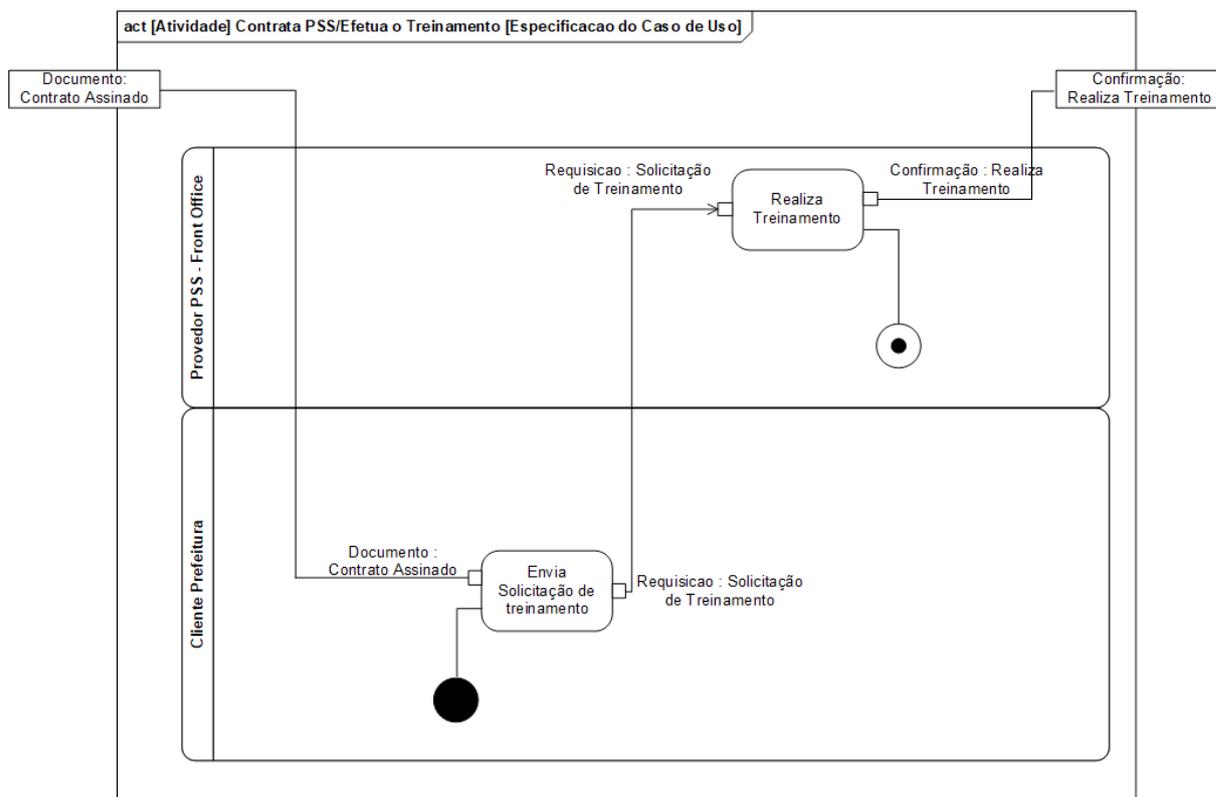


Fonte: Construído pelo autor.

O diagrama de caso de uso da figura 25 mostra as interações entre a prefeitura do município e o provedor durante a etapa de contratação do PSS. Ele apresenta, numa linguagem gráfica de alto nível, sem envolver detalhes operacionais, adequada para mostrar ao cliente, como se processa a contratação. A figura 26 mostra o diagrama de atividades associado a esta etapa, mostrando as ações e os fluxos que apoiam as interações do caso de uso.

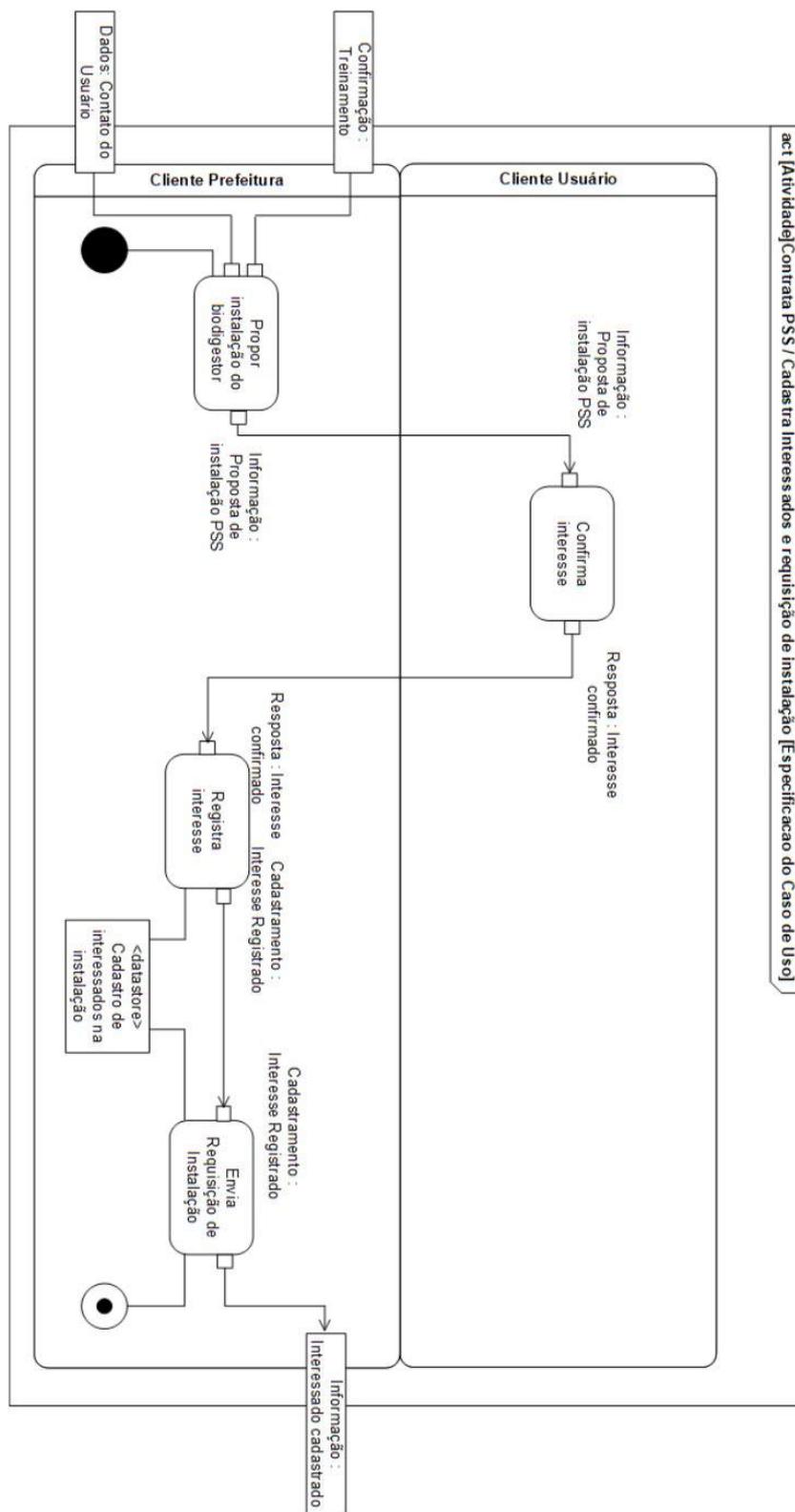
Após a contratação, ocorrem as etapas de treinamento dos colaboradores do município e cadastro dos usuários interessados em receberem a instalação dos biodigestores. As ações e fluxos que as apoiam são ilustradas nos diagramas de atividades das figuras 27 e 28.

Figura 27 – Diagrama de Atividade – Etapa i - treinamento



Fonte: Construído pelo autor.

Figura 28 – Diagrama de Atividade – Etapa i – cadastro de interessados

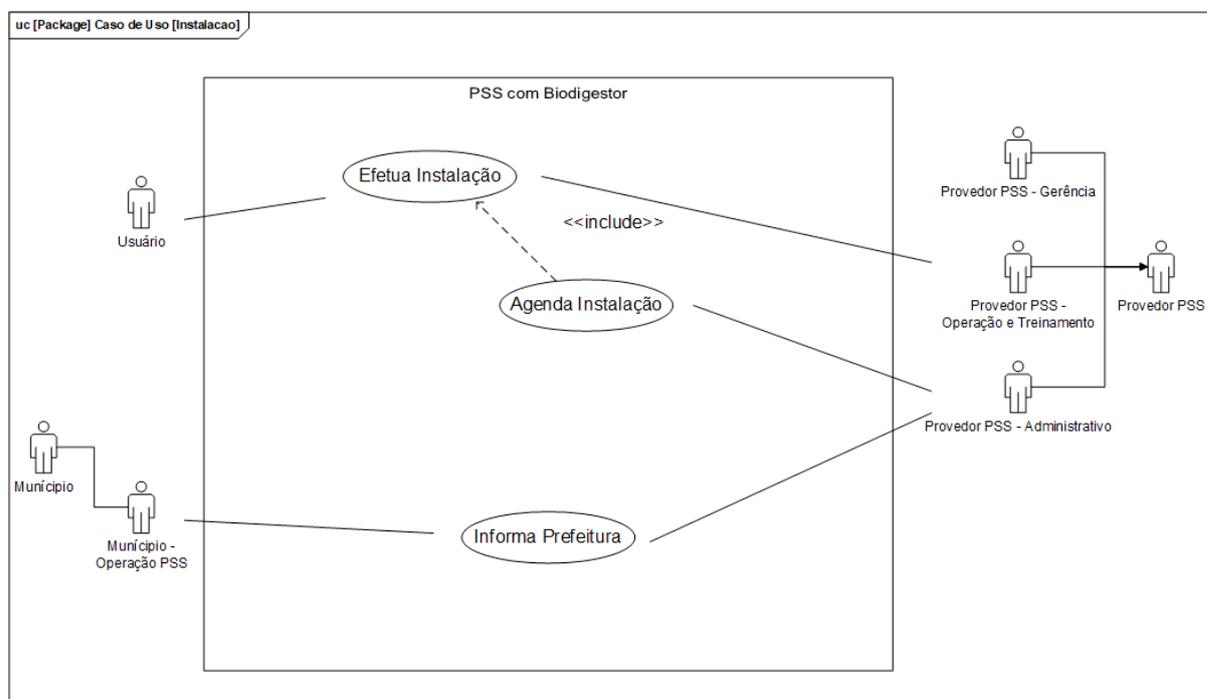


Fonte: Construído pelo autor.

Uma vez efetuado o cadastramento dos usuários interessados em hospedar os biodigestores, avança-se para a etapa de instalação dos mesmos. As interações

ocorridas durante seu processamento são especificadas pelo diagrama de caso de uso da figura 29.

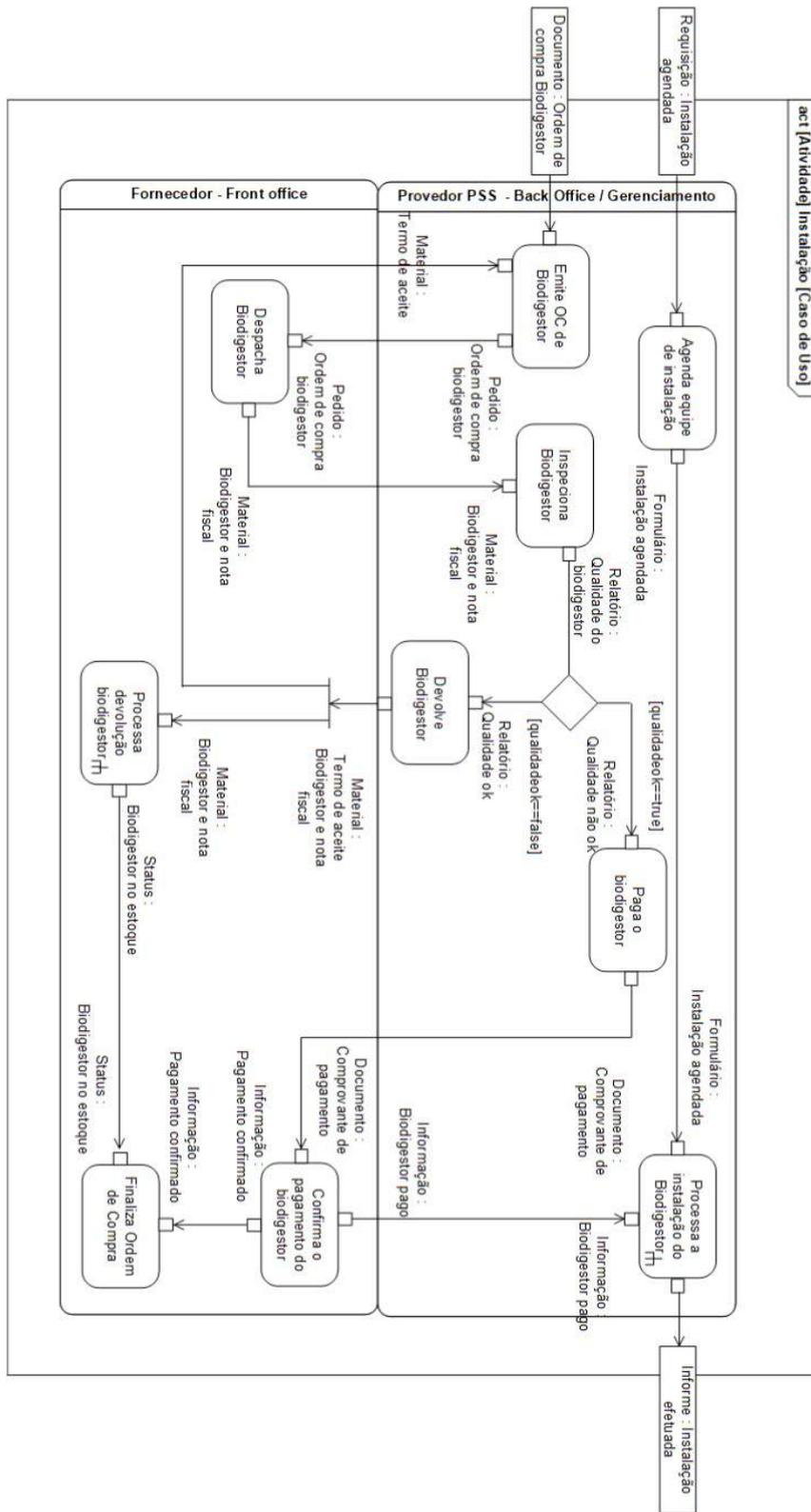
Figura 29 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa ii – instalação



Fonte: Construído pelo autor.

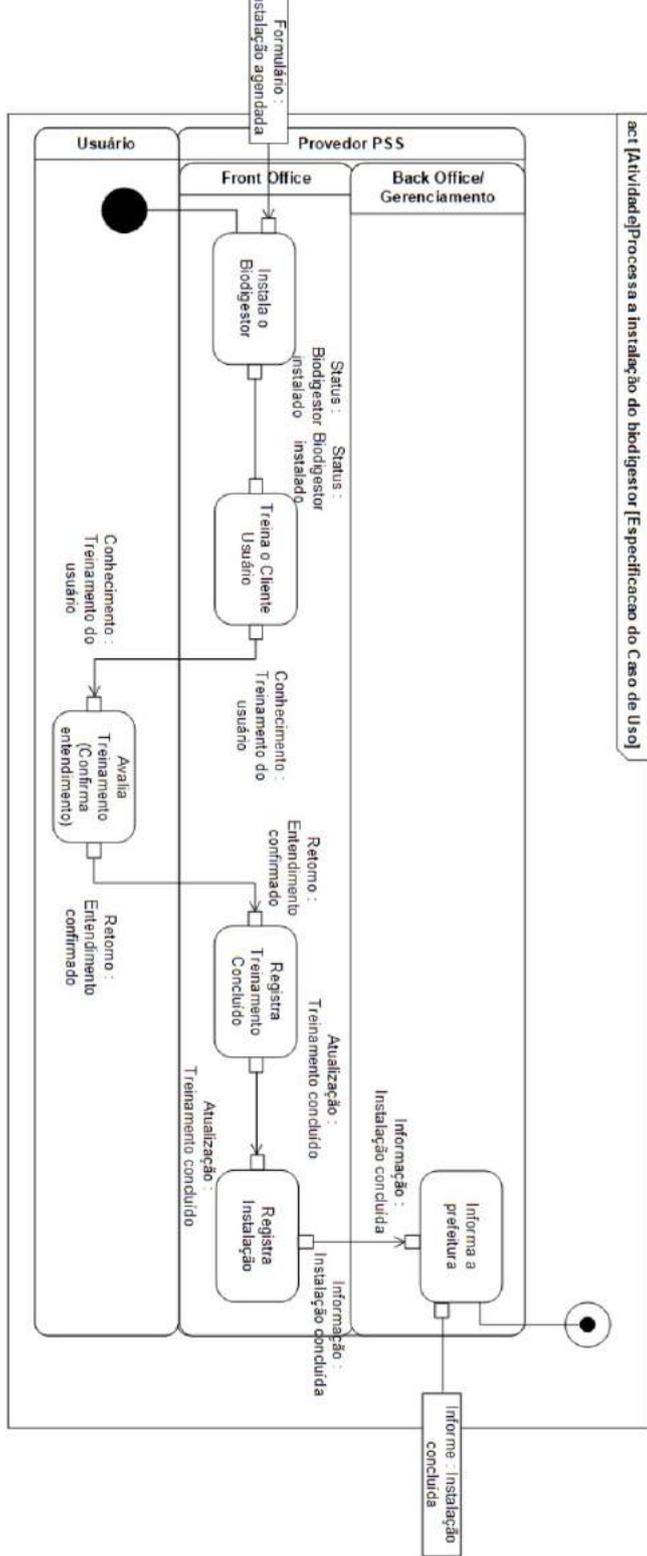
As interações ocorridas durante o caso de uso *Instalação* são apoiadas por vários grupos de processos. Cada grupo foi especificado por um diagrama de atividades específico, resultando em quatro diagramas. Eles especificam as atividades de *agendamento da instalação*, *instalação dos biodigestores* e *devolução de biodigestores* nos quais tenha sido constatado defeito de qualidade antes da instalação e são mostrados nas figuras 30 a 33.

Figura 30 – Diagrama de Atividade – Etapa ii – agendamento da instalação



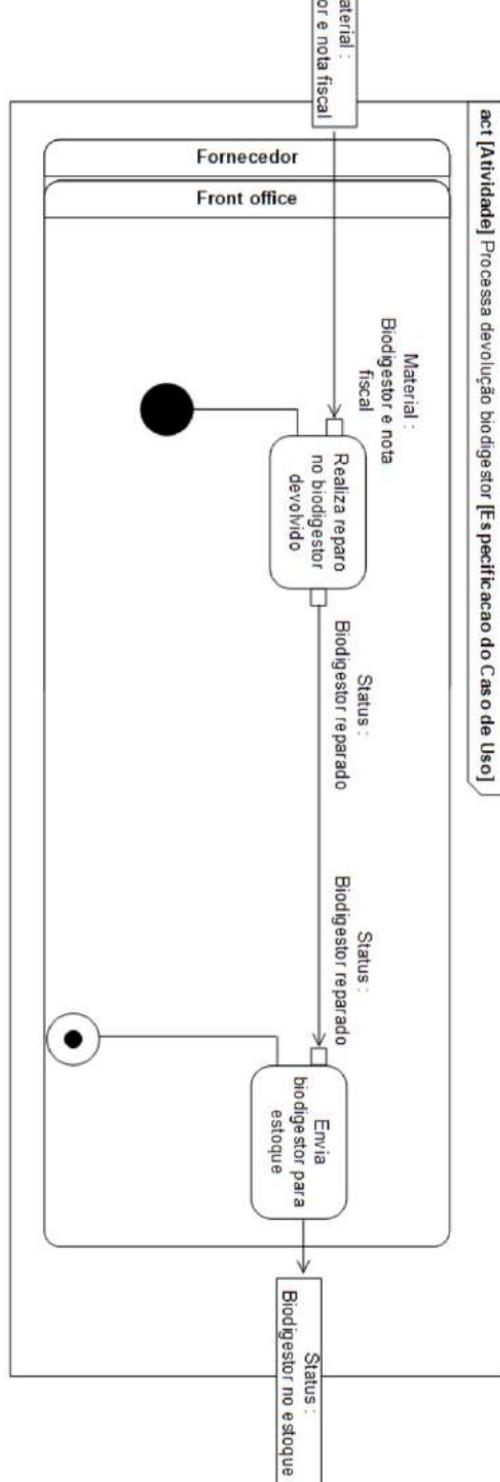
Fonte: Construído pelo autor.

Figura 32 – Detalhamento da ação *Processa a instalação do biodigestor*



Fonte: Construído pelo autor.

Figura 33 – Detalhamento da ação *Processa devolução do biodigestor*



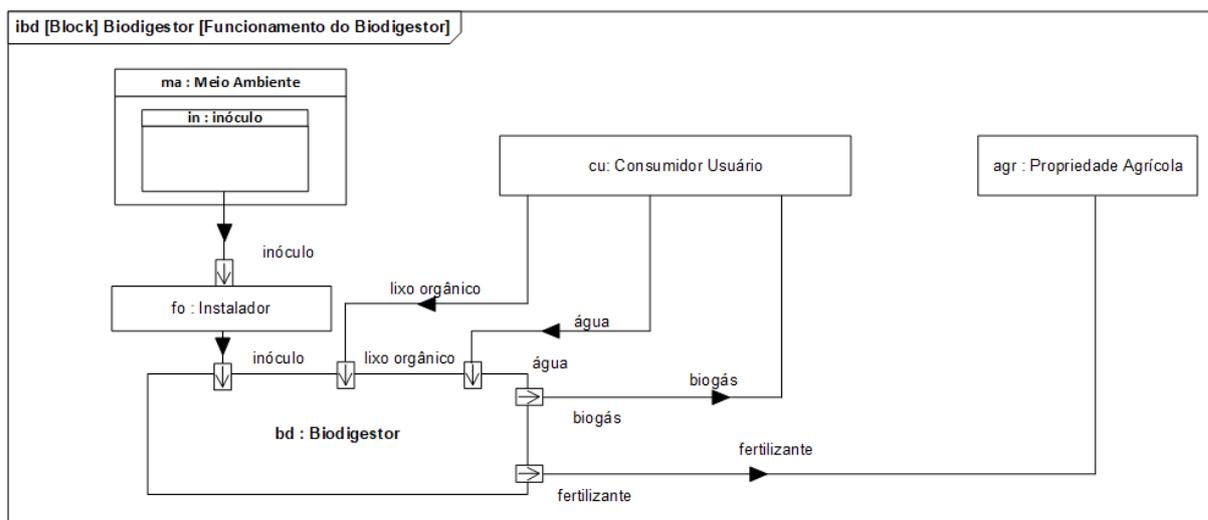
Fonte: Construído pelo autor.

Observa-se que a notação gráfica (simbologia) dos diagramas de atividade da linguagem SysML assemelha-se a da linguagem BPMN. A exemplo dos diagramas de orquestração da BPMN, os diagramas SysML também mostram as ações realizadas por cada ator em áreas separadas (piscinas). Contudo, não se vê, nestes últimos, a representação de todos os atores em cada diagrama, nem as linhas de interação, de visibilidade, de operação e de projeto. O fato de esta informação já ter sido entregue pelos primeiros, permite a realização de representações mais simplificadas de modo a poder, em cada diagrama, representar as atividades que apoiam cada parte do caso de uso. Assim, as informações entregues pelos

diagramas em BPMN e os diagramas SysML se somam. O diagrama de coreografia entrega uma visão funcional do “todo” do PSS; os de orquestração apresentam uma visão de diferentes etapas do mesmo; e os de atividades entregam visões pontuais de partes de cada etapa, vinculadas aos casos de uso correspondentes a cada etapa. Estas diferentes visões podem proporcionar aos colaboradores do provedor as visões somadas do funcionamento geral do sistema, das etapas, e o seu papel a desempenhar na entrega dos serviços do PSS aos clientes.

Considerou-se ser conveniente alocar a representação do funcionamento do biodigestor após a apresentação das atividades relacionadas a sua instalação, pois possibilita aos atores o compreender melhor o seu funcionamento e, como consequência, quais saídas ele entrega durante o ciclo de operação. Tal compreensão permitirá um melhor entendimento dos diagramas de caso de uso e de atividades que especificam a etapa iii. A figura 34 mostra o diagrama de bloco interno o qual representa graficamente o funcionamento do biodigestor, utilizando a semântica da linguagem SysML.

Figura 34 – Diagrama de Bloco Interno – funcionamento do biodigestor

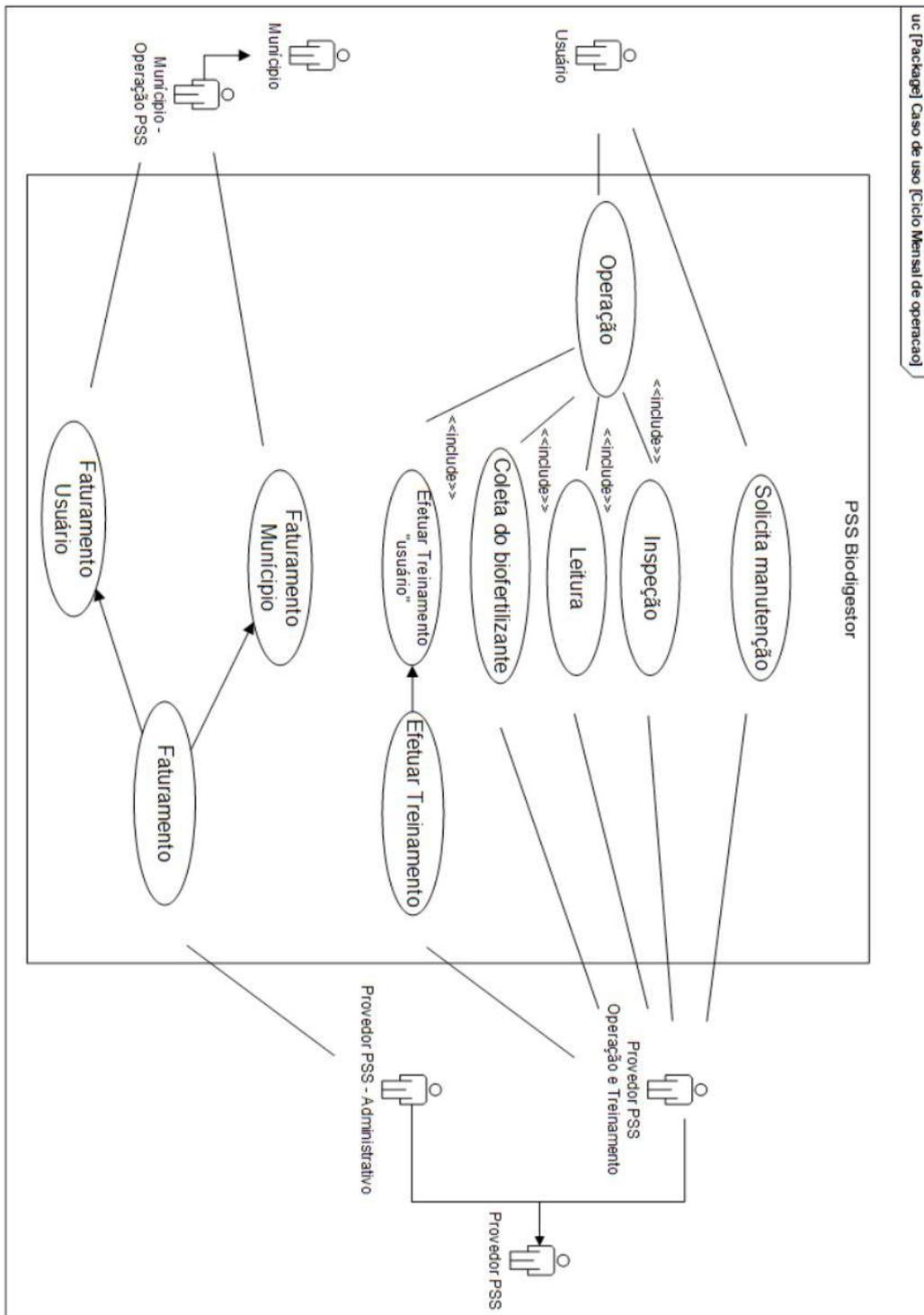


Fonte: Construído pelo autor.

A figura 34 mostra que o biodigestor recebe, como uma entrada, o inóculo, colocado pelo instalador para dar início ao processo de biodigestão. Esse é retirado do meio ambiente, como se vê pelo diagrama de blocos da figura 23. O biodigestor ainda recebe, como entradas, lixo orgânico e água. O equipamento processa os elementos de entrada e entrega, como saídas, o biogás e o biofertilizante. O diagrama não apresenta nem as quantidades, nem as proporções nem as correlações entre os valores de entrada e os de saída. Informações sobre as regras matemáticas (equações) que relacionam valores no PSS são apresentadas nos diagramas paramétricos.

Em seguida, realizou-se a especificação do ciclo mensal de operação, pelo Diagrama de Caso de Uso associado ao seu correspondente Diagrama de Atividades, apresentados, respectivamente, nas figuras 35 e 36.

Figura 35 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa iii – ciclo mensal de operação



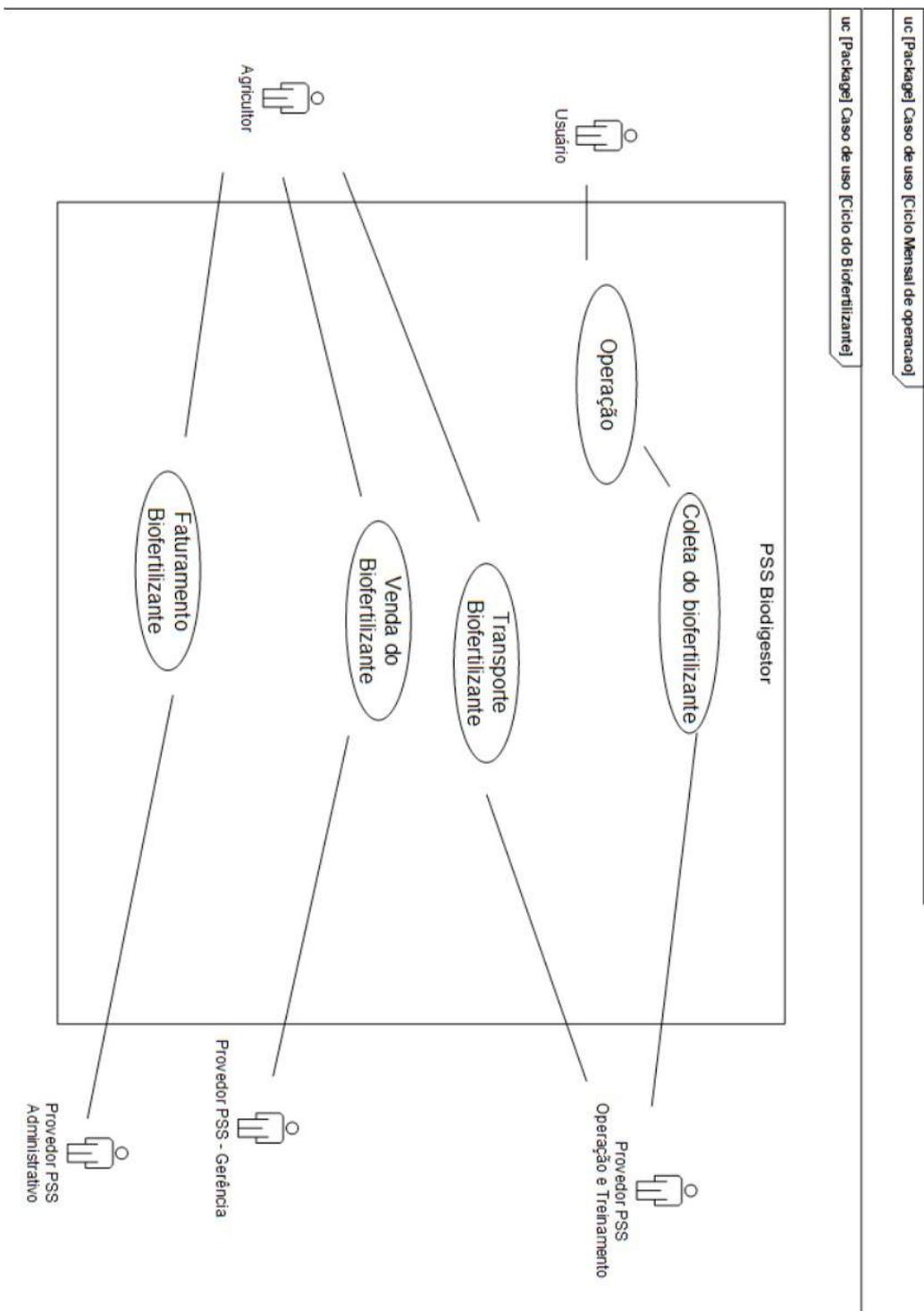
Fonte: Construído pelo autor.

Figura 36 – Diagrama de Atividade – Etapa iiiii – ciclo mensal de operação

fazer durante a entrega dos serviços. O diagrama de atividades lhes informa *como* fazer.

Em seguida, construiu-se o diagrama de caso de uso do ciclo do biofertilizante (figura 37). Dada a simplicidade das operações associadas ao ciclo (recolha, venda e faturamento), entendeu-se que não se faz necessária a especificação das ações a elas associadas por meio de um diagrama de atividades. Tal tarefa ficaria reservada para a etapa de implementação, considerando um caso real de aplicação, e foge o escopo deste trabalho.

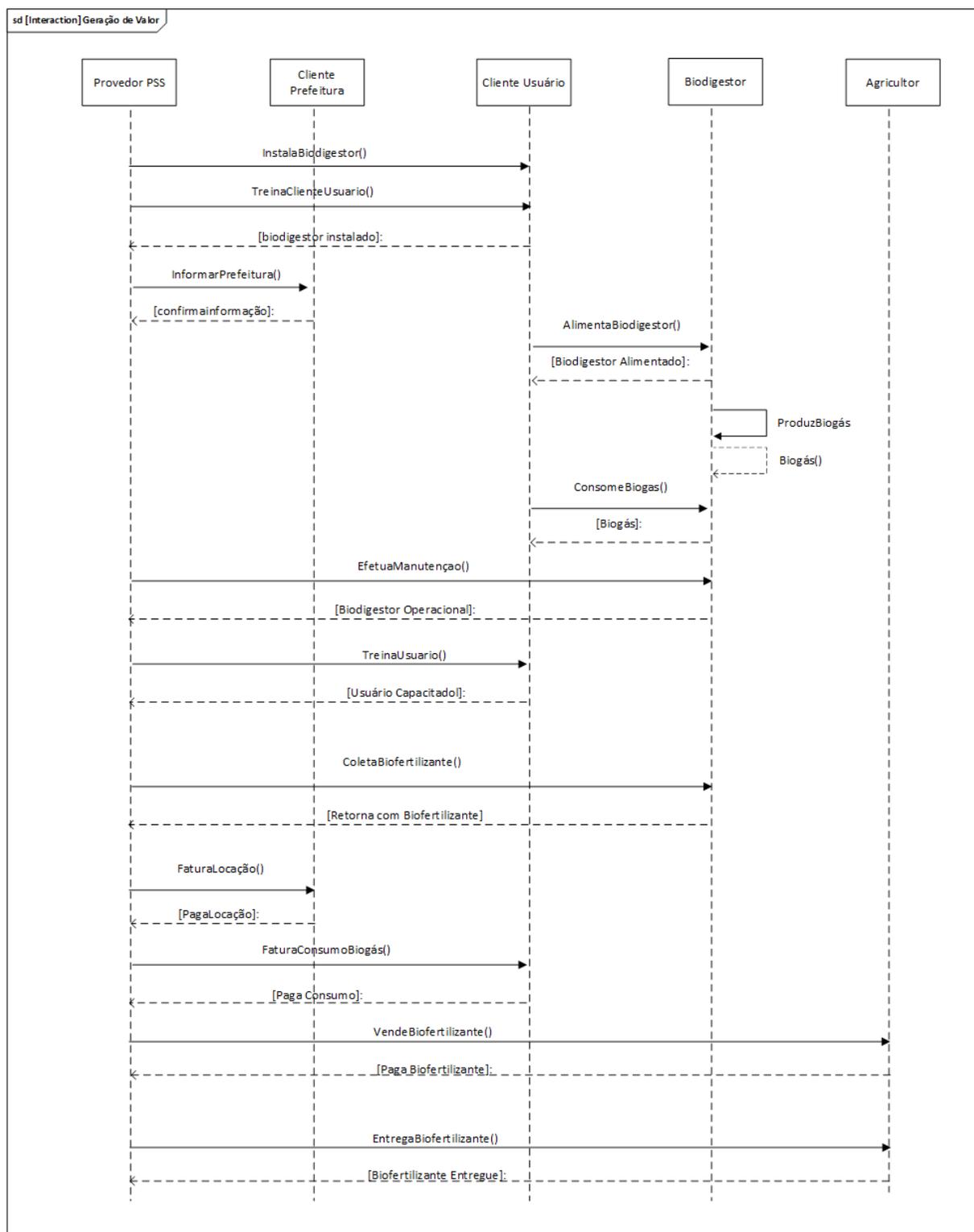
Figura 37 – Diagrama de Caso de Uso – Etapa iv – ciclo do biofertilizante



Fonte: Construído pelo autor.

Em seguida, construiu-se o diagrama de sequência, para mostrar a forma como o provedor do PSS gera valor para os demais atores participantes (município, usuário final e agricultores) e captura valor, ao operar o sistema.

Figura 38 – Diagrama de Sequência – Geração e Captura de Valor no PSS



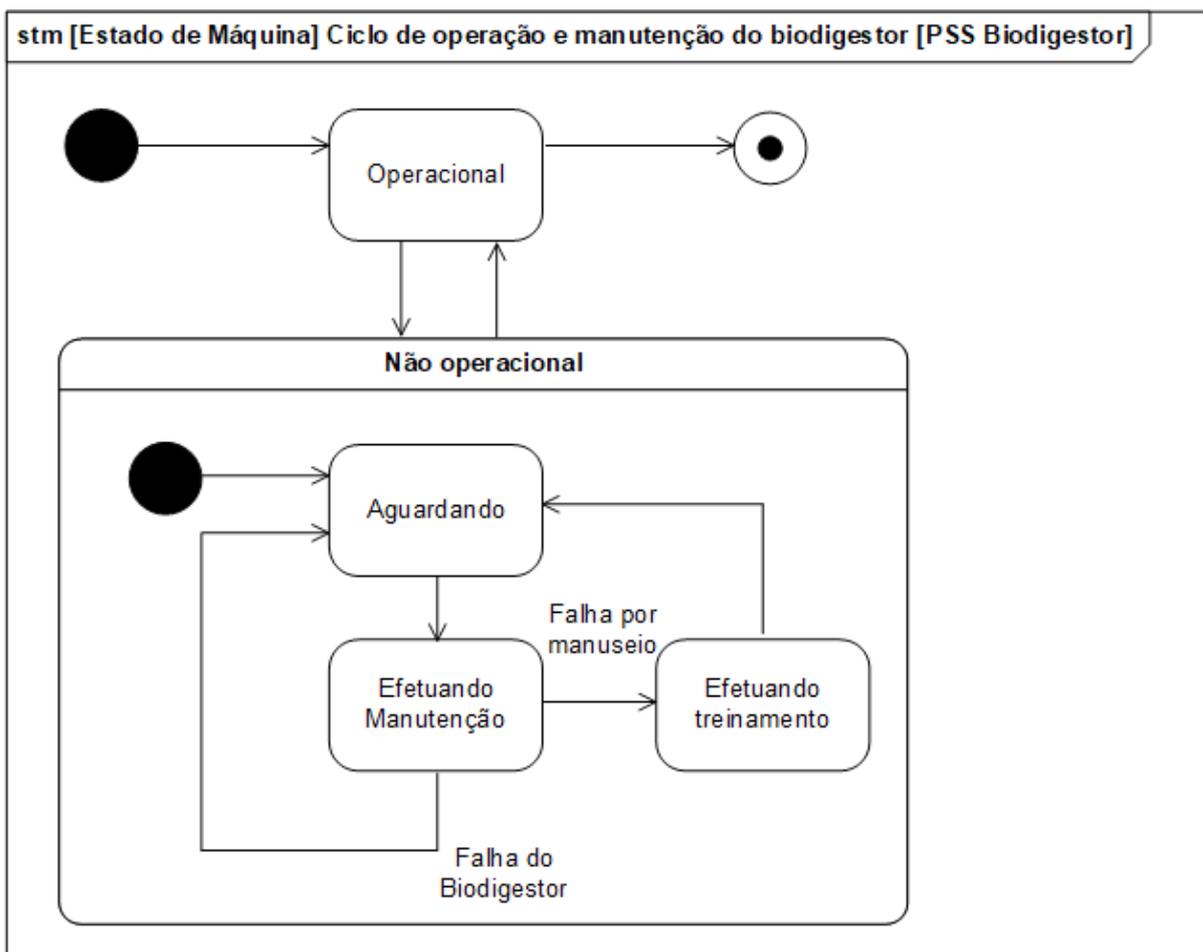
Fonte: Construído pelo autor.

Nota-se que o diagrama entrega uma visão de fácil assimilação do papel dos atores e mostra a sequência de ações por meio das quais o provedor entrega valor. Seguindo o diagrama, vê-se que o provedor instala o biodigestor, o qual processa o lixo para o município e entrega o biogás para o usuário; além disso treina o usuário,

efetua a manutenção no equipamento e entrega o biofertilizante para os agricultores compradores. Como retorno, captura valor de três formas diferentes, sendo elas as fontes que incorporam sua receita: pela venda do serviço de locação dos biodigestores, do biogás consumido pelo usuário e por meio do pagamento do biofertilizante, efetuado pelos agricultores.

Durante o ciclo de operação do PSS, o provedor mantém o biodigestor operacional de duas formas diferenciadas: pelo treinamento entregue aos usuários e pela manutenção feita no equipamento. O biodigestor é um equipamento que pode, portanto, assumir dois estados durante o ciclo de operação: *Operacional* ou em funcionamento, e *Não Operacional*. Considerando que manter o biodigestor operacional durante todo o ciclo de uso é um diferencial do PSS em relação a outras soluções encontradas na literatura, as quais preconizam simplesmente a venda e a instalação dos equipamentos, decidiu-se especificar a coordenação das ações e fluxos que viabilizam a manutenção do estado operacional do biodigestor por meio do Diagrama de Estado de Máquina mostrado na figura 39.

Figura 39 – Diagrama de Estado de Máquina – manutenção do biodigestor



Fonte: Construído pelo autor.

O diagrama mostra que a condição de não-operacionalidade do biodigestor é restaurada por meio de duas ações distintas. Em caso de falha do equipamento, é realizada a manutenção do mesmo. Se a condição foi atingida por falha de manuseio, realiza-se novo treinamento do(s) usuário(s). As ações previstas neste diagrama são realizadas a cada 15 dias, pela equipe do provedor, durante a visita de rotina ao biodigestor instalado no ambiente do usuário. A periodicidade e o fluxo de informações, dados e objetos destas atividades são mostrados no diagrama de atividades da figura 36. As ações previstas também podem ser acionadas a qualquer tempo, após uma chamada do usuário. Esta ocorrência pode se dar independentemente do ponto onde estiver o fluxo de operação.

Para especificar as relações matemáticas que equacionam os parâmetros de entrada com os de saída do PSS foram construídos os diagramas paramétricos. Há basicamente dois fluxos mais complexos de geração de receita no ciclo de uso do

PSS: o de geração, entrega e venda de biogás e o do biofertilizante. Ambos foram representados pelos blocos de análise de contexto apresentados nas figuras 40 e 42. Os blocos apresentam as equações que apoiam o cálculo de projeto do PSS, informando as unidades das constantes e variáveis de entrada. Para que possam ser adequadamente compreendidos, construiu-se um quadro correlacionando o nome de cada parâmetro ao seu significado no contexto do projeto do PSS, sua origem no raciocínio de construção do projeto e a unidade padrão de entrada considerada. Adicionalmente, agregou-se uma coluna para mostrar a função do parâmetro no conjunto de equações (se é uma constante ou uma variável). A função de cada parâmetro deve ser estritamente observada ao utilizar-se as equações. O quadro 9 contém as mencionadas correlações.

Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros

continua...

Abreviatura usada no diagrama	Nome	Função: Variável	Unidade	Origem
-------------------------------	------	---------------------	---------	--------

		ou Constante		
cusCil	Custo atual do cilindro de 13kg de GLP	Constante	R\$	Informação do comércio local.
cust_caminh_limpa_fossa	Caminhão limpa fossa	Constante	R\$	Levantado em site de venda de veículos.
cust_unit_bio_acess	Custo unitário biodigestor com acessórios	Constante	R\$	Preço orçado pelo fabricante do equipamento.
desp_magua	Despesas mensais com água	Constante	R\$	Estimadas pela equipe de projeto considerando a infra-estrutura necessária e a tarifa cobrada pela concessionária de água.
desp_mcomb	Despesas mensais com combustível	Constante	R\$	Estimado a partir da soma da distância das vias do município, do número de visitas mensais previstas, do custo do diesel atualmente pago pelo município e da média de consumo de combustível de veículo deste porte, obtida com empresa concessionária de veículos.
desp_melet	Despesas mensais com eletricidade	Constante	R\$	Estimadas pela equipe de projeto considerando a infra-estrutura necessária e a tarifa cobrada pela concessionária de energia.

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros

continua...

Abreviatura usada no diagrama	Nome	Função: Variável ou Constante	Unidade	Origem
--------------------------------------	-------------	--------------------------------------	----------------	---------------

desp_mfat	Despesas mensais administrativas com faturamento	Constante	R\$	Arbitrado pela equipe de projeto, pela estimativa de gastos com envio de fatura e material de expediente a partir do número de clientes atendidos pelo provedor.
desp_mint	Despesas mensais com internet	Constante	R\$	Estimadas pela equipe de projeto considerando a infra-estrutura necessária e a tarifa atual cobrada por provedores de serviço internet da região.
desp_mpapel	Despesas mensais com papel	Constante	R\$	Valor estimado pela equipe de projeto para suprir as necessidades de expediente (impressão de faturas, envelopes, cartas e outros documentos).
desp_msalar	Despesas mensais com salários	Constante	R\$	Determinadas com base no valor pago atualmente pelo município aos seus servidores para cargos análogos, e o regime de taxação vigente em lei brasileira, considerando empresa inscrita no regime de tributação de lucro presumido ou real.
desp_mtel	Despesas mensais com telefone	Constante	R\$	Estimadas pela equipe de projeto considerando a infra-estrutura necessária e a tarifa cobrada pela concessionária de telefone.

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros

continua...

Abreviatura usada no diagrama	Nome	Função: Variável ou Constante	Unidade	Origem
eco_mens_biof	Economia mensal,	Constante	R\$	Calculada a partir de dados do

	em equivalente de fertilizante convencional, por biodigestor			fabricante do biodigestor.
eco_mens_glp	Economia mensal em GLP, por biodigestor	Variável	R\$/mês	-
eqEner	Equivalente energético em massa de GLP gerado por biodigestor, por mês	Constante	Kg/mês	Calculado a partir de dados informados pelo fabricante e pela constante de equivalência entre GLP e biogás
equip_tque	Tanque para armazenamento do biofertilizante (equipamento)	Constante	R\$	Preço orçado pelo fabricante do equipamento.
fc	Fator de conversão	Constante	Litros/Kg	Volume de produção de biofertilizante dividido pela massa de carregamento total do biodigestor, calculado a partir de dados do fabricante.
inst_tque	Tanque para armazenamento do biofertilizante (instalação)	Constante	R\$	Preço orçado pelo fabricante do equipamento.
mas_ag	Massa de água	Constante	Kg	Massa de água com a qual se deve alimentar o biodigestor, proporcional ao carregamento de lixo orgânico, conforme instruções do fabricante.

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros

continua...

Abreviatura usada no diagrama	Nome	Função: Variável ou Constante	Unidade	Origem
massCil	Massa do cilindro de GLP	Constante	Kg	Massa do cilindro padrão de GLP considerado na

				estimativa.
mcd_lixo	Massa de carregamento diário de lixo orgânico, por biodigestor	Variável	Kg	-
mLixoP	Massa de lixo orgânico per capita gerada diariamente	Constante	Kg	Média informada nas bases de dados do setor de Resíduos Sólidos Urbanos (Ex.: ABRELPE, 2016).
mo_inst equip	Mão de obra de instalação, por biodigestor	Constante	R\$	Estimado a partir da média de preços obtida por cotação feita no mercado (internet e telefone).
nBiod	Número de biodigestores	Constante	Inteiro	Determinado a partir da análise da população e do número de domicílios e estabelecimentos comerciais, industriais e de serviços do município.
nDias	Número de dias do mês considerado	Constante	Inteiro	Mês médio contábil (30 dias).
nDom	Número de domicílios que alimentam um biodigestor	Constante	Inteiro	Determinado pela equipe de projeto a partir da análise da geração diária de lixo orgânico, per capita, estimada, por domicílio e da capacidade de carregamento do biodigestor escolhido.

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros

continua...

Abreviatura usada no diagrama	Nome	Função: Variável ou Constante	Unidade	Origem
nP	Número de pessoas por domicílio	Constante	Inteiro	Média informada nas bases de dados do

				Município (IPARDES, 2019).
percent_desc_usuar	Percentual de desconto dado ao usuário, em relação ao valor atualmente pago pelo gás GLP	Constante	%	Arbitrado pelo provedor do PSS, conforme seus objetivos de marketing, para garantir a atratividade da sua oferta para o usuário final.
prod	Produtividade do biodigestor	Constante	m ³ /ton	Calculado a partir de dados informados pelo fabricante do biodigestor.
qtd_mens_biofert_PSS	Quantidade mensal de biofertilizante produzida pelo PSS	Variável	Litros	-
rec_loc_biod	Receita mensal com a locação dos biodigestores	Variável	R\$	
rec_mens_vda_biofert	Receita mensal pela venda dos biofertilizantes	Variável	R\$	-
rec_mens_vda_biogas	Receita mensal com a venda do biogás	Variável	R\$	-
saldo_ano_1	Fluxo de caixa (diferença entre receitas e despesas) do primeiro ano	Variável	R\$	-

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros

continua...

Abreviatura usada no diagrama	Nome	Função: Variável ou Constante	Unidade	Origem
saldo_ano_t	Saldo do empreendimento num ano "t" considerando o desembolso para	Variável	R\$	-

	investimento somado ao valor presente líquido do saldo anual (fluxo de caixa) dos anos 1 até "t"			
saldo_anual	Fluxo de caixa (diferença entre receitas e despesas) do segundo ano e anos subsequentes	Variável	R\$	-
sub equip_inst	Sub-total - soma de custos dos equipamentos e instalação	Variável	R\$	Determinado a partir do número de equipamentos especificado para atender o município e os custos associados com a instalação, levantados.
tar_biog	Tarifa de biogás, cobrada pelo provedor PSS dos usuários	Variável	R\$/m ³	-
TIR	Taxa Interna de Retorno	Variável	%	-
TMA	Taxa Mínima de Atratividade definida	Constante	%	Arbitrada pela equipe de projeto, segundo demandas do investidor interessado em se tornar o provedor do PSS
tot_cust_infra	Total de custos com infraestrutura	Variável	R\$	-
tot_desp_mens	Total de despesas mensais	Variável	R\$	-

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro 9 – Correlação: abreviatura, nome e origem dos parâmetros

...final.

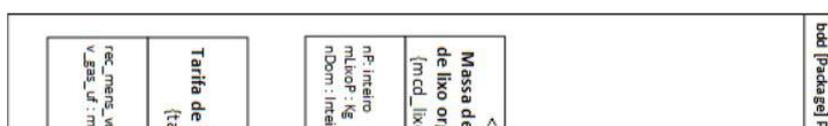
Abreviatura usada no diagrama	Nome	Função: Variável ou Constante	Unidade	Origem
tot_rec_mens	Total de receitas mensais	Variável	R\$	-
uf	Unidade funcional	Variável	ton/mês	-
v_gas_uf	Produção mensal de biogás, por	Variável	m ³ /mês	-

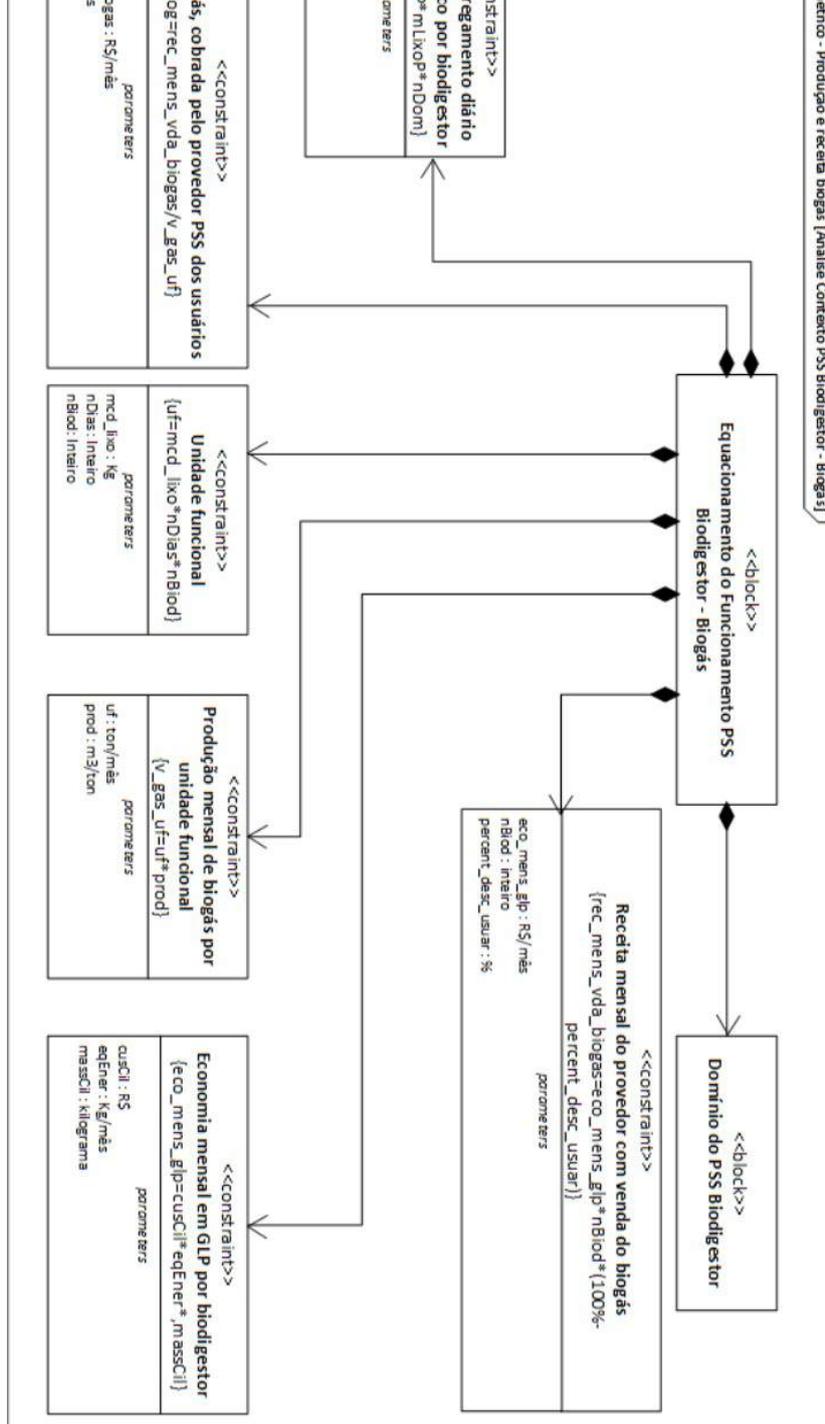
	unidade funcional			
val_vend_biofert	Valor de venda do biofertilizante	Variável	R\$/litro	-

Fonte: Construído pelo autor.

Uma vez definidos os parâmetros, construiu-se o diagrama de blocos de análise de contexto do ciclo de geração e venda do biogás, apresentado na figura 40.

Figura 40 – Diagrama de blocos – contexto – geração e venda do biogás



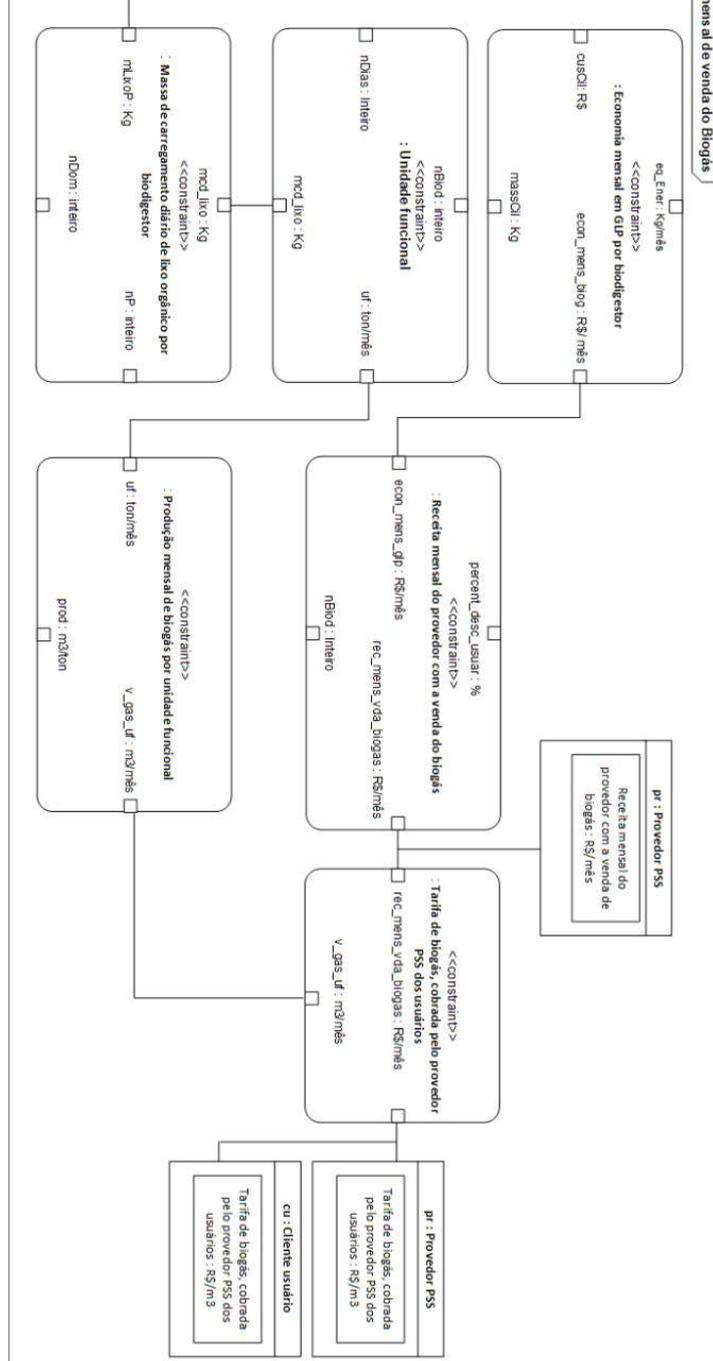


Fonte: Construído pelo autor.

Em seguida, representou-se o relacionamento entre as equações que definem as relações matemáticas que regem o ciclo de produção e venda do biogás por meio do diagrama paramétrico da figura 41. Ressalta-se que, por melhor didática, não foram expressadas em linguagem gráfica, nos diagramas paramétricos construídos neste trabalho, as origens de todas as propriedades de restrição e de partes (termos das equações). Fosse assim o tamanho final dos diagramas inviabilizaria sua exposição de forma legível no formato da tese. Portanto, esta informação foi alocada no quadro 9. O leitor deve, portanto, usar suas informações como referência ao interpretar os diagramas paramétricos que se seguem nesta seção.

Figura 41 – Diagrama paramétrico – geração e venda do biogás





Fonte: Construído pelo autor.

O diagrama de blocos da figura 40 apresenta as equações que regem a produção e a venda do biogás, indicando quais são as constantes e variáveis consideradas no cálculo, conforme nominadas no quadro 9. Ao analisar a origem das constantes o leitor pode notar que alguns valores considerados como tais podem, em verdade, variar, seja com os transcorrer do tempo ou com a alteração do cenário (ex.: preço de equipamentos, despesas dependentes de tarifas, custo do cilindro de gás GLP, etc.). Portanto, deve entender-se a semântica do termo “constante”, usado no quadro 9, como significando qualquer valor que, uma vez coletado pela equipe de projeto, é usado como parâmetro *estático* para permitir o cálculo da variável na equação considerada. Caso as equações sejam usadas para avaliação em tempos posteriores, a validade de suas saídas estará condicionada a

atualização dos parâmetros de entrada marcados no quadro como “Constantes”. Portanto, ao realizar os cálculos em outro tempo ou considerando mudanças de cenário, os valores das rubricas marcadas como “constantes” deverão ser atualizados, usando-se os critérios do quadro 9.

A figura 41 permite visualizar o encadeamento das equações que regem o cálculo. Primeiro calcula-se a *Massa de carregamento diário de lixo orgânico por biodigestor*. O valor obtido serve de entrada para o cálculo da *Unidade Funcional*. A partir desta última pode-se calcular a *Tarifa de biogás, cobrada pelo provedor PSS dos usuários* e a *Receita mensal do provedor com a venda do biogás*.

Em seguida, repetiu-se o procedimento, construindo o diagrama de blocos de análise de contexto e o seu respectivo diagrama paramétrico do ciclo de produção e de venda do biofertilizante, mostrados nas figuras 42 e 43.

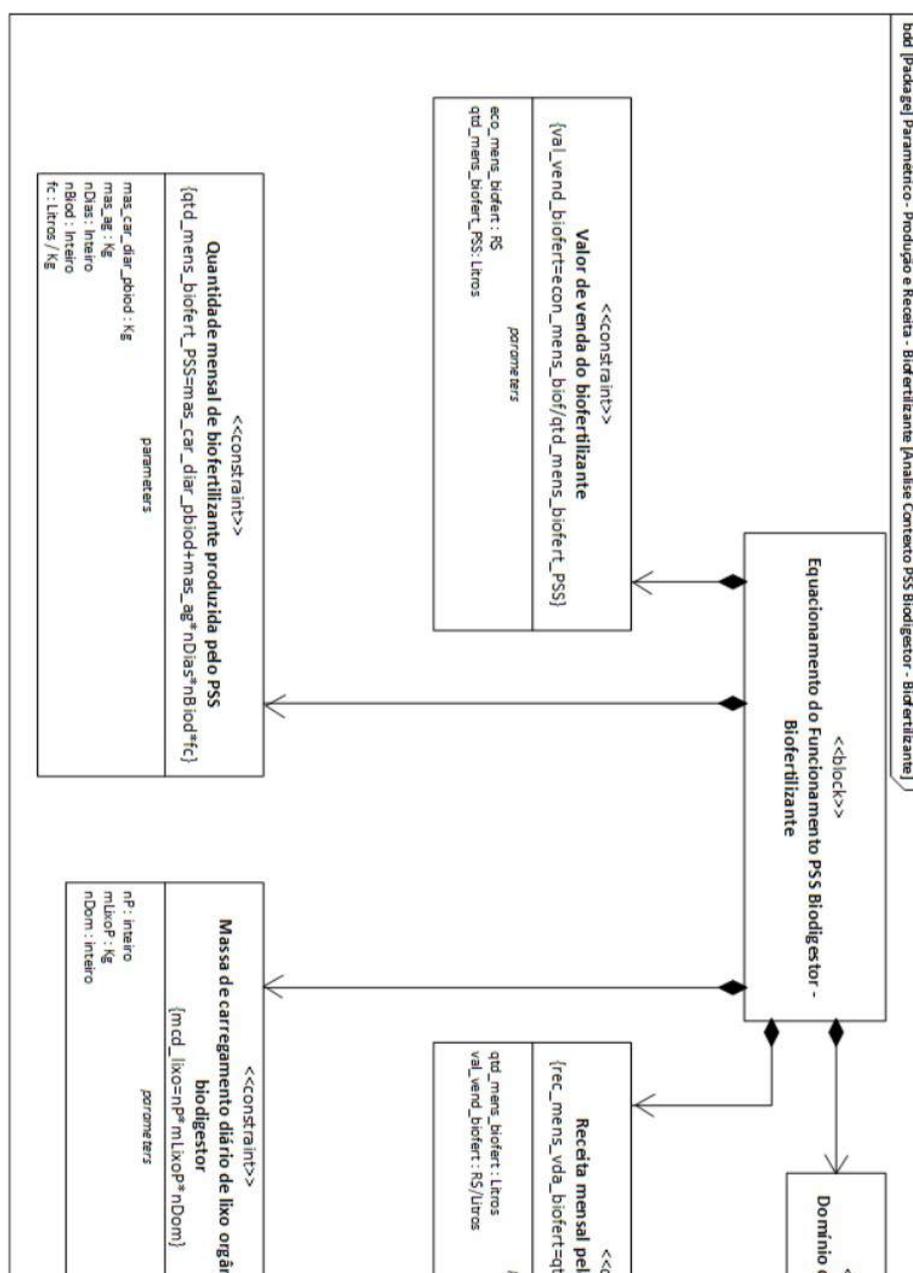
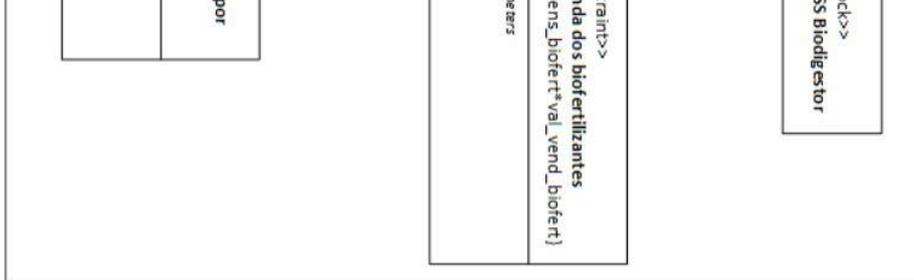


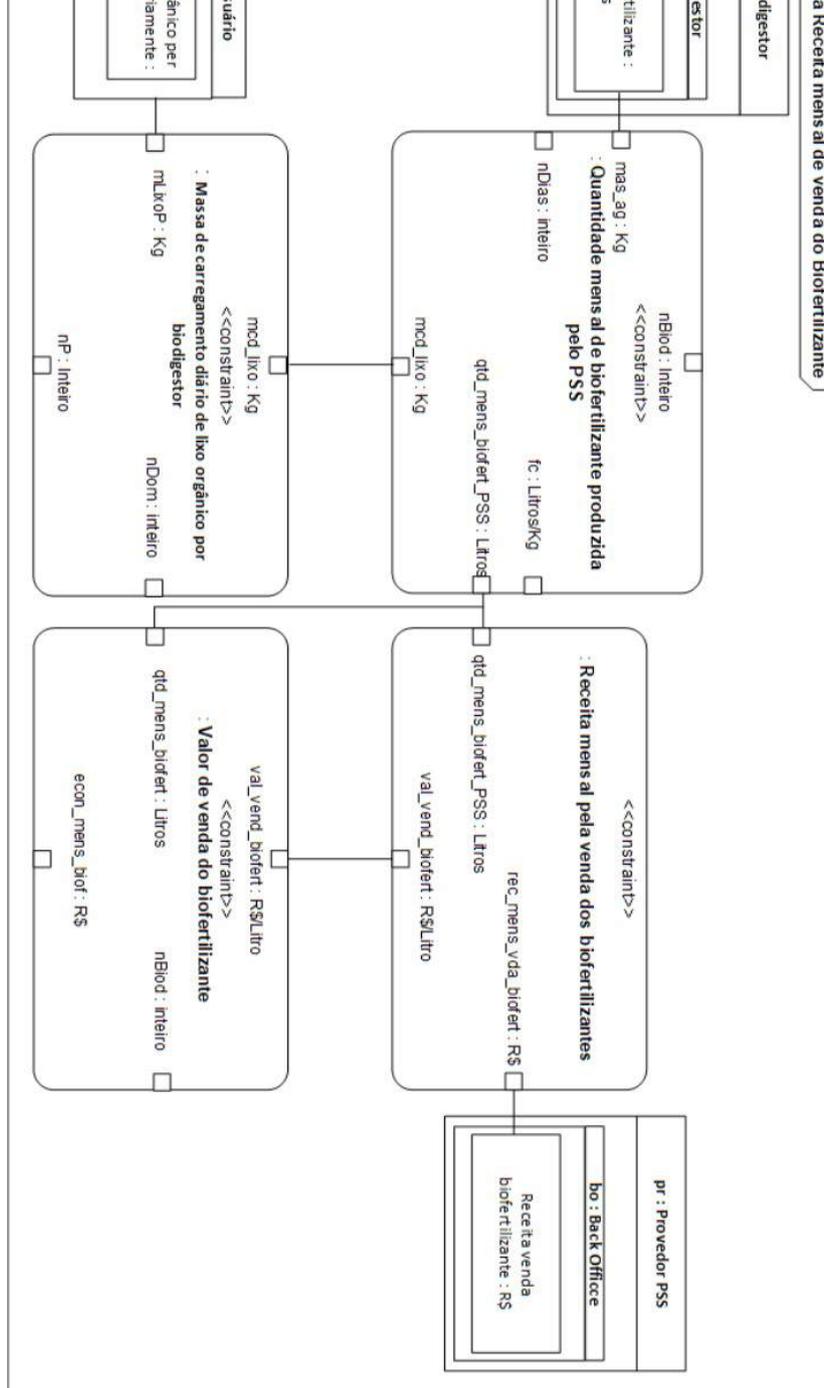
Figura 42 – Diagrama de blocos de análise de contexto de biofertilizante



Fonte: Construído pelo autor.

Figura 43 – Diagrama paramétrico – biofertilizante





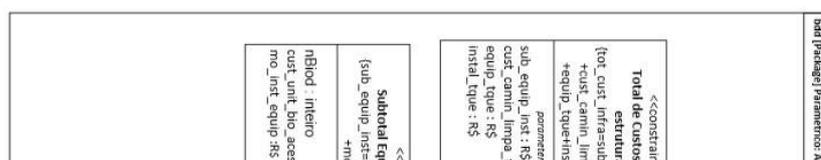
Fonte: Construído pelo autor.

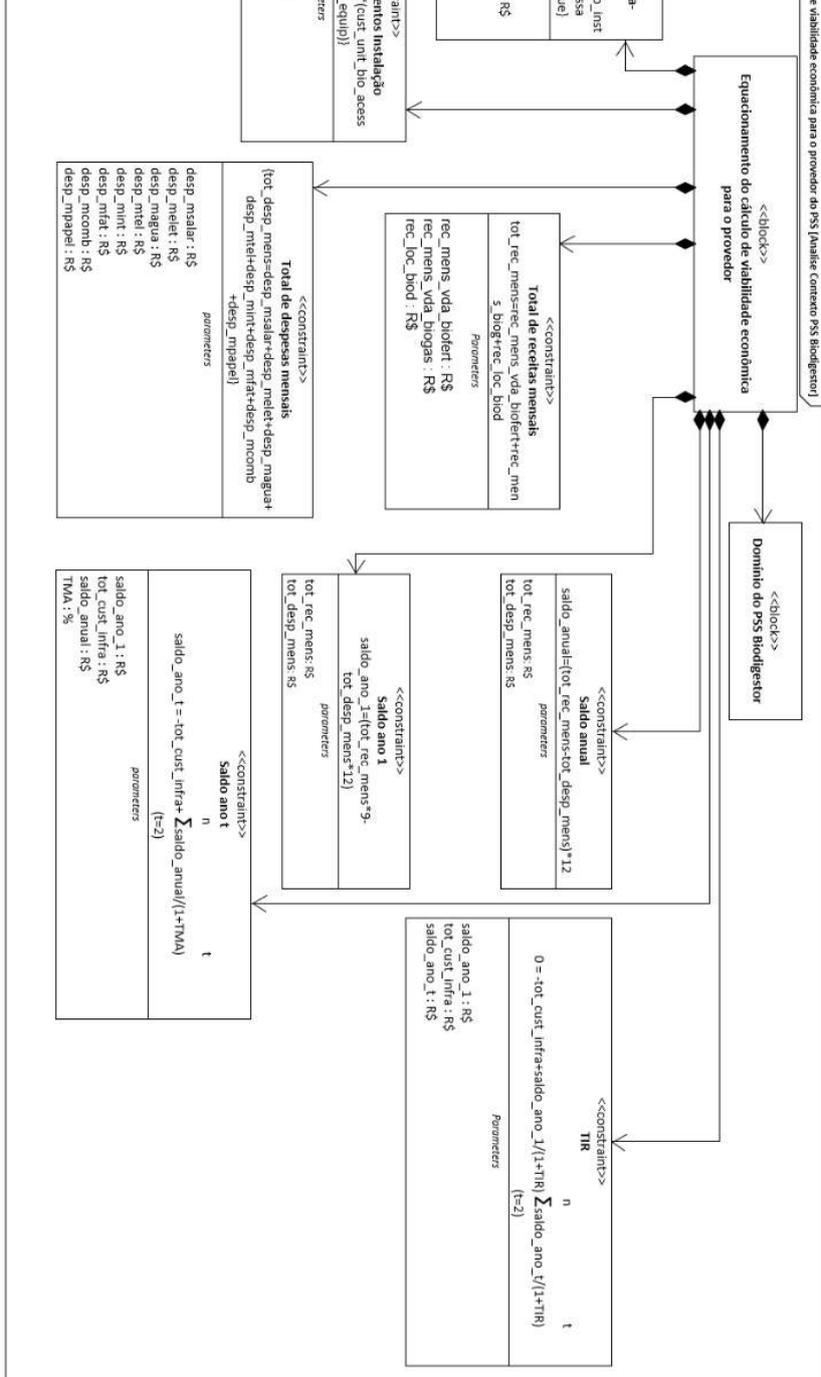
O uso das equações encadeadas nos diagramas de blocos de análise de contexto e paramétrico apresentados nas figuras 40 e 41 permite a realização do cálculo da receita estimada do provedor com a venda do Biogás para o cenário considerado. Os diagramas das figuras 42 e 43, por sua vez, entregam as equações que viabilizam o cálculo da receita do provedor com a venda do Biofertilizante.

Pela figura 43 observa-se que o cálculo inicia-se pela obtenção da *Massa de carregamento diário do biodigestor*. A partir dela pode-se calcular a *Quantidade mensal de biofertilizante produzida pelo PSS* e, em seguida, a *Receita mensal pela venda dos biofertilizantes* e o *Valor de venda do biofertilizante*.

Na sequência, foi construído um terceiro conjunto “diagrama de bloco de análise de contexto + diagrama paramétrico” para especificar as equações que apoiam o cálculo de viabilidade econômica do PSS para o provedor. Ambos são apresentados nas figuras 44 e 45.

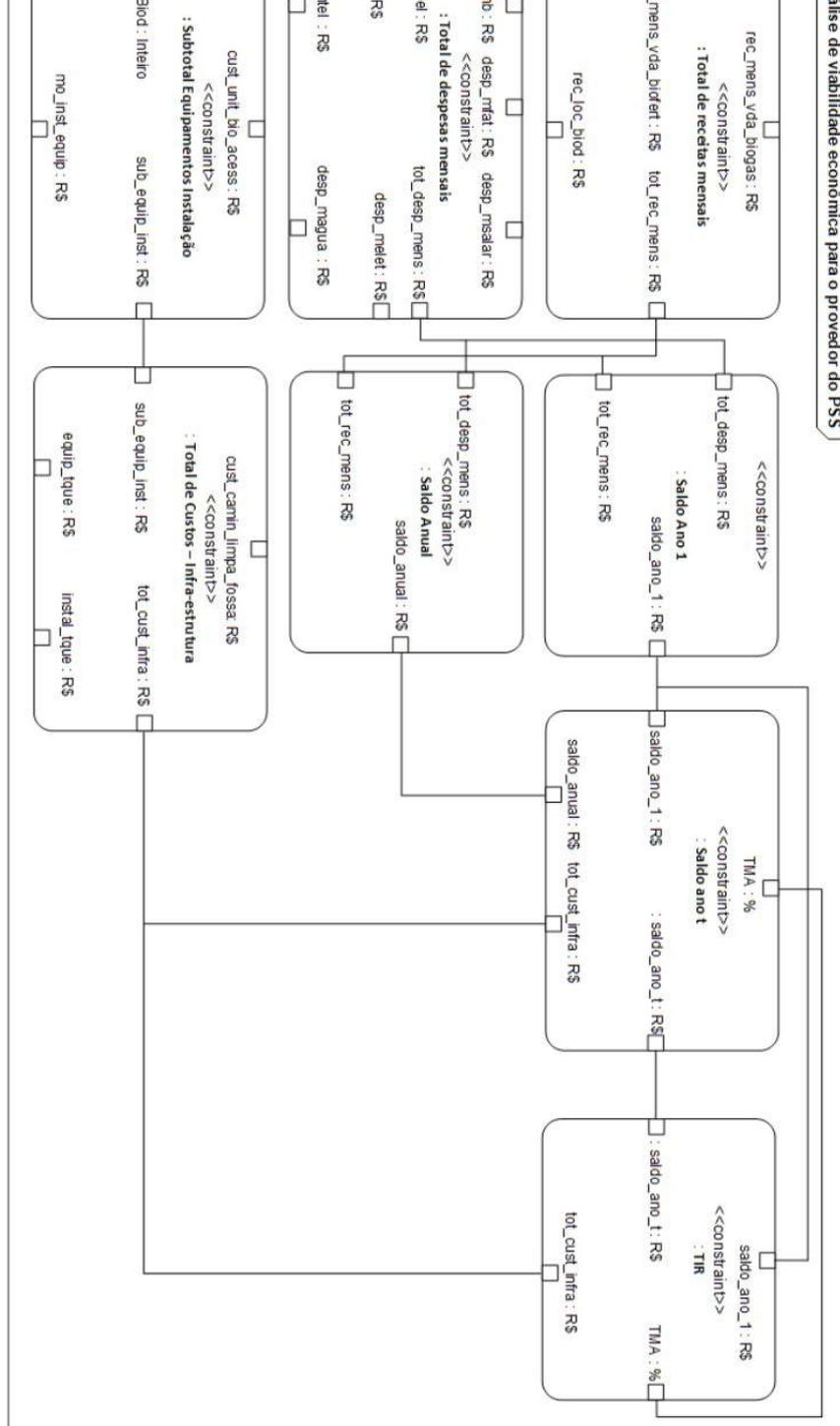
Figura 44 – Diagrama de blocos – análise de contexto – cálculo de viabilidade





Fonte: Construído pelo autor.

Figura 45 – Diagrama paramétrico – cálculo de viabilidade econômica



Fonte: Construído pelo autor.

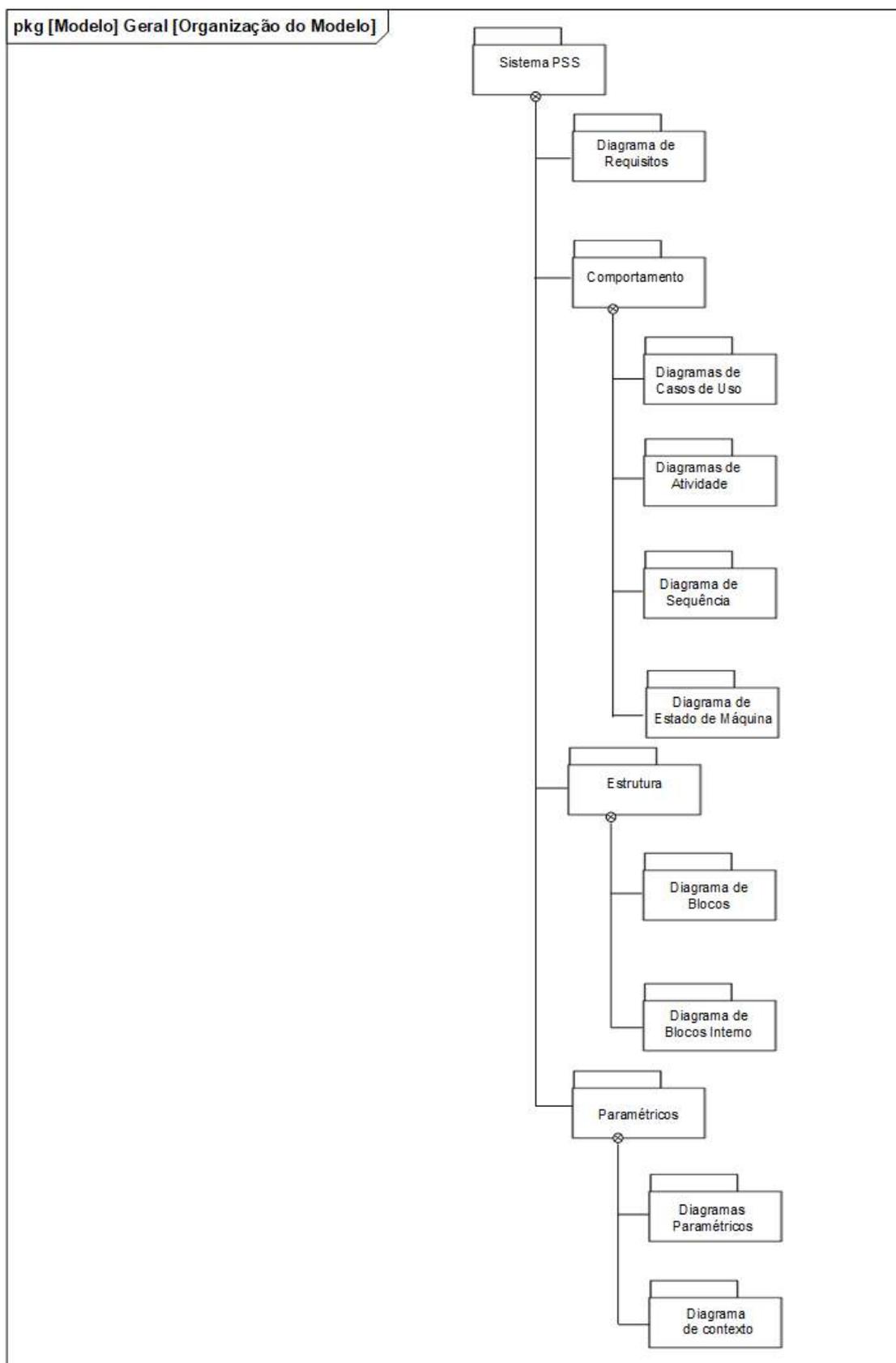
A exemplo dos diagramas das figuras 40 a 43, os diagramas das figuras 44 e 45 especificam as equações que subsidiam o cálculo e suas correlações, permitindo a análise da propagação de alterações de um ou mais parâmetros no restante do sistema. Tal característica é especialmente desejável na etapa de avaliação, onde deve-se analisar a sensibilidade das saídas para a variação de parâmetros de entrada do cálculo, como receitas e despesas. Este é especialmente o caso de dois parâmetros de saída: a TIR e o saldo em um ano “t” qualquer, considerado, após a implantação do PSS, pois através do mesmo verifica-se (ou não) a viabilidade econômica.

Nota-se que, na equação do *Total de despesas mensais* apresentada nos diagramas das figuras 44 e 45, especificou-se todas as rubricas de despesas administrativas, embora as mesmas estejam agrupadas na tabela 2. Optou-se por fazer uma representação mais detalhada por duas razões. Primeiramente, porque o propósito dos diagramas SysML é justamente melhorar a compreensão do todo do sistema pelo leitor. Em segundo lugar porque uma especificação mais detalhada facilita a tarefa de avaliações de viabilidade considerando outros cenários (de outros municípios, por exemplo).

Pela análise dos diagramas, verifica-se que a equação de cálculo da TIR só se resolve por métodos numéricos. Há softwares (como o Excel) que possuem funções programadas para a realização da parte da fórmula a partir do símbolo de somatório. Portanto, pode-se calcular a partir do somatório, usando-se a função “TIR” do Excel, e substituir o resultado na fórmula da TIR do diagrama da figura 45. Então, completa-se o cálculo.

Finalmente, após a construção dos diagramas paramétricos, desenhou-se o diagrama de pacotes, o qual apresenta os demais diagramas agrupados em diretórios, seguindo a classificação padrão da linguagem SysML, conforme a classe de informação que cada diagrama contém. Ele é mostrado na figura 46.

Figura 46 – Diagrama de Pacotes do PSS



Fonte: Construído pelo autor.

O Diagrama de Pacotes da figura 46 mostra *onde* encontrar cada diagrama, na documentação do sistema gerada na linguagem SysML. No diretório *Requisitos* está

alocado o diagrama de Requisitos. O diretório *Comportamento* é o que agrupa a maior quantidade de informações, contendo os diagramas de *Casos de Uso*, de *Atividades*, de *Sequência* e de *Estado de Máquina*. O diretório de *Estrutura* reúne os diagramas de *Definição de Blocos* e de *Bloco Interno*. Por fim, o diretório *Paramétrico* agrupa os *Diagramas de Blocos de análise de contexto* e os *Paramétricos*.

4.3. Macrofase de Avaliação

Após o desenvolvimento do PSS e da sua especificação, seguindo o framework do capítulo 3, a equipe avançou para a etapa de avaliação, a qual foi realizada através de sessões apoiadas por computador, por meio de trocas de e-mails entre os participantes, com o apoio dos métodos selecionados para a avaliação do modelo econômico - VPL e Simulação de Monte Carlo. Primeiramente foi realizada a análise de funcionalidade, pelo critério do argumento informado, comparando as funções do PSS projetado com as propostas da literatura. Elaborou-se o relatório informal conforme segue:

“No modelo tradicional de venda de biodigestores, o custo inicial de aquisição é ao menos em parte suportado pelas famílias, e é relativamente alto, considerando o seu orçamento, constituindo-se numa barreira para o emprego dos biodigestores (CLEMENS et al., 2018; ORTIZ; TERRAPON-PFA; DIENST, 2017). No PSS proposto os biodigestores não são vendidos e o usuário não paga por eles, antes os recebe em comodato, portanto este problema é mitigado.

No modelo tradicional, muitas famílias, após a aquisição, deixam de utilizar a tecnologia devido à inabilidade de reparar os bio-digestores após o malfuncionamento e a falta de acesso à compra de componentes roubados ou estragados (CLEMENS et al., 2018). Outra causa de abandono do sistema é a compra da propriedade por pessoas que não conhecem nem acreditam na tecnologia, ou a saída, do domicílio, das pessoas que tinham treinamento para operar os biodigestores (CLEMENS et al., 2018; LWIZA et al., 2017). No PSS proposto o provedor provê serviços de treinamento aos usuários durante todo o

período de uso, e de manutenção quinzenal dos biodigestores, garantindo a continuidade do seu funcionamento. Esta funcionalidade se verifica através do diagrama de coreografia (figura 19), e através do diagrama de atividades do caso de uso do ciclo de operação (figura 36), os quais apresentam a previsão das atividades de manutenção e ou treinamento em qualquer momento, a pedido do usuário, e a periodicidade quinzenal para a realização da verificação do biodigestor seguida de eventual manutenção ou treinamento, se necessário. Portanto, estes problemas também são mitigados.

Baixas temperaturas podem diminuir consideravelmente a taxa de produção de biogás por tempo decorrido (KUNZ; AMARAL; STEINMETZ, 2018), tornando a solução inviável. Foi efetuada uma averiguação quanto a esta possibilidade avaliando-se o perfil de temperatura anual da cidade de Porto Amazonas e comparando-o com o de cidades onde a tecnologia já é implementada. Constatou-se que o perfil anual de temperatura do município é similar ao de Xanxerê, no estado de Santa Catarina, no qual existem algumas plantas de biogás funcionando há muitos anos (SUINOCULTURA, 2016). O perfil de temperatura de ambas cidades é apresentado nas figuras 47 e 48. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados (CLIMATEMPO, 2020a; CLIMATEMPO, 2020b).

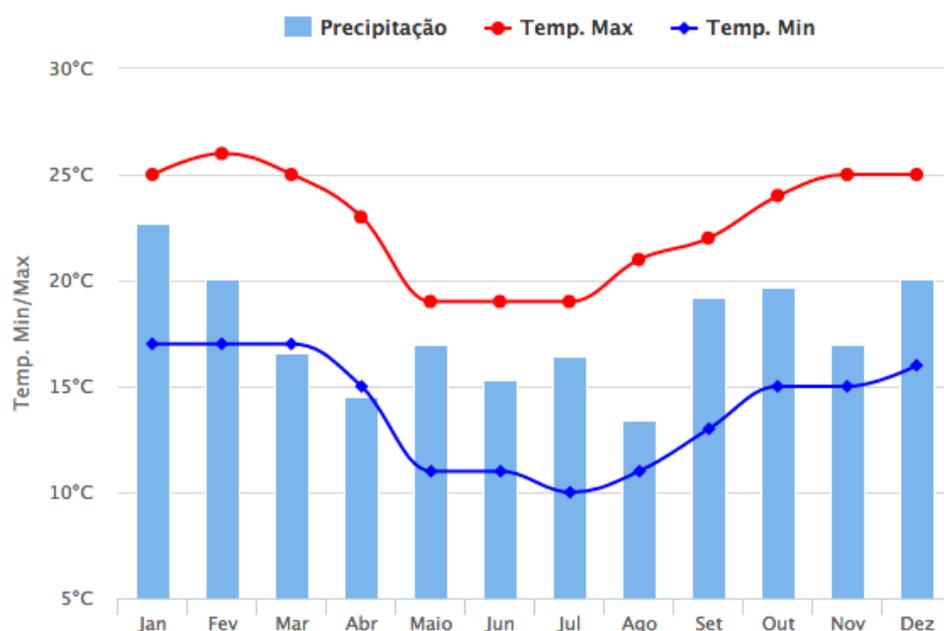
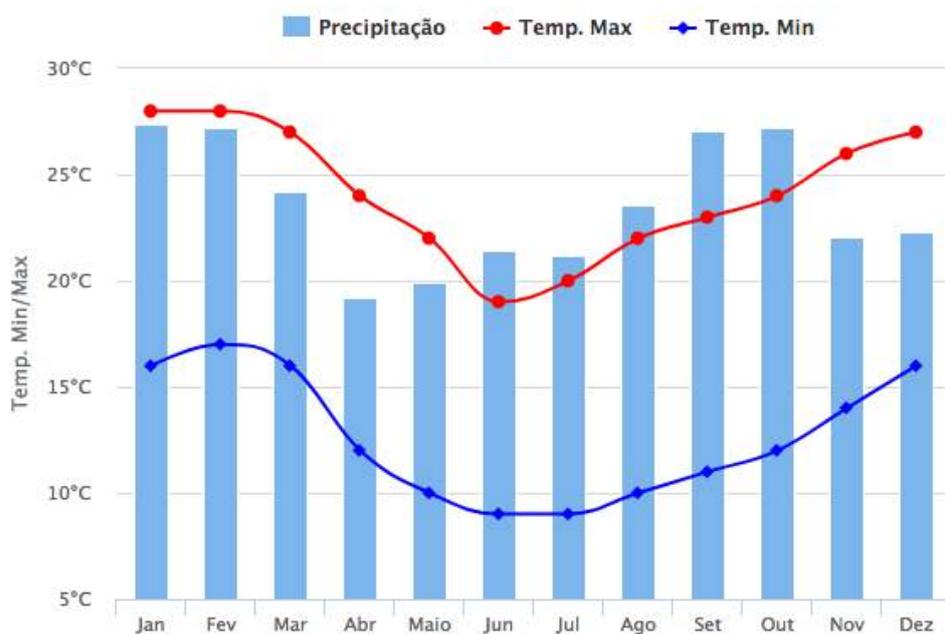


Figura 47 – Perfil de temperatura anual – Porto Amazonas-PR

Fonte: Climatempo (2020a).

Figura 48 – Perfil de temperatura anual – Xanxerê



Fonte: Climatempo (2020b).

Analisando-se as médias climatológicas nos gráficos das figuras 47 e 48 (linhas azuis e vermelhas), observa-se que as temperaturas de inverno em Porto Amazonas são superiores às de Xanxerê. Enquanto em Xanxerê a mínima é 10 graus Celsius ou inferior entre os meses de maio e agosto, em Porto Amazonas e mínima apresenta um pico inferior de 10 graus somente no mês de julho, sendo

superior em todos os demais meses do ano. Portanto, seu perfil de temperatura é mais favorável à operação dos biodigestores do que o de Xanxerê. Por consequência, posto que há plantas operando há muitos anos em Xanxerê (SUINOCULTURA, 2016), a instalação dos mesmos em Porto Amazonas é presumida como viável”.

Em seguida, realizou-se a avaliação do modelo econômico. No PSS projetado, adota-se como premissa que o valor de locação dos biodigestores será igual ao atualmente gasto pelo município na gestão de resíduos sólidos orgânicos. Ao mesmo tempo, os usuários não incorrem em custos, nem pela aquisição nem pelo uso dos biodigestores, o que indica a viabilidade econômica do modelo para a prefeitura de Porto Amazonas e para os usuários.

Para se determinar se o PSS projetado também é economicamente viável para o provedor, foi realizada a análise de viabilidade. O critério de validação escolhido foi que a taxa interna de Retorno (TIR) do investimento deve ser maior que a taxa mínima de atratividade (TMA) determinada. A TMA foi fixada considerando um prêmio de risco de 0,27% ao mês sobre a maior taxa paga pelos fundos de renda fixa dos bancos, no Brasil, em Julho de 2019, a qual foi de 0,53% ao mês (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2019). Assim a TMA foi fixada em 0,8% ao mês, ou 9,6% ao ano. O investimento inicial necessário e as receitas e despesas que subsidiam o cálculo de viabilidade estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Investimento inicial necessário – provedor PSS

Descrição	Quantidade / valor
Custo de infra-estrutura	
Número de biodigestores para atender o município	542
Custo biodigestor com acessórios	R\$2.265,00
Mão de obra - instalação, por equipamento	R\$100,00
Sub-total biodigestores - custo de equipamentos + instalação	R\$1.281.830,00
Caminhão limpa fossa ano 2012, revisado	R\$125.000,00
Tanque 500m ³ (equipamentos, técnicos e aluguel de maquinário)	R\$14.607,00

TOTAL DE CUSTOS COM INFRA-ESTRUTURA	R\$1.421.437,00
Receitas mensais	
Aluguel de biodigestores	R\$21.375,00
Vendas de biogás	R\$11.382,00
Vendas de biofertilizante	R\$13.550,00
TOTAL DE RECEITAS MENSAS	R\$46.307,00
Despesas Mensais	
Salários	R\$13.745,06
Despesas administrativas (eletricidade, água, telefone, internet, faturamento, combustível, miscelâneos)	R\$1.200,00
TOTAL DE DESPESAS MENSAS	R\$14.945,06

Fonte: os autores.

A origem dos números relativos a custos com infra-estrutura foi explicada na seção 4.2. Para efeito de avaliação a taxa de depreciação do caminhão foi arbitrada subtraindo-se do preço de um veículo novo o seu valor de mercado após 5 anos de uso e dividindo-se o resultado pelo número de meses do período a ser considerado (6 anos).

O provedor receberá R\$23.750,00 mensalmente, a título de aluguel dos biodigestores, do Município. O valor equivale ao seu gasto atual mensal com o gerenciamento de lixo orgânico sólido, o qual é apresentado, extratificado, na Tabela 4.

Tabela 4 - Custo atual com o sistema de gerenciamento de lixo orgânico sólido

Discriminação	Valor
Convênio aterro	R\$9.128,00
Salário motorista + encargos	R\$4.994,00
Salário catadores + encargos	R\$5.448,00
Diesel	R\$1.680,00
Caminhão - custo de aquisição	R\$300.000,00
Depreciação econômica do caminhão - valor mensal:	R\$2.500,00
Total:	R\$23.750,00

Fonte: Construído pelo autor.

Foi estimada uma receita mensal de R\$11.382,00 com a venda do biogás. Considerando a média de 3,28 pessoas por domicílio (IPARDES, 2019), e a geração diária de 1,04kg / habitante, cada três domicílios gerariam aproximadamente 10,23kg de lixo ($3,28 \times 1,04 \times 3$), para alimentar um biodigestor.

A quantidade de biogás produzido varia de acordo com o substrato. Uma vez que não foi possível realizar uma avaliação do potencial de geração de biogás do substrato devido a restrições de orçamento para a pesquisa, ele foi estimado através de consulta à literatura e ao fabricante do biodigestor. Necker e Rosa (2013) avaliaram o potencial de geração de biogás da fração orgânica do lixo de outra cidade brasileira e encontraram $216 \text{ m}^3/\text{ton}$. Weirinch et al. (2018) apresentaram um potencial de biogás de $223 \text{ m}^3/\text{ton}$ para um mix de vegetais, um lixo de alimentos comum no Brasil. Entretanto, o fabricante do biodigestor informou resultados muito mais modestos. Segundo ele, ao alimentar o biodigestor com a massa informada (10,23 kg/dia), a quantidade de biogás produzida mensalmente será equivalente a 6,5kg de GLP. Considerando a equivalência de 1kg de GLP para $2,2 \text{ m}^3$ de biogás (COMASTRI FILHO, 1981) e um mês de 30 dias, a produtividade do biodigestor seria de $46,59 \text{ m}^3$ de biogás / ton ($(6,5 \text{ kg} \times 2,2 \text{ m}^3/\text{kg}) / (10,23\text{kg} \times 30) \times 1000$). Usando o princípio contábil da prudência, onde os custos são maximizados e as receitas minimizadas, foi considerada a produtividade do biodigestor calculada a partir dos dados informados pelo fabricante. Multiplicando-se a produtividade do biodigestor pela unidade funcional, calculou-se a produtividade mensal de biogás do PSS, por unidade funcional, obtendo-se $7749,78 \text{ m}^3$ ($166,34 \times 46,59$).

O custo de um cilindro com 13kg de GLP, levantado, foi de R\$70,00 - valor obtido com um fornecedor local, por telefone, em Agosto de 2019. Considerando este valor, cada biodigestor proporcionaria uma economia de R\$35,00 mensais com custos de biogás ($70 \times 6,5 / 13$). Assim, a quantidade total economizada em despesas com GLP pela produção de todos os biodigestores instalados seria de R\$18.970,00 (35×542). O provedor receberá 60% deste valor, ou R\$11.382,00 (vide Tabela 3), que é a receita mensal do provedor com a venda do biogás. Para efeito de simplificação dos cálculos nesta avaliação, considera-se que todo o biogás produzido será consumido pelos usuários dentro do mesmo mês.

Dividindo-se a receita mensal com biogás pela produtividade mensal de biogás do PSS, por unidade funcional, obteve-se o valor da tarifa a ser cobrada do usuário, de R\$1,47 / m³ (arredondando o cálculo para duas casas decimais).

Considerando a carga diária do biodigestor calculada (10,23kg de lixo orgânico / dia) e as informações passadas pelo fabricante, foi estimado que, ao processar o lixo orgânico de três casas, um biodigestor gerará 1000 litros de biofertilizante por mês. Ele pode ser aplicado na agricultura, gerando economias de R\$25,00 a R\$30,00 por mês. Usando-se o princípio contábil da prudência, tomou-se o valor mínimo e dividiu-o por 1000 para encontrar o valor de venda do biofertilizante por litro, obtendo-se R\$0,025 (R\$25,00 / 1000). Ele foi multiplicado pela quantidade total produzida por mês (1000 litros / biodigestor / mês x 542 biodigestores = 542.000 litros / mês) e assim foi obtida a estimativa de receita mensal de R\$13.550,00 pela venda dos fertilizantes. Porto Amazonas tem 12.939 hectares de área cultivada (IPARDES, 2019). Portanto há potencial suficiente para consumir todos os biofertilizantes produzidos. De acordo com o volume estimado de produção de digestato (biofertilizante), pelos biodigestores, será necessário coletá-lo duas vezes ao mês. Este custo foi incluso no cálculo de despesas mensais, na Tabela 3.

As despesas mensais foram estimadas em R\$14.945,06. Foi considerado que o provedor absorverá os empregados atualmente contratados pelo município para o serviço de coleta de lixo orgânico, pagando os mesmos salários. Os preços do combustível e das despesas com salários foram considerados como sendo os mesmos do modelo atual. As despesas administrativas foram estimadas tendo como base os critérios estabelecidos, apresentados no quadro 9. As rubricas para as quais não era possível estimar a partir de bases de dados ou dados de mercado (ex.: despesas com papelaria) foram estimadas com base na experiência da equipe. Eventuais discrepâncias entre os valores arbitrados e os reais foram consideradas como variações possíveis de despesas (para maior), na simulação de Monte Carlo, apresentada mais adiante.

O regime de taxação sobre os salários considerado foi o da legislação brasileira para empresas inscritas nos regimes de lucro presumido ou real (JORNAL CONTÁBIL, 2019; DISSIDIO, 2019). Conforme levantamento realizado pela equipe, o município possui cerca de 196km de rotas internas. Assim, o cálculo do consumo

do combustível foi realizado considerando a realização de roteiros para viabilizar duas visitas por mês a cada biodigestor instalado.

Também foi incluso o custo de profissionais terceirizados para fazer a leitura mensal dos medidores de consumo de biogás. Ele foi estimado em R\$1,06 unitário, o que corresponde ao valor máximo pago pela concessionária de energia local por este serviço (COPEL, 2018). No modelo proposto, as faturas mensais do consumo de GLP de cada cliente usuário são calculadas por um funcionário do provedor, baseadas nos dados de leitura dos medidores de fluxo de gás. O mesmo colaborador seria também responsável por enviar as faturas. A proposta considera que o provedor de PSS já possua sede própria na região do município – portanto não foram inclusos custos com locação de escritório e imóvel.

O cálculo de viabilidade foi realizado pelo método do Valor Presente Líquido (VPL), baseado nas condições reais. Os dados são detalhados na Tabela 5.

Tabela 5 - Fluxo de caixa com VPL

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa descontado (valor presente líquido)	Fluxo de Caixa Acumulado - Valor Presente Líquido
0	-R\$1.421.437,00	-R\$1.421.437,00	-R\$1.421.437,00
1	R\$261.197,28	R\$238.318,69	-R\$1.183.118,31
2	R\$407.243,28	R\$339.025,85	-R\$844.092,46
3	R\$407.243,28	R\$309.330,16	-R\$534.762,30
4	R\$407.243,28	R\$282.235,55	-R\$252.526,76
5	R\$407.243,28	R\$257.514,18	R\$4.987,43
6	R\$407.243,28	R\$234.958,20	R\$243.945,63

Fonte: Construído pelo autor.

Para o fluxo de caixa apresentado, a taxa de retorno interna (TIR) calculada foi de 14,82%, a qual é superior à TMA (9,6%), indicando a viabilidade do PSS. O Payback Descontado é de 4,98, ou seja, um pouco menos que 5 anos. Foi considerado um tempo de contrato de 6 anos, embora o fabricante informe que a vida útil prevista é de 10 anos. Não se previu custo para troca dos biodigestores instalados, posto que presumiu-se que não haverá demanda desta natureza no período de contrato. Considerou-se uma carência de 3 meses, no primeiro ano, relativa ao tempo para a instalação e o início de produção de biogás pelos biodigestores.

O volume de produção de biogás pode alterar-se sensivelmente conforme a variação de dois fatores: (i) a composição do lixo, do tamanho das partículas componentes e da temperatura (CIBILOGÁS, 2018) e (ii) o percentual de carregamento dos biodigestores em relação a sua capacidade nominal.

Conforme a composição do lixo, a produção pode ser maior ou menor que a estimada, o que impõe a necessidade de considerar ambas as possibilidades. O cálculo de previsão de receitas do provedor foi realizado para a unidade funcional, a qual considera o carregamento de 100% dos biodigestores (166,34 toneladas de lixo orgânico / mês). Considerou-se que o carregamento dos biodigestores do PSS pode variar para até o limite mínimo, definido como sendo a produção média de lixo orgânico por habitante por dia, de 1,04kg (ABRELPE, 2016) multiplicada pela população estimada para Porto Amazonas em 2020, pelo IBGE. Este é de 152,07 toneladas / mês. O carregamento mínimo implica uma variação, para menos, de 8,58%, com redução proporcional igual na produção, tanto de biogás quanto de biofertilizante.

Outros fatores que contribuem para a redução do saldo de caixa, do provedor, em cada ano, são variações de despesas (para maior), fruto de aumento de preços de insumos, como combustível, energia e outros. Neste caso, o percentual não pode ser previsto com acuracidade. Porém sabe que estes valores podem, conforme o cenário, somar-se a redução possível de produção de biogás, prevista (8,58%). Assim sendo arbitrou-se, para efeito de avaliação, uma redução total do Valor Presente Líquido de até 25%, sendo que, destes, 8,58% contam pela redução possível de produção fruto de um carregamento mínimo dos biodigestores, e a diferença (25% - 8,58%) pelos demais fatores.

Outras fontes de variações podem alterar positivamente o balanço, como aumento da produção e consumo do biogás devido a ocorrência de condições climáticas mais favoráveis (aumento de temperatura, por exemplo), eventuais aumentos de locação nos biodigestores e tarifa de biogás acordados entre o provedor e o município, sem compensação financeira pelo provedor, como fruto de cláusulas de reajuste de contrato com valores superiores aos índices de inflação ou acordos de re-equilíbrio econômico de contrato pactuados, atendendo aos interesses das partes.

Considerando a soma dos fatores causadores de variação, realizou-se a análise da variação do Valor Presente Líquido (VPL) ao final do período de contrato, prevendo possíveis variações de até 25% para mais ou menos, usando-se a simulação de Monte Carlo, pelo software Visyond. O resultado é apresentado na figura 49.

Figura 49 – VPL considerando variação de até 25% para mais ou menos



Fonte: Construído pelo autor.

O gráfico apresenta as probabilidades de o VPL corresponder a determinados valores ao final dos 6 anos de contrato. O eixo da abscissa corresponde aos diferentes valores possíveis de VPL, enquanto o das ordenadas à probabilidade percentual de ocorrência de cada valor.

No cálculo realizado, utilizou-se a TMA como a taxa de desconto. Portanto, VPL igual a zero significa que a Taxa Interna de Retorno (TIR) é igual a TMA estipulada, ou seja, o PSS é viável. Valores de VPL maiores que 0 também indicam viabilidade, pois nestes casos a TIR será maior do que a TMA. Portanto, a probabilidade de o PSS ser viável para o provedor é igual a soma das áreas do gráfico que correspondem a valores de VPL iguais ou maiores que 0 no eixo da abscissa, dividida pela área total. Para o caso analisado, ela é de 95%. Ou seja, a probabilidade de que o provedor do PSS projetado para Porto Amazonas tenha um retorno sobre o investimento igual ou superior a TMA estipulada, considerando um contrato de 6 anos, é de 95%.

Considerando que os biodigestores possuem vida útil de 10 anos, analisou-se também a viabilidade considerando um período de contrato de 8 anos. Para este caso, ao realizar-se a simulação de Monte Carlo, o software Visyond calcula a probabilidade de viabilidade como sendo de 100%. Isso porque ele arredonda os resultados de cálculo para números inteiros. Interpretando o cálculo, pode-se dizer que, neste caso, a probabilidade de que o provedor não obtivesse o retorno desejado seria desprezível, ou, na prática, seria atribuível a motivos de força maior, como catástrofes naturais e efeitos macro-econômicos ou político/regulatórios imprevistos, ocorridos durante a execução do contrato. Num cenário sem imprevistos, o retorno seria certo.

Considerou-se também a possibilidade de o provedor conceder um desconto à Prefeitura de 10% sobre o valor atualmente gasto com o gerenciamento do lixo orgânico, para incentivar a administração do município a trocar o modelo atual, motivada pela vantagem econômica. Este cenário simula uma situação típica de venda do PSS por iniciativa do provedor, onde o desconto é apresentado como um incentivo para a adoção da proposta. A Tabela 6 apresenta os cálculos considerando esta situação.

Tabela 6 - Fluxo de caixa com VPL – com desconto de 10% para o município

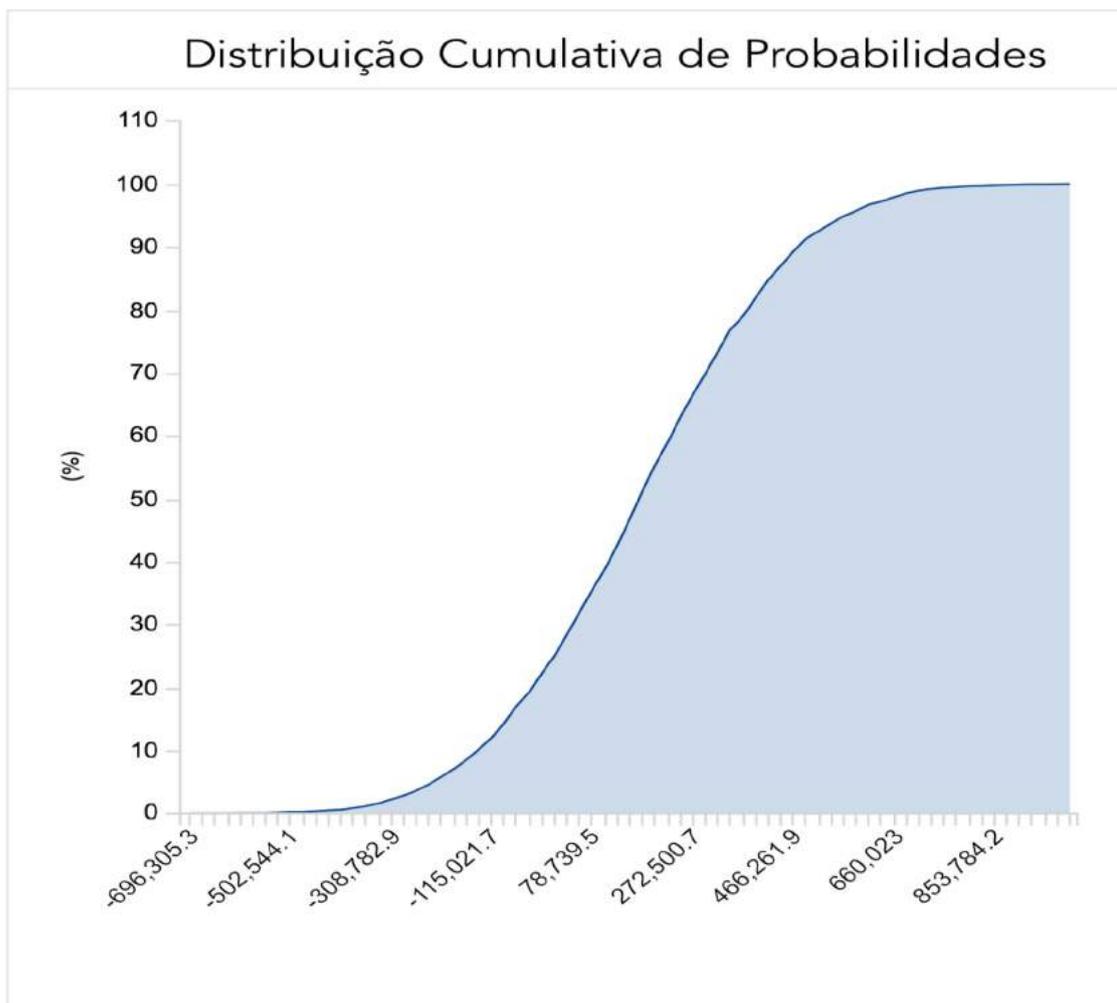
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa valor presente líquido	Fluxo de Caixa Acumulado - Valor Presente Líquido
0	-R\$1.421.437,00	-R\$1.421.437,00	-R\$1.421.437,00
1	R\$237.422,28	R\$216.626,17	-R\$1.204.810,83
2	R\$376.343,28	R\$313.301,92	-R\$891.508,91
3	R\$376.343,28	R\$285.859,42	-R\$605.649,49
4	R\$376.343,28	R\$260.820,64	-R\$344.828,85
5	R\$376.343,28	R\$237.975,03	-R\$106.853,82
6	R\$376.343,28	R\$217.130,50	R\$110.276,68

Fonte: Construído pelo autor.

Para o fluxo de caixa apresentado, a taxa de retorno interna (TIR) calculada foi de 12,04%, a qual é superior à TMA (9,6%), indicando a viabilidade do PSS para esta condição. O Payback Descontado é de 5,45 anos, ou 5 anos e 5 meses. Foi considerado o tempo de contrato de 6 anos.

Também foi realizada uma nova simulação de Monte Carlo para avaliar o impacto da redução no preço da locação dos biodigestores, considerando um cenário de negociação com o município onde o provedor poderia estender o desconto para até 20% sobre o valor atualmente gasto com o gerenciamento. Nesta simulação, considerou-se também possíveis ocorrências após a contratação que pudessem conduzir a variações de +- 10% na despesa mensal e na receita. Elas incluem eventos como a variação nos custos de mão de obra acima da taxa anual de reajuste fixadas pelos acordos coletivos de trabalhadores, descontos obtidos por negociação com fornecedores de materiais, equipamentos e mão de obra, inadimplência por parte de usuários consumidores do biogás e outras situações presumíveis. A simulação foi feita com 5000 iterações, no software Visyond. Os resultados são apresentados na figura 50.

Figura 50 - VPL cenário com desconto de 20% na locação dos biodigestores



Fonte: Construído pelo autor.

Conforme o histograma, a simulação de Monte Carlo indicou 75% de probabilidade do provedor do PSS obter uma taxa de retorno sobre o seu investimento igual ou superior a TMA estipulada (9,6% ao ano). O número é o resultado do cálculo da área correspondente a todos os valores de VPL superiores a 0, no eixo da abscissa, dividida pela área total, realizado pelo software. Ele indica que há 75% de probabilidade do PSS ser viável para o provedor, de acordo com o critério estabelecido.

Um desafio crucial do desenvolvimento de um sistema PSS, apontado na literatura, é desenvolver um modelo no qual a oferta de valor atenda as necessidades do consumidor e seja, ao mesmo tempo, viável economicamente para o provedor. Muitas empresas, quando aumentam suas ofertas de serviços, incorrem em maiores custos e eventualmente não atingem os resultados esperados (CAVALIERI; PEZZOTA, 2012), chegando até a falência (TUKKER, 2015). Os

resultados obtidos pela avaliação do PSS projetado respondem a questão de pesquisa, mostrando que há viabilidade econômica para o provedor privado ofertar a solução PSS, e o negócio oferece um risco relativamente baixo para ele. Os resultados demonstram ainda que o negócio continua sendo de baixo risco mesmo se for necessário o provedor flexibilizar as condições para convencer a administração do município a aceitar a proposta, concedendo desconto de até 20% sobre o custo atual com o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos.

Na mesma linha, verifica-se que a solução funcional proposta pelo PSS atende as diretrizes da PNRS. Ela preconiza, entre outras soluções possíveis, o “tratamento dos resíduos sólidos... e ressalta a possibilidade de adoção de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos” (BRASIL, 2020b), e prevê que o modelo de gestão de resíduos sólidos planejado pela administração dos municípios deva ter sustentabilidade financeira (BRASIL, 2010a). O PSS proposto engloba a recuperação energética do lixo orgânico domiciliar (transformação do mesmo em biogás), atendendo a legislação, e mostra-se sustentável economicamente, mostrando-se viável (neste aspecto) tanto para o município de Porto Amazonas quando para o provedor PSS. Porto Amazonas poderia cumprir com a PNRS, atendendo todos os cidadãos da área rural, e, dependendo dos parâmetros negociados com o provedor, economizar até 20% do seu orçamento atual. Isso, ampliando o atendimento para a parcela das moradias rurais que atualmente não é atendida pelo serviço de coleta e tratando adequadamente 100% do lixo orgânico gerado pelo município. Repisa-se que, de acordo com a informação dada pelos gestores do município, Porto Amazonas já destina seu resíduo sólido reciclável de acordo com a PNRS. Portanto, ao adotar o PSS proposto para resolver o problema de destinação do lixo orgânico sólido, o município passaria a cumprir todas suas exigências quanto a destinação adequada dos seus resíduos sólidos.

Uma ressalva importante a fazer, quanto aos resultados encontrados, é que eles consideram a isenção do imposto sobre serviços (ISS), de competência do município, sobre o provedor do PSS. Este cenário é visto como factível pelas seguintes razões: (i) os municípios precisam encontrar modelos de gestão que lhes permitam cumprir com as exigências da PNRS contando com o orçamento que possuem; (ii) a PNRS prevê que o modelo de gestão de resíduos sólidos planejado pela administração dos municípios deva ter sustentabilidade financeira (BRASIL,

2010a), e a cobrança de impostos sobre a concessão deste serviço onera o provedor e forçosamente conduz ao aumento dos seus preços, com consequente aumento, dos custos do município com a gestão, num efeito rebote, atuando na contramão dos seus interesses; (iii) a PNRS prevê que os municípios financiem as atividades de gestão de resíduos sólidos por meio de taxas, tarifas e outros preços públicos cobrados sobre o serviço (BRASIL, 2010a); ou seja, não exige, necessariamente, onerar o concessionário.

Os resultados encontrados são indicativos de possível viabilidade da solução PSS para os municípios brasileiros que apresentam cenários mais favoráveis (menor densidade populacional, maior área territorial e maior PIB per capita). 52% das cidades brasileiras têm menor densidade populacional e 78% delas possuem maior área territorial.

Porto Amazonas está localizado na parte sul (e mais fria) do Brasil. A maior parte das cidades brasileiras está localizada em áreas mais quentes, o que favorece a produção de biogás e, por consequência, o aumento de receita do provedor com a sua venda e a viabilidade econômica do PSS. Entretanto, considerando que a viabilidade depende de outros fatores, como o orçamento disponível pelo município, o cenário político, entre outros, seria necessário avaliar cada caso antes de decidir-se pela sua implementação.

Outro fato que contribui para favorecer a implementação da proposta é o programa PROBIOGAS, através do qual o governo brasileiro está apoiando o desenvolvimento da tecnologia do biogás em parceria com o governo alemão (GOMES et al., 2016). Através desse e de outros programas regionais de informação, os agricultores estão gradualmente adotando a tecnologia e aceitando o uso dos biofertilizantes gerados pelos biodigestores em suas áreas de cultivo (CIBIOGAS, 2012; MINAS GERAIS, 2017; BRASIL, 2016). Entretanto, o real interesse de todos os agricultores de adquirirem os biofertilizantes para uso em sua lavoura merece uma investigação mais aprofundada, o que poderia ser feito em trabalhos futuros. Outros fatores também merecem investigação posterior, como a avaliação qualitativa do desejo dos proprietários de hospedarem os biodigestores em suas casas, em troca do benefício de obterem 40% de redução nos custos com gás GLP, e a disposição dos políticos de alterar o contrato firmado para o uso do aterro de Palmeira.

No aspecto de análise da contribuição científica, considerando os objetivos da DSR, o PSS desenvolvido, como artefato proposto nesta pesquisa, emerge com uma solução viável para o problema de pesquisa definido neste trabalho (Hevner et al., 2004; Peffers et al, 2007). Assim, ele constitui-se numa contribuição para a base de conhecimento, como a *solução prescritiva que resolve o problema de destinação do lixo doméstico orgânico domiciliar, atendendo as normas da PNRS, potencialmente aplicável em municípios brasileiros de pequeno porte, a qual, ao mesmo tempo, viabiliza-se economicamente para o município e para o provedor.*

Constatou-se que o método construído para o desenvolvimento do PSS se mostrou adequado para conduzir a equipe nas sucessivas etapas até chegar numa solução satisfatória para o problema. Na mesma linha, o uso dos diagramas SysML possibilitou mostrar aspectos importantes da proposta, como, por exemplo, como o provedor PSS captura valor (pelo Diagrama de Sequência). Também viabilizou a entrega de ilustrações de alto nível, do seu funcionamento, através dos Diagrama de Casos de Uso. Por meio dos diagramas foi possível, ainda, mostrar como as ações e os fluxos de informações de dados e de objetos são coordenados para realizar cada um dos casos de uso, pelo encadeamento dos primeiros com os respectivos Diagrama de Atividades. Assim, a informação sobre os processos que apoiam cada caso de uso foi mostrada na forma de diagramas mais simples, (figuras 26-28, 30-33), com menor quantidade de informações, do que os diagramas do Service Blueprint modificado (figuras 19, 20 e 21). O particionamento das informações visuais auxilia os atores do PSS, em especial os colaboradores do provedor, a entender mais facilmente seus papéis durante cada caso de uso do PSS.

O uso da SysML possibilitou também apresentar com mais clareza um diferencial da solução PSS em relação as demais propostas da literatura, o qual é manter o biodigestor operacional durante todo o ciclo de operação do PSS. Isso através do Diagrama de Estado de Máquina, o qual apresenta, de forma gráfica, como o biodigestor será mantido na condição “operacional”. Repisa-se que um dos problemas apontados nas soluções reportadas na literatura é justamente o fato de o biodigestor ficar na condição “não operacional” devido a uma soma de fatores como troca do proprietário da residência onde o biodigestor está instalado, desconhecimento dos usuários quanto a correta operação do equipamento e falta de

suporte técnico, peças e mão de obra para a sua manutenção (CLEMENS et al., 2018; LWIZA et al., 2017).

O emprego da SysML também contribuiu por possibilitar a representação do funcionamento do biodigestor de forma gráfica, simplificada (pelo Diagrama de Bloco Interno).

O uso do Diagrama Paramétrico da SysML permitiu demonstrar os parâmetros das equações matemáticas que regem o PSS, bem como o encadeamento das mesmas que rege o desempenho do PSS segundo o ponto de vista da teoria econômica. Assim, ele facilita e apoia estudos de viabilidade do sistema em outros municípios alvo, com outros valores de entrada – o que se sugere para trabalhos futuros. Também permite uma visualização do modelamento matemático da solução com uma clareza que não seria possível obter utilizando-se apenas a descrição informal.

A adoção de uma linguagem padronizada para a especificação do PSS permitiu sua apresentação de forma organizada, (pelo Diagrama de Pacotes). Ela é especialmente útil para apoiar uma posterior apresentação do PSS ao público do segmento de gerenciamento público e privado.

Observou-se que o uso da linguagem SysML enriqueceu a representação do PSS. Isso, somado ao fato de que ela é uma linguagem especialmente desenvolvida e utilizada para a representação de sistemas, no mercado, sugere-se seu uso para a representação de outras propostas de PSS em trabalhos futuros.

Neste trabalho, os diagramas da SysML foram usados para especificar o PSS. Nota-se que os diagramas de atividade da SysML possuem funcionalidade e notação semelhantes às dos diagramas de coreografia e orquestração em linguagem BPMN, utilizados dentro do método *Service Blueprint modificado* para apoiar o desenvolvimento do PSS. Sendo assim, considera-se que seria útil testar o uso dos mesmos já na etapa de desenvolvimento, integrando o método *Service Blueprint modificado*, em substituição aos diagramas em BPMN. Nesta esteira, como a literatura apoia o uso dos diagramas de comportamento da SysML em conjunto (SYSML, 2020), poderia-se utilizar todos os diagramas dessa categoria nesta etapa, o que se sugere para trabalhos futuros. Também se sugere para trabalhos futuros o uso dos diagramas paramétricos durante a fase de desenvolvimento do PSS,

especialmente para a realização de análise de sensibilidade na propagação de variações de parâmetros de entrada dentro do modelo.

Voltando as considerações sobre o método desenvolvido neste trabalho para o projeto do PSS, posto que suas macro-etapas foram delineadas a partir de uma integração consensual da literatura, possuem elas validade intrínseca por natureza (Peffer et al. 2007). Suas sub-etapas foram construídas a partir da integração pontual de propostas de trabalhos de PSS reconhecidos na comunidade científica. De acordo com (BASKERVILLE; PRIES-HEJE; VENABLE, 2009; DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015), a validade dos passos integrantes do método, os quais não sejam consensuais na literatura, é comprovada pela obtenção de uma solução satisfatória para o problema, o que ocorreu neste caso. Portanto, o mesmo qualifica-se, no seu todo, como uma *teoria nascente* (GREGOR e HEVNER, 2013), ou uma contribuição científica na forma de conhecimento credenciável para incrementar o arcabouço científico (MEEHL, 1986), o qual é passível de generalização mediante sua aplicação em trabalhos futuros, objetivando sua consolidação como uma teoria formal para o desenvolvimento de PSS. Assim, sugere-se a aplicação do método em trabalhos futuros, para este propósito.

A pesquisa relatada na presente tese foi desenvolvida em tempos de mudança, ou aperfeiçoamento, da legislação ambiental brasileira, bem como de sua normatização. Prova disso se faz pelo recente decreto assinado pelo Exmo. Sr. Presidente da República Jair Messias Bolsonaro, em 16 de julho de 2020, que regulamentou a Lei 14.026 de 15 de julho de 2020, a qual atualizou o marco legal do saneamento básico e alterou a Lei 12.305/2010, que instituiu a PNRS, estendendo os prazos por ela instituídos para a eliminação dos lixões para até 2024 (BRASIL, 2020a). Também se faz pelo lançamento recente da consulta pública do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, em sua última versão (BRASIL, 2020b). Sendo assim, haja visto que o escopo desta tese é diretamente relacionado com este cenário em transição, entende-se ser pertinente, nesta seção em que se discute os resultados encontrados na avaliação do PSS proposto, discutir também o alinhamento das entregas da solução com as metas elaboradas pelo Estado. Isso permitirá entender melhor como os municípios poderiam se valer dos resultados apresentados neste trabalho para apoiar seu esforço para cumprir as metas da PNRS. Cabe ressaltar que os referidos decreto e consulta pública são fatos

supervenientes a esta pesquisa, ocorridos quando já se redigia a tese. A mesma foi estruturada considerando-se a Lei 12.305/2010, então vigente. Portanto será apresentada a discussão dos resultados *já obtidos* com as estratégias, diretrizes e metas propostas nestes dois documentos recentes. Na esteira, será analisado o enquadramento das entregas desta pesquisa nas classes de ações propostas no âmbito do Programa Nacional Lixão Zero, lançado pelo governo federal em 2019.

4.4. O PSS proposto no contexto da legislação ambiental brasileira atual

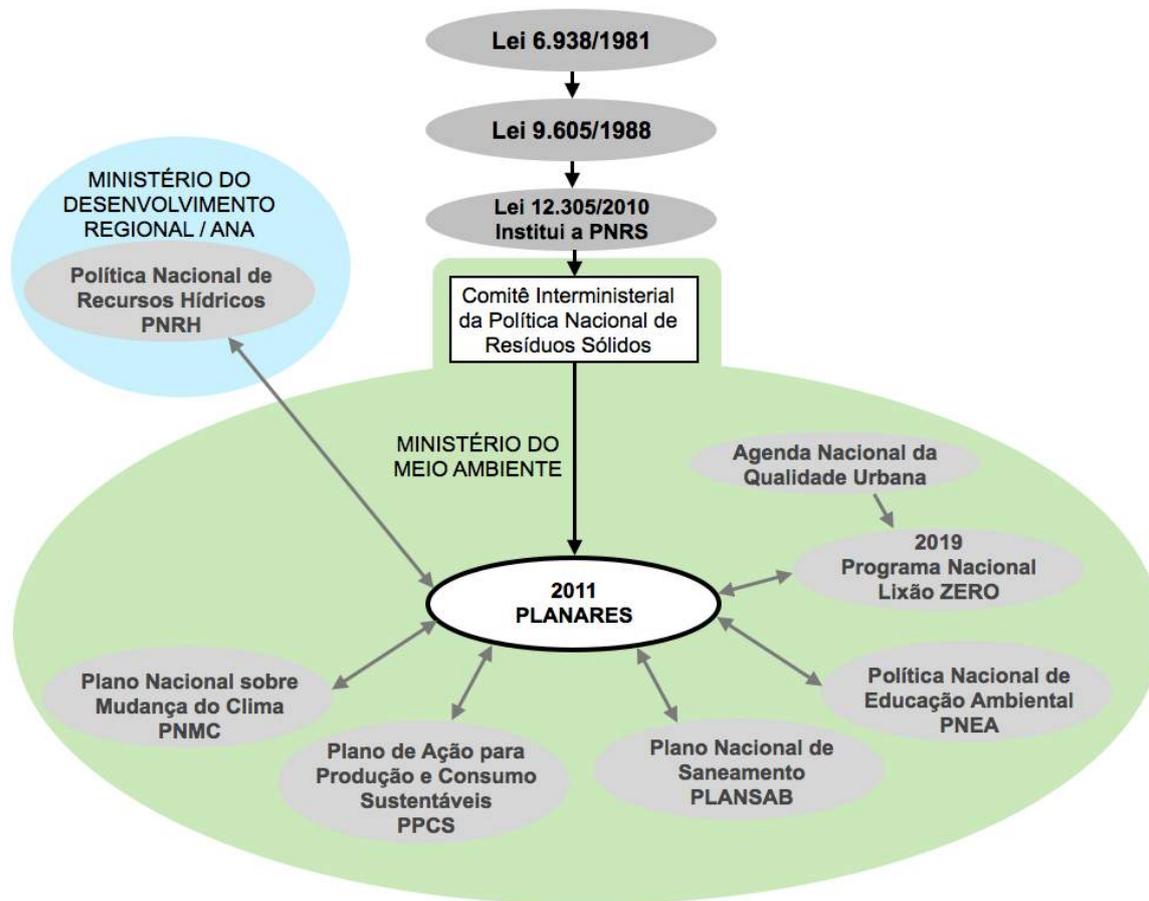
Para avaliar o alinhamento das entregas do PSS com as estratégias, diretrizes e metas propostas pelo Estado brasileiro, primeiramente faz-se necessário apresentar os dispositivos legais e normativos relacionados com a regulamentação da atividade de gestão de resíduos sólidos orgânicos, bem como seu entrelace. Com isso pode-se entender o panorama legal que se afunila nos instrumentos legais que regulamentam a atividade de gestão de resíduos sólidos, pelos municípios, bem como compreender a intenção dos dispositivos neles contidos, o que permitirá apreender o seu correto significado.

A obrigatoriedade legal de eliminar os lixões e as demais destinações inadequadas de rejeitos existe há cerca de 40 anos, imposta pelas Leis Federais 6.938, de 1981 e 9.605, de 1998 (BRASIL, 1981, 1998). Contudo, ainda assim o artigo 9o da Lei 12.305, de 2010, que instituiu a PNRS, é considerado como sendo o ponto de partida para a gestão e gerenciamento adequados dos resíduos sólidos (BRASIL, 2020b). Ele expressa a ordem de prioridade de ações que deve ser observada: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, e ressalta a possibilidade de adoção de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2020b). As diretrizes e estratégias da PNRS seguem esta orientação geral, dialogando com o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis, com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), lançado pelo Governo Federal em 2011, e também com a Agenda Ambiental na Administração Pública – A3P (BRASIL, 2012), e se inserem no amplo contexto do saneamento básico (BRASIL, 2020b).

A Lei 12.305/2010, que instituiu a PNRS, foi regulamentada pelo decreto 7404/2010. Esse, por sua vez, descreve o processo de construção do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), com o objetivo de implementar a lei. O PLANARES é estruturado e implementado pelo Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente. Sua construção iniciou-se em 2011 (BRASIL, 2012). Sua versão atual, emitida em 2020, alinha-se com o Programa Nacional Lixão Zero, lançado em 2019 pelo Ministério do Meio Ambiente, no âmbito da Agenda Nacional de Qualidade Urbana, o qual objetiva a melhoria da qualidade ambiental nas cidades e da qualidade de vida das pessoas (BRASIL, 2020b).

Ele identifica as alternativas de gestão e gerenciamento passíveis de implementação para solucionar o problema dos resíduos sólidos e apresenta planos de metas, programas e ações para a realização de mudanças no quadro atual. A figura 51 apresenta um mapa mental do PLANARES.

Figura 51 – Mapa mental do PLANARES



Fonte: Construído pelo autor.

O PLANARES harmoniza-se com a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) e com a proposta de Plano Nacional de Saneamento (PLANSAB). Está também relacionado com outros planos nacionais como o de Mudanças no Clima (PNMC), de Recursos Hídricos (PNRH), de Produção e Consumo Sustentável (PPCS) (BRASIL, 2012). Ele dialoga especialmente com o PLANSAB, uma vez que esse que abrange, além dos setores de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e drenagem e limpeza urbana, o componente de manejo dos resíduos sólidos urbanos. Esse último compreende as atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e disposição final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas (BRASIL, 2020b).

O PLANARES estabelece que “os municípios, como titulares dos serviços de limpeza urbana, são os responsáveis pela efetiva implementação das suas diretrizes”, sendo que o “não cumprimento do quanto estabelecido em lei pode levar

o gestor municipal a aplicação de penalidades administrativas, civis e inclusive penais” (BRASIL, 2020b).

No âmbito do PLANARES, faz-se uma diferenciação da definição de resíduos e rejeitos. O primeiro refere-se ao lixo gerado “em âmbito domiciliar, comércio e serviços de pequeno porte e na limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas), divididos entre recicláveis secos e orgânicos”. O segundo compreende os resíduos sólidos que, “depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2020b).

As metas do PLANARES são associadas prioritariamente aos resíduos de origem domiciliar e de limpeza urbana, assim como aqueles gerados nos estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, nos casos em que o poder público municipal os tenha caracterizado como não perigosos, equiparando-os, em razão de sua natureza, composição ou volume, aos resíduos domiciliares (RDO). Ele recomenda que sejam concentrados esforços na erradicação dos lixões, focando os municípios de pequeno porte, e incentiva modelos de produção, distribuição e consumo que reduzam a geração de resíduos. Também preconiza que, “alternativamente à disposição final, os resíduos orgânicos podem ser reciclados e valorizados, sendo as principais alternativas de aproveitamento a compostagem e a digestão anaeróbia” (BRASIL, 2020b). Enfatiza ainda que “modelos de negócio que forneçam produto como serviço ou ampliem sua vida útil se mostram promissores”, numa referência direta a PSS (BRASIL, 2010). Em razão disso vê-se que há estreita aderência do PSS desta tese com o mesmo, posto que ele viabiliza o tratamento adequado dos resíduos orgânicos domiciliares através de um modelo de negócio PSS, utilizando-se da tecnologia de digestão anaeróbia pelo uso dos biodigestores, contribuindo diretamente para a eliminação dos lixões.

O PLANARES também dialoga com a PNEA, a qual, por sua vez, está amparada em outros documentos de referência, como o Programa Nacional de Educação Ambiental – ProNEA, o Tratado Internacional de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, a Agenda 21, a Carta da Terra, entre outros (BRASIL, 2012). Essa, em seu artigo 1º, define “a educação ambiental como processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem *valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências*

voltadas para a conservação do meio ambiente” (BRASIL, 1999). Na esteira da definição, ela propõe que, sempre que um programa ou projeto seja implantado, a população da comunidade deve ser informada e sensibilizada, sendo que esta atividade deve transcender as ações já realizadas em ambiente escolar. A capacitação técnica pode ser provida pela iniciativa pública, privada ou consorciada, incentivando a participação e o exercício de uma cidadania renovada, e deve visar a segregação dos resíduos na fonte geradora para facilitar a coleta seletiva (BRASIL, 1999).

Segundo levantamento realizado pelo Comitê Interministerial da PNRS no âmbito de elaboração do PLANARES, a maioria dos municípios incorre em despesas que poderiam ser evitadas caso o resíduo orgânico fosse separado na fonte e encaminhado para um tratamento específico. Por isso, a Lei preconiza que não somente haja coleta seletiva do lixo seco (reciclável), mas também do orgânico, separando os resíduos dos rejeitos. O PLANARES prevê como tendência nacional o aumento de segregação das frações, tanto secas quanto orgânicas, na fonte (BRASIL, 2012b). O PSS proposto se alinha com as demandas da PNEA e a tendência apontada pelo PLANARES, pois contempla a separação (e o processamento) do lixo orgânico pelos próprios geradores, muitos dos quais serão usuários dos biodigestores, e inclui a sensibilização e a informação da população em duas fases bem definidas: (i) antes da implantação dos biodigestores, no processo de convencimento dos usuários finais para que os hospedem em suas casas; e (ii) durante a fase de uso, na fase de treinamento e suporte ao usuário, a qual envolve também ensinar a realizar seleção do lixo orgânico que pode alimentar os biodigestores, e a separação e segregação dos materiais não processáveis (rejeitos), para posterior coleta.

Pelo levantamento efetuado pela equipe de elaboração do PLANARES, constatou-se que 98% dos lixões existentes no país concentravam-se em municípios de pequeno porte, sendo que 57% estavam no nordeste (BRASIL, 2012). Os números revelam que há um potencial de aplicação do PSS proposto nesta tese especialmente nesta região. Ademais, esta região apresenta temperaturas significativamente mais altas, ao longo de todo o ano, que as do município de Porto Amazonas, utilizado para avaliação neste trabalho. Nestas condições os biodigestores apresentam melhor rendimento, gerando mais biogás. Por

consequência, o potencial de receita do provedor é maior, o que contribui para viabilizar a sustentabilidade econômica do PSS.

Uma estratégia delineada no PLANARES é a de promover eventos e campanhas para divulgar e discutir a importância do aproveitamento de resíduos orgânicos e minerais para a produção agrícola do país (BRASIL, 2020b). Tais eventos, se realizados, concorrerão para viabilizar a sustentabilidade econômica do modelo de negócio proposto nesta tese, pois contribuirão com o esforço de comercialização do biofertilizante produzido nos biodigestores, a ser realizado pelo provedor, aumentando as possibilidades de realizar a receita projetada com vendas.

Tanto o Decreto 7.404, que regulamenta a PNRS, em seu artigo 80, quanto a Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, a qual institui as diretrizes da Política Nacional de Saneamento Básico, em seu Capítulo VI, artigo 29, autorizam o emprego de “taxas, tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação de serviço” para garantir a sustentabilidade econômica da gestão dos resíduos sólidos pelos municípios (BRASIL, 2007, 2010a). O PSS proposto se harmoniza com estas diretrizes, uma vez que propõe o financiamento do provedor contratado por meio de tarifa sobre o biogás consumido pelos usuários. Também contribui para mitigar outro problema identificado no PLANARES: 61,4% dos municípios brasileiros não faziam nenhum tipo de cobrança pela gestão de resíduos sólidos (BRASIL, 2012). O mesmo orienta que os municípios instituíam mecanismos de cobrança, o que certamente gerará impactos políticos negativos, para a administração municipal, junto a população. Pela adoção do PSS proposto esse pode ser amenizado, na proporção em que ele viabiliza a redução dos custos com a gestão dos resíduos sólidos. Como exemplo, repisa-se que, no caso do município de Porto Amazonas, o PSS se mostrou viável mesmo considerando uma redução de até 20% nos custos de gestão dos resíduos sólidos orgânicos.

O novo marco legal do saneamento (Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020) definiu a data de 21 de dezembro de 2020 como prazo máximo para a implantação da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico financeira. Neste caso, prevalecem os seguintes prazos:

I – até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

II – até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

III – até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e

IV – até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010.” (BRASIL, 2020a).

Até 2018, 3001 municípios brasileiros ainda destinavam seus resíduos domiciliares para lixões ou aterros controlados. Só a região nordeste possuía 620 lixões. 54% dos municípios utilizam algum meio de destinação inadequada afetando, com mais intensidade, os municípios de menor porte (BRASIL, 2020b).

De acordo com a PNRS, os municípios são obrigados a realizarem o Plano Municipal de Saneamento Básico, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGRS) e o Plano Diretor, sendo que suas políticas devem ser coerentes entre si. A ausência de plano de resíduos sólidos impede o acesso a recursos da União, ou por ela controlados, bem como a incentivos e financiamento de entidades federais de crédito e de fomento relacionados a projetos de gestão de resíduos sólidos. Os municípios também podem optar por consorciarem-se, elaborando um Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos (PIGRS), caso em que este último cumpre a exigência do PMGRS, desde que o PIGRS contemple o conteúdo mínimo previsto em lei (BRASIL, 2020b). Neste contexto a presente pesquisa se mostra oportuna como instrumento potencial de apoio a tomada de decisão para as administrações dos municípios que ainda não cumprem a legislação, na elaboração de seus planos de gestão de resíduos sólidos, individuais ou em consórcio. A solução apresentada nesta tese torna-se uma opção adicional, incluída no leque dos demais modelos de negócio e tecnologias conhecidos, para atender-se a legislação. Ressalta-se que, na visão do PLANARES, “ações para encerramento de atividades de disposição inadequada de resíduos e rejeitos” tem

prioridade para o “acesso a recursos, para a obtenção do seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos” (BRASIL, 2020b). O cenário demonstra grande potencial de uso dos resultados obtidos nesta pesquisa, principalmente para apoiar as tarefas de planificação e posterior avaliação da sustentabilidade econômica dos modelos de gestão estabelecidos em programas voltados para a mitigação do problema de destinação inadequada de resíduos orgânicos.

No âmbito do PLANARES, o governo federal previu, para o período 2021 a 2024, a aprovação do marco do saneamento básico, “com disposições orientadas para conferir maior segurança jurídica aos serviços com prioridade aos modelos concessionados e medidas para assegurar a recuperação dos custos com os serviços, mediante remuneração pelos usuários” com vistas a atrair recursos e tecnologias para os avanços iniciais no setor (BRASIL, 2020b). O ajuste dos dispositivos legais vai de encontro a uma necessidade identificada para a ampliação do escopo de aplicação do PSS desenvolvido nesta tese. Contrastando-o com as informações obtidas na análise do macro ambiente econômico, foi encontrado um obstáculo de ordem legal, a ser superado, para viabilizar a proposta em municípios localizados fora do território do Estado do Paraná. Ele está relacionado com a possibilidade de venda do biogás produzido pelos biodigestores e é explicado a seguir.

A Resolução da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) 685/2017 define o biogás como sendo o “gás bruto obtido da decomposição biológica de resíduos orgânicos” (art. 2º, I); e o biometano como “gás constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do Biogás” (art. 2º, II) (BRASIL, 2017). Em termos de processo, o biogás é anterior ao biometano.

O art. 6º, XXIV, da Lei nº 9.478/1997, define biocombustível como substância derivada de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento da ANP as quais podem ser empregadas diretamente, ou mediante alterações, em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. O biometano oriundo de resíduos agrícolas e de aterros sanitários é considerado, pela ANP, como biocombustível. A sua produção e venda é regulada

pelas Resoluções ANP nº 8 de 2015 (que estabelece a especificação do Biometano), nº 685 de 2017 e nº. 734 de 2018 (que regulamentam o exercício da atividade de produção de biocombustíveis e a autorização de operação da instalação produtora de biocombustíveis) (BRASIL, 2015; 2017a; 2018b). Mas a ANP atualmente não possui dispositivo normativo regulando a venda do biogás não purificado.

O biogás contém, além do metano, gases como o CO₂ e outros em menor proporção. A ANP preconiza que esses devem ser removidos do biogás, resultando no biometano, o qual pode ser vendido. No entanto, as tecnologias para a filtragem do CO₂ são caras e seu uso tornaria o modelo proposto inviável. Uma planta de conversão e tratamento de biogás para produção de biometano, aplicável em aterros sanitários, considerada de pequena escala, demanda um investimento de 10 milhões de reais (BRASIL, 2018a). Até o momento não se tem ciência de soluções comerciais de pequena escala para atender biodigestores domésticos.

Como o biogás pode ser queimado diretamente, isso torna viável sua aplicação em fogões residenciais. A possibilidade de comercialização do biogás é importante para aumentar a atratividade financeira do modelo para o provedor. Sem sua venda, o tempo necessário para o retorno do investimento aumenta, como se pode ver pelos valores do cálculo do VPL apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Fluxo de caixa com VPL – sem a venda do biogás.

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa - VPL	Fluxo de Caixa Acumulado - VPL
0	-R\$1.226.317,00	-R\$1.226.317,00	-R\$1.226.317
1	R\$158.759,28	R\$144.853,36	-R\$1.081.463,64
2	R\$270.659,28	R\$225.321,07	-R\$856.142,57
3	R\$270.659,28	R\$205.584,92	-R\$650.557,65
4	R\$270.659,28	R\$187.577,48	-R\$462.980,16
5	R\$270.659,28	R\$171.147,34	-R\$291.832,82
6	R\$270.659,28	R\$156.156,33	-R\$135.676,49
7	R\$270.659,28	R\$142.478,40	R\$6.801,91
8	R\$270.659,28	R\$129.998,54	R\$136.800,46

9	R\$270.659,28	R\$118.611,81	R\$255.412,27
10	R\$270.659,28	R\$108.222,45	R\$363.634,72

Fonte: Construído pelo autor.

Conforme se vê pela Tabela 7, o fluxo de caixa se torna positivo no sétimo ano. O Payback descontado do investimento do provedor aumenta para 6,95 anos. O investimento deixaria de ser viável, portanto, para um contrato de 6 anos, pois esse não seria suficiente para que o investimento se pagasse. O contrato teria de perdurar por pelo menos 7 anos.

Considerando um contrato de 8 anos, a TIR é de 12,40%, superior a TMA de 9,6%, resultando num investimento atrativo, porém em médio prazo. Assim, um cenário no qual não se venderia o biogás pode desmotivar provedores que busquem retorno em prazo mais curto a realizar a oferta do PSS para o município. Por outro lado, uma vantagem observada neste cenário seria o fato de que os clientes usuários dos biodigestores não pagariam nada nem pelos biodigestores nem pelo biogás utilizado. Este fator certamente contribuiria para uma maior adesão dos munícipes ao sistema bem como para sua cooperação com o modelo, aumentando as chances de o mesmo ser implantado com sucesso.

Neste contexto, o Estado do Paraná apresenta-se como uma ilha de viabilidade do PSS proposto, por força da Política Estadual do Biogás e Biometano aprovada pela Lei Estadual 19500/2018 (PARANÁ, 2018). A política paranaense é mais avançada que a regulamentação da ANP, pois disciplina a produção e a comercialização do biogás. A Lei 19500/2018 especifica, em seu art. 2º, V, que o biogás é gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos. No seu art. 2º, X, possibilita que tanto a pessoa física quanto a jurídica possa produzir biogás a partir da decomposição de matéria orgânica e utilizá-lo diretamente ou comercializá-lo (art. 2º, X).

Esta Lei determina ainda que as operações de produção e de comercialização de biogás e de biometano submetem-se, caso necessário, à vistoria do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado do Paraná, o qual poderá estabelecer normas de segurança contra incêndios em regulamento próprio, segundo o potencial de risco. Ela ainda inclui os empreendimentos e arranjos

produtivos de biogás, de biometano e de demais produtos e direitos derivados da decomposição de matéria orgânica (biodigestão) como empresas de inovação tecnológica. Isso permite que o provedor do PSS seja beneficiado com a concessão, pelo Estado, de incentivos fiscais, recursos financeiros, subvenção econômica, materiais ou infraestrutura, a serem ajustados em termos de regimes diferenciados de tributação, regimes especiais de transferência, cessão e utilização de créditos tributários, parceria, convênios ou contratos específicos, destinados a apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento no território paranaense. Isso, contudo, depende da regulamentação dessa Lei, o que até o momento não foi feito pelo poder Executivo do Paraná.

Portanto, entende-se que a Política Estadual do Biogás e Biometano aprovada mediante a lei paranaense número 19500/2018 se aplica ao estudo e permite o modelo PSS de negócio proposto. Salienta-se, no entanto, que até o momento não existe, nos demais estados brasileiros, uma norma que autorize a venda do biogás. Nesse caso, incidem os regulamentos da ANP, que tratam do biometano. Em decorrência disso, considerando-se a implantação do modelo que prevê a venda do biogás, visto como mais interessante para o provedor PSS, há a necessidade de se trabalhar junto ao organismo regulatório para abrir o mercado nos demais Estados, antes de implementá-lo, para evitar que a empresa lance uma oferta ilegal. Logo, antes da implementação real, o provedor do PSS deve apresentar sua proposta para a ANP e obter a aprovação.

O que justifica esta mudança regulatória pela Agência Reguladora é não apenas o ganho ambiental mas também os benefícios econômicos e sociais. Devido à crise que o Brasil atravessou em 2013, muitas pessoas não mais puderam pagar pelo GLP. Então passaram a utilizar a lenha, cuja queima gera fumaça que irrita os olhos e danifica os pulmões (BLAST, 2018). E a crise econômica deste ano (2020), relacionada a Covid 19, a qual gerou um decréscimo na renda de boa parte da população, certamente acentua o problema. Se elas pudessem comprar o equivalente de GLP em biogás a um preço 40% inferior, poderiam abandonar o uso da lenha e melhorar sua qualidade de vida. Ressalta-se que o momento para a atuação junto aos órgãos governamentais para que se façam adequações normativas que as tornem permissíveis para novos modelos de gestão (como é o caso) mostra-se adequado, a luz da tendência delineada no âmbito do PLANARES, de adequação da legislação até 2024 (BRASIL, 2020b).

Caso o provedor potencial do PSS não obtenha sucesso em obter uma aprovação da venda direta do biogás junto a ANP, ainda assim haveria a possibilidade de vender o PSS para municípios de outros estados brasileiros. Neste caso, não vendendo o biogás, precisaria celebrar um contrato com duração de 8 anos, para obter um retorno que viabilize o investimento (TIR superior a TMA estipulada).

Cabe aqui um pequeno parêntese, para ressaltar a importância da sub-etapa da análise do macro-ambiente proposta no framework de desenvolvimento do PSS. Ela conduziu a equipe de desenvolvimento a ver a necessidade de trabalhar junto ao organismo regulatório para abrir o mercado, nos demais estados, além do Paraná, antes de implementar a oferta, e evitar que a empresa lançasse uma oferta ilegal. Empresas como a AT&T e a Motorola são bons exemplos de como tal atitude poderia produzir bons resultados. Elas trabalharam cinco anos para obter as licenças do organismo FCC, autorizando-as a ofertarem o serviço de telefonia celular nos Estados Unidos. Como resultado disso, um grande mercado foi criado (HAZLETT, 2017).

Voltando ao ponto, o PLANARES prevê, para o período de 2025 a 2028, uma tendência consolidada para o “estabelecimento de contratos de concessão e parcerias público-privadas e o surgimento de sistemas alternativos à coleta porta a porta, com viabilidade econômica e ambiental, visando a otimização de recursos financeiros e à mitigação de impactos em outros setores, como o tráfego em malhas urbanas intensas e de difícil circulação”, onde são vistos projetos piloto, liderados por startups e municipalidades, de coleta seletiva de resíduos domiciliares (BRASIL, 2020b), como amparado pela lei 13.529 (BRASIL, 2017b). Neste sentido pode-se dizer que o PSS proposto antecipa o futuro projetado. Pois propõe que o resíduo orgânico seja separado do rejeito na fonte e seja processado onde é produzido, eliminando a coleta, num modelo de parceria público-privada que reduz os custos de gestão para o município e se mostra viável para o provedor, sendo sustentável economicamente.

No âmbito do PLANARES, foram estabelecidas 9 metas para a gestão de resíduos sólidos urbanos com os seus respectivos indicadores para avaliação, além de terem sido traçadas diretrizes e estratégias para o cumprimento das mesmas

(BRASIL, 2020b). O quadro 10 elenca as metas relacionadas com o escopo da presente pesquisa, referenciando as contribuições da última com elas.

Quadro 10 - Contribuições do PSS para as metas do PLANARES

continua...

META	Contribuição deste trabalho	Indicador Global melhorado	Indicador secundário melhorado
<p>META 3</p> <p>Eliminar práticas de disposição final inadequada e encerrar lixões e aterros controlados.</p>	<p>Provê uma alternativa para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos na fonte, diminuindo o volume encaminhado para a destinação final.</p>	<p>Indicador Global 3</p> <p>Quantidade de lixões e aterros controlados que ainda recebem resíduos.</p> <p>DESCRIÇÃO DO INDICADOR</p> <p>Encerramento dos lixões e aterros controlados até 2024.</p>	<p>Indicador secundário 3.1</p> <p>Percentual de cobertura de coleta de resíduos sólidos.</p> <p>DESCRIÇÃO DO INDICADOR</p> <p>Universalização da coleta regular de RSU até 2036.</p>
<p>META 4</p>	<p>Provê uma alternativa</p>	<p>Indicador global 4</p>	

Reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada.	para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos na fonte, reduzindo a demanda de coleta.	<p>Percentual da massa total recuperada.</p> <p>DESCRIÇÃO DO INDICADOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Recuperar 48,2% da massa total de RSU em âmbito nacional até 2040. 	
---	---	---	--

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 10 - Contribuições do PSS para as metas do PLANARES

...final.

META	Contribuição deste trabalho	Indicador Global melhorado	Indicador secundário melhorado
<p>META 7</p> <p>Aumentar a reciclagem da fração orgânica dos RSU.</p>	<p>Propõe o uso da tecnologia de tratamento biológico por digestão anaeróbia para a valorização dos resíduos orgânicos, convertendo-os em gás utilizável na cozinha e em fertilizante.</p>	<p>Indicador global 7</p> <p>Percentual da massa total destinada para tratamento biológico.</p> <p>DESCRIÇÃO DO INDICADOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Envio de 13,5% de toda a massa de RSU nacional para tratamento biológico. 	<p>Indicador secundário 7.1</p> <p>Percentual dos municípios com iniciativas de valorização de resíduos orgânicos.</p> <p>DESCRIÇÃO DO INDICADOR</p> <p>Todos os municípios do Brasil devem ter alguma iniciativa de valorização de resíduos orgânicos, como coleta seletiva de orgânicos, compostagem e digestão anaeróbia em</p>

			escala piloto, unidades de tratamento mecânico-biológico, dentre outros, até 2040.
META8 Aumentar a recuperação e aproveitamento energético de biogás de RSU.	Propõe o uso de biodigestores domésticos para a geração de biogás, gerando aproveitamento energético na forma de calor pela queima do biogás.	Indicador global 8 Percentual do biogás gerado pela fração orgânica do RSU aproveitado energeticamente. DESCRIÇÃO DO INDICADOR • Até 2040, mais de 60% do biogás gerado será aproveitado energeticamente, com potencial para abastecer 9,5 milhões de domicílios com eletricidade.	

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

O quadro 10 pode servir como um guia de referência para permitir as administrações dos municípios o utilizar adequadamente os resultados desta pesquisa nos seus trabalhos de formulação de seus PMGRS visando a obtenção da melhoria dos indicadores definidos no plano. No PLANARES encontram-se diretrizes e estratégias delineadas com o propósito de atingir-se as metas estabelecidas. O quadro 11 apresenta as diretrizes e estratégias relacionadas com o escopo desta pesquisa, associadas às contribuições desta tese que podem apoiar a tomada de decisão da administração dos municípios na formulação dos seus PMGRS de modo a alinhá-los com as mesmas.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

continua...

Diretriz		Estratégia	Contribuição do PSS
4.2. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA CAPACIDADE INSTITUCIONAL DOS	Diretriz 1A Aumentar a sustentabilidade econômico-financeira	Estratégia 1: Incentivar a elaboração de estudos sobre modelos de remuneração e implementação de	Apresenta uma opção de modelo para garantir a sustentabilidade

TITULARES	dos municípios para a prestação dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.	instrumentos adequados de cobrança.	econômica da gestão de resíduos sólidos orgânicos pelos municípios.
		Estratégia 2: Avaliar a situação de dependência dos entes federados em relação aos recursos federais e viabilizar instrumentos para a auto-sustentabilidade de recursos por parte de cada ente.	

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

continua...

Diretriz		Estratégia	Contribuição do PSS
4.2. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DA CAPACIDADE INSTITUCIONAL DOS TITULARES	Diretriz 2C Fortalecer a gestão dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.	Estratégia 14: Assegurar o aperfeiçoamento do ambiente regulatório e edição de normas orientadoras que reduzam riscos e incertezas normativas e estimulem ações integradas de caráter regional.	Contribui para enriquecer a discussão sobre o cenário regulatório e normativo, apresentando sugestões de adequações que possibilitem a adoção do modelo de negócios proposto, transformando-o numa alternativa real e válida em todo o território nacional.
		Estratégia 16: Explorar as potencialidades,	Propõe um modelo que viabiliza a gestão através de concessão

		desenvolver modelos e incentivar parcerias e concessões ao setor privado para a prestação dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.	ao setor privado, o qual reduz os gastos mensais do município.
--	--	--	--

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

continua...

Diretriz		Estratégia	Contribuição do PSS
4.3. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	4.3.1. ELIMINAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE LIXÕES E ATERROS CONTROLADOS	Diretriz 1B Universalizar a cobertura dos serviços de coleta de RSU.	Estratégia 7: Estimular a inovação em novos arranjos logísticos e estruturais para expansão dos serviços de coleta de RSU, investindo em pesquisa e mediante cooperação técnica. Propõe um modelo alternativo ao de coleta tradicional, o qual reduz os custos e os impactos ambientais relacionados com o transporte dos resíduos orgânicos.

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

continua...

Diretriz		Estratégia	Contribuição do PSS
4.3. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	4.3.2. REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS E REJEITOS ENCAMINHADOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL AMBIENTALMENTE ADEQUADA	Diretriz 2B Redução da geração e da quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada.	Estratégia 17: Estimular municípios e consórcios a realizarem concessões com critérios de desempenho e medição dos contratos com base no desvio de massa dos aterros sanitários.
			Estratégia 20: Destinar e facilitar acesso a recursos para implantação de unidades de tratamento mecânico e biológico, prioritariamente em municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento,
			O modelo propicia o destino de quase a totalidade dos resíduos orgânicos dos aterros sanitários. Somente seriam levados os rejeitos que não podem ser processados.
			O PSS propõe o uso de estações domiciliares de tratamento biológico (biodigestores).

			instituídas por lei complementar, bem como em áreas de especial interesse turístico.	
			Estratégia 21: Fomentar pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e sistemas que visem o desvio de RSU da disposição final.	O PSS proposto objetiva o desvio da parcela referente aos resíduos sólidos orgânicos da disposição final.

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

continua...

Diretriz		Estratégia	Contribuição do PSS
4.3. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	4.3.4. AUMENTO DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	Diretriz 4A Estimular o mercado da reciclagem, de produtos recicláveis e/ou compostáveis e priorizar o uso dessas matérias-primas.	Estratégia 35: Incentivar estados e municípios a realizar ações de valorização de resíduos orgânicos.
		Diretriz 4B Expandir e consolidar a coleta seletiva de resíduos secos e orgânicos.	Estratégia 36: Instituir comunicação social continuada, como ferramenta para estimular a segregação adequada de resíduos na fonte geradora.
			Estratégia 37: Estimular o estabelecimento de
			Propõe a valorização dos resíduos orgânicos, aproveitando-os para produzir biogás utilizável na cozinha e biofertilizante.
			Propõe treinamento a usuários sobre a segregação de rejeitos dos resíduos orgânicos processáveis pelos

			programas e ações por estados e municípios para descarte de resíduos com segregação prévia.	
			Estratégia 38: Apoiar a estruturação gradativa de coleta seletiva em sistemas containerizados com três frações, considerando resíduos orgânicos, resíduos secos e rejeitos.	biodigestores na fonte geradora.

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

continua...

Diretriz			Estratégia	Contribuição do PSS
4.3. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	4.3.4. AUMENTO DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	Diretriz 4E Valorizar e aumentar a recuperação dos resíduos orgânicos.	Estratégia 50: Estruturar ações para recuperação da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos como fração a ser desviada da disposição final.	Propõe o desvio da fração orgânica, para alimentar os biodigestores.
			Estratégia 51: Estimular programas municipais focados na segregação na fonte da fração orgânica dos RSU, principalmente junto a grandes geradores.	Propõe treinamento a usuários sobre a segregação de rejeitos dos resíduos orgânicos processáveis pelos biodigestores na fonte geradora.
			Estratégia 52: Capacitar e apoiar municípios a	Os resultados apresentados subsidiam a

			implementar projetos de compostagem e digestão anaeróbia de resíduos orgânicos oriundos de grandes geradores como supermercados, sacolões, feiras livres, restaurantes, hotéis e similares.	avaliação da economicidade do emprego da tecnologia de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos.
--	--	--	---	--

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

continua...

Diretriz		Estratégia	Contribuição do PSS
4.3. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	4.3.4. AUMENTO DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	Diretriz 4E Valorizar e aumentar a recuperação dos resíduos orgânicos.	Estratégia 55: Fomentar o uso de fertilizante orgânico, composto ou organomineral, produzido a partir de resíduos sólidos urbanos.
			Estratégia 56: Orientar a adoção de leis municipais com a obrigatoriedade gradativa para grandes geradores destinarem resíduos orgânicos para unidades de compostagem ou digestão anaeróbia, quando técnica e economicamente viável.
			Propõe a produção e comercialização de fertilizante orgânico, sub-produto dos biodigestores. Os resultados apresentados subsidiam a avaliação da economicidade do emprego da tecnologia de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos.

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Quadro 11 - Contribuições do PSS com as estratégias do PLANARES

...final.

Diretriz		Estratégia	Contribuição do PSS
4.3. DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	4.3.5. AUMENTO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Diretriz 5A Estruturar o mercado de aproveitamento energético de RSU.	Estratégia 58: Mapear limitações e entraves de ordem técnica, econômica, tributária, jurídica e legal para expansão do uso de biogás e biometano a partir de RSU em território nacional e articular soluções junto aos estados, consórcios, municípios e setor privado. Contribui para enriquecer a discussão sobre o cenário regulatório e normativo, identificando entraves existentes para a adoção do modelo de negócios proposto em todo o território nacional e propondo melhorias.

Fonte: Construído a partir de BRASIL, 2020b.

Pela leitura do quadro 11, pode-se observar que as contribuições da pesquisa identificadas como constituindo-se suportes potenciais para o cumprimento das diretrizes e estratégias do PLANARES são consequentes do alinhamento identificado entre o escopo e as entregas desta tese com a intenção e os objetivos da legislação e da normatização. Pela análise realizada nesta seção, e pelos comparativos dos quadros 10 e 11, verifica-se que o PSS está alinhado com as

diretrizes e metas do PLANARES e sua eventual implantação permitiria aos municípios melhorarem vários dos indicadores propostos.

Visando atingir as metas estabelecidas no PLANARES, foram formulados três programas norteados pelos princípios, objetivos e instrumentos da PNRS: (i) o Programa Nacional Lixão Zero; (ii) o Programa Nacional de Combate ao Lixo no Mar e (iii) o Programa Nacional de Logística Reversa (BRASIL, 2020b).

O Programa Nacional Lixão Zero é aquele cujo escopo se intersecciona com o desta pesquisa. Foi lançado em 2019, compreendendo 3 eixos: (1) Aprimoramento da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos; (2) Fortalecimento da Gestão Municipal e (3) Informatização e Base de Dados. Na publicação do PLANARES em sua versão de 2020, foi acrescentado um: (4) Fortalecimento do Planares como Documento Norteador de Políticas no setor (BRASIL, 2020b). Os resultados desta tese alinham-se com o eixo 1 do programa, cooperando para atingir o objetivo estratégico, nele estabelecido, de “ampliar a destinação final ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos” (BRASIL, 2020b). A eventual implantação efetiva do PSS proposto nesta tese enquadra-se na classe 4 de projetos e ações previstas no âmbito do programa: “Implementar projetos de compostagem e digestão anaeróbia de resíduos orgânicos” (BRASIL, 2020b). Também pode-se enquadrar na classe 2: “Implementar projetos de coleta seletiva das frações seca e úmida, de forma a aumentar o índice de reciclagem” (BRASIL, 2020b). Isso porque prevê a realização de treinamento educativo dos usuários para separarem os resíduos orgânicos dos rejeitos que não podem ser processados pelos biodigestores.

A discussão apresentada neste capítulo, sobre as barreiras legais para a implementação total do modelo proposto e a indicação de possíveis meios de contorná-las, pode contribuir para ampliar a discussão no âmbito de ações enquadradas na classe 6: “Adequar o ambiente regulatório para geração de energia a partir de resíduos sólidos” (BRASIL, 2020b). E os resultados apresentados nesta pesquisa podem, de forma geral, contribuir para robustecer ações enquadradas nas classes 10, e 11 do programa, quais sejam: (10) “Promover capacitação de técnicos de estados, municípios e consórcios sobre estratégias para implementação de coleta seletiva eficiente, com mecanismos legais, econômicos, técnicos e de comunicação”; (11) “Promover programa de capacitação para municípios sobre gestão estratégica de resíduos e elaboração de planos de gestão integrada” (BRASIL, 2020b). Os

resultados e a discussão apresentadas neste capítulo seriam úteis para enriquecer o conteúdo de cursos de capacitação vinculados a estas classes.

O PLANARES considera partes envolvidas nestas ações o Ministério do Meio Ambiente, como coordenador da PNRS, articulado com outras instituições, em especial os municípios, incluindo associações como Associação Nacional de Órgãos Municipais de Meio Ambiente (ANAMMA), Confederação Nacional dos Municípios (CNM) e Frente Nacional de Prefeitos (FNP); consórcios como a Rede Nacional de Consórcios Públicos, e de estados, como a Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (ABEMA), outros órgãos federais como o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), Ministério de Minas e Energia (MME), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), Programa de Parcerias de Investimento (PPI), associações do setor privado, como ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE), Associação Brasileira do Biogás (ABIOGÁS), Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Associação Brasileira das Empresas de Consultoria e Engenharia Ambiental (AESAS) e entidades ambientalistas que atuam no tema (como LIMPA BRASIL, entre outras) (BRASIL, 2020b). Seria, portanto, desejável que os resultados desta pesquisa chegassem ao conhecimento dos responsáveis e das equipes técnicas destes órgãos e entidades.

O PLANARES estabelece, em sua diretriz geral apresentada no item 7.2.1. a, o “assegurar a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos”, por meio da “estruturação de *sistema de destinação final* de resíduos sólidos”, o qual inclui “unidades de valorização de orgânicos, unidades de triagem de recicláveis, usinas de recuperação energética e aterros sanitários” (BRASIL, 2020b, grifo nosso). O PSS proposto se insere nesta diretriz provendo um modelo de gestão dos resíduos domiciliares orgânicos do município, o qual deve ser integrado a outros relacionados às demais classes de resíduos para compor o PMGRS, atendendo as demandas da PNRS.

Pelo comparativo das entregas desta pesquisa e as demandas da PNRS por meio de seus instrumentos - o PLANARES e o Programa Lixão Zero - verifica-se que a eventual opção pela adoção do modelo proposto nesta pesquisa, na forma aqui apresentada ou adaptado a situação e ao contexto do município, não apenas pode conferir sustentabilidade financeira ao modelo de gestão de resíduos sólidos

orgânicos incluso no PMGRS, como também viabilizar o cumprimento das demais exigências da PNRS.

Em sua outra diretriz geral, no ítem 7.2.1.b., o PLANARES propõe a disponibilização de unidades descentralizadas para o recebimento e a valorização da matéria orgânica, iniciando com grandes geradores (feiras, restaurantes, escolas, etc.). Essa abre um leque de possibilidades de adoção de variantes do PSS proposto. Pode-se, por exemplo, mapear-se os locais com potencial de converterem-se em unidades descentralizadas de recebimento, e avaliar a viabilidade do PSS considerando a instalação de vários biodigestores de maior porte, alimentados pelo resíduo orgânico segregado na fonte pelos cidadãos do bairro e coletado pelo provedor do PSS. A avaliação pode ser realizada para diferentes municípios brasileiros, especialmente os localizados nas Regiões Norte e Nordeste, que concentram, atualmente, a maior parte dos lixões. Sugere-se que isso seja realizado em trabalhos futuros.

Outras variantes do PSS proposto também podem ser avaliadas no âmbito da execução do PMGRS pelos municípios como, por exemplo, o emprego de biodigestores mais baratos, desenvolvidos em plataformas abertas, o município se tornar o provedor do PSS, eliminando o ente privado como ator provedor do serviço; a entrega do biogás sem custo aos usuários de baixa renda ou mesmo a todos os cidadãos de municípios com baixo Índice de Desenvolvimento Humano, num cenário de subsídio concedido pelo governo federal ou outra entidade; ou ainda a entrega do biofertilizante produzido, sem custo, para participantes de programas de agricultura familiar. Essas variantes seriam amparadas em incentivos ou subsídios econômicos concedidos pelo governo federal ou outras entidades, para garantir a sustentabilidade econômica do modelo, como previsto na PNRS. Estas avaliações também podem ser realizadas no contexto de projetos acadêmicos de pesquisa coordenados com os corpos administrativos de municípios e ou entidades governamentais interessados, o que também se sugere para trabalhos futuros.

5. CONCLUSÃO

Verificou-se que o PSS projetado para solucionar o problema de destinação do lixo doméstico orgânico domiciliar pelo uso de biodigestores, aplicável em municípios brasileiros de pequeno porte, cumprindo as exigências da PNRS, é viável para o caso de Porto Amazonas e para o provedor PSS, num cenário que considera uma redução de até 20% nos gastos mensais do município com a gestão dos resíduos sólidos orgânicos e TMA de 9.6% ao ano para o investimento do provedor. O PSS ainda apresenta o benefício da redução de 40% nos custos com gás de cozinha para os consumidores finais que hospedem o biodigestor em suas propriedades. Ele demonstrou-se uma solução alternativa para o problema, o que o qualifica como uma contribuição para a base de conhecimento científico, como a solução prescritiva que potencialmente resolve o problema de destinação do lixo doméstico orgânico domiciliar, aplicável em municípios brasileiros de pequeno porte, cumprindo as exigências da PNRS, e que mostra-se economicamente sustentável para o município de Porto Amazonas.

Pelos resultados obtidos na avaliação do PSS proposto, constatou-se que as guias gerais para a condução da DSR propostas por Hevner et al. (2004) e o método proposto por Peffers et al. (2007) para a condução da DSR mostraram-se adequados para o processo de conduzir o pesquisador nas etapas da pesquisa até obter-se uma solução considerada satisfatória para o problema abordado.

O método construído nesta tese para o desenvolvimento de PSS se mostrou adequado para conduzir a equipe nas diferentes etapas de desenvolvimento no caso proposto, auxiliando a equipe a ver a necessidade de trabalhar com o organismo regulatório para poder abrir o mercado antes de implementar sua oferta em outros Estados além do Paraná. Ele também conduziu a uma solução satisfatória para o problema de pesquisa, mostrando-se válido na visão de Pries-Heje e Baskerville (2008) e Dresch et al. (2015). Assim, pode ser qualificado como uma teoria nascente, ou conhecimento credenciável, para o desenvolvimento de PSS, considerando a visão de Gregor e Hevner (2013) e Meehl (1986), passível de generalização pelo seu uso em outros trabalhos, com vistas a sua consolidação

como teoria formal. Portanto, sugere-se o seu uso para o desenvolvimento de PSS em trabalhos futuros.

A especificação do PSS desenvolvido na linguagem SysML enriqueceu o bojo das informações gráficas sobre ele, possibilitando também a apreensão do seu modelamento matemático, o que subsidia a avaliação do modelo em outros cenários, em especial de outros municípios, apenas pela alteração dos parâmetros de equacionamento identificados. Verificou-se também que, devido a semelhança de sintaxe entre o diagrama de atividades da SysML e os diagramas de coreografia e orquestração da linguagem BPMN, utilizados no desenvolvimento do PSS, seria útil utilizar-se os diagramas de atividades, em substituição aos últimos, na etapa de desenvolvimento. Neste caso, recomenda-se seguir a orientação da literatura, de que os diagramas de atividades sejam associados aos demais diagramas de comportamento da SysML (SYSML, 2020). Sugere-se isso para trabalhos futuros.

A solução proposta é potencialmente viável para ser implementada em municípios brasileiros com menor densidade populacional, maior área territorial e PIB per capita igual ou maior que o de Porto Amazonas, uma vez que apresentam um cenário mais favorável para sua viabilidade, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, onde concentra-se o maior número de lixões e o perfil de temperatura anual é mais favorável à sua adoção. Contudo, devido as restrições particulares de cada município, a análise deveria ser feita caso a caso. Sugere-se que isto seja feito em trabalhos futuros.

O PSS proposto está alinhado com as metas, diretrizes e objetivos da PNRS, relacionadas com a gestão de resíduos sólidos domiciliares orgânicos delineada no PLANARES, e sua adoção, pelos municípios, pode contribuir com a melhoria dos indicadores secundários 3.1 e 7.1 e dos indicadores globais 4 e 8, vinculados às metas 3, 4, 7 e 8 do PLANARES. Também se enquadra nas classes 2 e 4 do Programa Lixão Zero, formulado para dar cumprimento material aos requisitos legais estabelecidos na PNRS. Suas entregas também estão alinhadas com várias classes de ações do Programa Lixão Zero, podendo especialmente contribuir para robustecer ações enquadradas nas classes 10, 11 e 13 e ampliar a discussão no âmbito de ações enquadradas na classe 6: “Adequar o ambiente regulatório para a geração de energia a partir de resíduos sólidos”. Por estas razões, não somente o PSS proposto pode ser considerado como uma opção de modelo de gerenciamento,

como as entregas e as discussões desta pesquisa podem constituir-se como fonte de referência e ou ponto de apoio para a tomada da decisão durante o processo de formulação dos PMGRS pelos corpos administrativos dos municípios, com vistas a atender a PNRS. Especialmente as discussões sobre o comparativo da solução proposta com o cenário regulatório e normativo atual podem contribuir para ampliar a discussão prevista no PLANARES, com vistas a adequar o arcabouço legislativo e normativo brasileiro de modo a viabilizar a adoção de modelos e tecnologias inovadores na gestão de resíduos, incentivando a participação do setor privado.

O PSS também mostra-se aderente ao objetivo, estabelecido no PLANARES, de ampliar o emprego da tecnologia de digestão anaeróbia por biodigestores para o tratamento de lixo orgânico. Assim, incentiva-se o estudo de sua viabilidade nos municípios brasileiros que ainda não cumprem os dispositivos da PNRS, bem como a avaliação de variantes do modelo aqui apresentado, considerando o município como provedor, num modelo sem concessão ao setor privado. Também se sugere o estudo de modelos amparados por subsídios do governo federal que possibilitem a entrega gratuita de biogás ou biofertilizante a usuários e ou agricultores de baixa renda, mantendo ainda a sustentabilidade econômica. Estas avaliações podem ser realizadas no contexto de projetos acadêmicos de pesquisa coordenados com os corpos administrativos de municípios e ou entidades governamentais interessados. Sugere-se isso para trabalhos futuros.

Devido as limitações de interação presencial impostas pela pandemia de Covid 19 que se instaurou no mundo, não foi possível realizar a avaliação do PSS proposto junto aos atores previstos no sistema, como os colaboradores do município, nem a avaliação qualitativa do desejo dos proprietários das casas de hospedar os biodigestores em suas casas em troca do benefício de obterem 40% de redução nos custos com gás GLP. Sugere-se isso para trabalhos futuros. Na mesma esteira, embora o governo brasileiro esteja apoiando o desenvolvimento da tecnologia do biogás e os agricultores estejam gradualmente adotando a tecnologia e aceitando o uso dos biofertilizantes a partir do biogás em suas áreas de cultivo, seria pertinente realizar uma investigação do grau interesse atual dos agricultores de pagarem e utilizarem os biofertilizantes, o que também se sugere para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2016**. 2016. Disponível em: <www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. Acesso em: 21 set. 2018.
- BARROS, Talita. **Biogás**. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 05 fev. 2020.
- ALCAYAGA, A.; WIENER, M.; HANSEN, E. G. Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 221, p. 622–634, jun. 2019.
- ALTURKI, A.; GABLE, G. G.; BANDARA, W. A design science research roadmap. In: DESRIST'11: PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE-ORIENTED PERSPECTIVES IN DESIGN SCIENCE RESEARCH, 6, 2011, Milwaukee, Estados Unidos. 6, 2011. **Anais...** Heidelberg, Alemanha: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, p. 117-123.
- ANDRÉ, L.; PAUSS, A.; RIBEIRO, T. Solid anaerobic digestion: State-of-art, scientific and technological hurdles. **Bioresource Technology**, Amsterdam, Holanda, v. 247, p. 1027–1037, jan. 2018.
- ANDRIANKAJA, H.; BOUCHER, X.; MEDINI, K. A method to design integrated product-service systems based on the extended functional analysis approach. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, Amsterdam, Holanda, v. 21, p. 120-139, maio 2018.
- ANNARELLI, A.; BATTISTELLA, C.; NONINO, F. A. Product Service System: A conceptual framework from a systematic review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 139, p. 1011–1032, dez. 2016.
- AVISON, David; PRIES-HEJE, Jan. **Research in Information Systems: A Handbook for Research Supervisors and Their Students**. Oxford, Reino Unido: Butterworth-Heinemann, 2005. 344p.
- BAINES, T. S. et al. State-of-the-art in product-service systems. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, Thousand Oaks, Estados Unidos, v. 221, n. 10, p. 1543–1552, out. 2007.
- BANKOLE, O. O. et al. Product-service system affordability in defence and aerospace industries: state-of-the-art and current industrial practice. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, Londres, Inglaterra, v. 25, n. 4–5, p. 398–416, jul. 2011.

BASKERVILLE, R.; PRIES-HEJE, J.; VENABLE, J. Soft design science methodology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN SCIENCE RESEARCH IN INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY, 4., 2009, Malvern, Estados Unidos. **Anais...** Nova York, Estados Unidos: Association for Computing Machinery, 2009, p. 1-11.

BERKOVICH, M.; KCRMAR, H.; LEIMEISTER, J. M. Requirements Engineering for Product Service. *Business & Information Systems Engineering*. **Business & Information Systems Engineering**, Cham, Suíça, v. 6, p. 369–380, nov. 2011.

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

BEYENE, H. D.; WERKNEH, A. A.; AMBAYE, T. G. Current updates on waste to energy (WtE) technologies : a review. **Renewable Energy Focus**, Amsterdam, Holanda, v. 24, p. 1–11, mar. 2018.

BLAST. Elaine. **Brasil tem quase 3 mil lixões em 1.600 cidades, diz relatório**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2018/09/14/brasil-tem-quase-3-mil-lixoes-em-1600-cidades-diz-relatorio.ghtml>>. Acesso em: 23 set. 2018.

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**, Amsterdam, Holanda, v. 51, p. 245–260, jul. 2013.

BORG, D.; MONT, O; SCHOONOVER, H. Consumer Acceptance and Value in Use-Oriented Product-Service Systems: Lessons from Swedish Consumer Goods Companies. **Sustainability**, Basileia, Suíça, v. 12, n. 19, 8079. set. 2020.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 02 set. 1981, Seção 1, p. 16509.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 fev. 1998, Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 24 abr. 1999, Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993,

e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Edição Extra, Brasília, D. F., 22 jun. 2010, Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010(a). Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 3 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

BRASIL, Decreto 7.404 de 23 de dezembro de 2010(b). Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Edição Extra, Brasília, D. F., 23 dez. 2010, Seção 1, p. 1.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2012.

BRASIL. Senado Federal. **De onde tirar recursos para pagar a limpeza pública**. 2014(a). Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/realidade-brasileira-na-pratica-a-historia-e-outra/de-onde-tirar-recursos-para-pagar-a-limpeza-publica>>. Acesso em: 23 set. 2018.

BRASIL. Senado Federal. Projeto de Lei do Senado nº 425, de 2014(b). Prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/119536>>. Acesso em: 01.07.2020.

BRASIL. Resolução ANP nº 8, de 30 de janeiro de 2015. Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F. 02 fev. 2015. Ed. 22, Seção 1, p. 100.

BRASIL. Embrapa. **Produtores rurais podem economizar energia produzindo biogás**. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18736311/produtores-rurais-podem-economizar-em-energia-produzindo-biogas>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

BRASIL. Resolução ANP nº 685, de 29 de junho de 2017(a). Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o

território nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F. 30 jun. 2017. Seção 1, p. 69.

BRASIL. Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017(b). Dispõe sobre a participação da União em fundo de apoio à estruturação e ao desenvolvimento de projetos de concessões e parcerias público-privadas; altera a Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, que institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada na administração pública, a Lei nº 11.578, de 26 de novembro de 2007, que dispõe sobre a transferência obrigatória de recursos financeiros para a execução pelos Estados, Distrito Federal e Municípios de ações do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), e a Lei nº 12.712, de 30 de agosto de 2012, que autoriza o Poder Executivo a criar a Agência Brasileira Gestora de Fundos Garantidores e Garantias S.A. (ABGF). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D. F., 05 dez. 2017, Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano**. 2018(a). Disponível em: [Mhttps://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-309/NT%20Biometano%20de%20Aterro%20vf%200192018.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-309/NT%20Biometano%20de%20Aterro%20vf%200192018.pdf)>. Acesso em: 02.07.2020.

BRASIL. Resolução ANP nº 734, de 28 de junho de 2018(b). Regulamenta a autorização para o exercício da atividade de produção de biocombustíveis e a autorização de operação da instalação produtora de biocombustíveis. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F. 29 jun. 2018. Seção 1, p. 92. Retificada no **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F. 11 jul. 2018. Seção 1, p.104.

BRASIL. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 16 jul. 2020a. Seção 1, p. 1.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2020b.

BUCHANAN, R. Wicked Problems in Design Thinking. **Design Issues**, Cambridge, Estados Unidos, v. 8, n. 2, p. 5–21, primavera de 1992.

BUDGEN, D.; BRERETON, P. Performing systematic literature reviews in software engineering. In: 28TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING, 28., 2006, Shanghai. **Anais...** Nova York, Estados Unidos: Association for Computing Machinery, 2006, p. 1051-1052.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Fundos de investimentos 2019**. 2019. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/fundos-investimento/%0Dreferenciados/fic-sigma-ref-di-longo-prazo/Paginas/default.aspx%3E>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

CAMUNDA. **CAMUNDA**. 2019. Disponível em: <<https://camunda.com/>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

CAPES. **Portal de periódicos CAPES/MEC**. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

CARVALHO, Jairo Pablo Alves; FRANCO, Caroline Ribeiro; RIBEIRO, Nilcéia Perez; CATAPAN, Anderson; BORSATO, Milton. Como os municípios de menor orçamento podem eliminar os lixões, transformando resíduos sólidos orgânicos em energia. In: SCHIER, Adriana da Costa; GUIMARÃES, Edgar; VALLE Vivian Cristina López. **Passando a Limpo a Gestão Pública: arte, coragem, loucura**. 1. ed. Curitiba: IPDA - Instituto Paranaense de Direito Administrativo, 2020. p. 303 - 323.

CARVALHO, J.; BASTCHEN, G.; BORSATO, M. METHODS FOR SUPPORTING THE PROSPECTION OF OPPORTUNITIES AND THE FEASIBILITY ANALYSIS OF THE REUSE OF WASTE — OPPORTUNITIES AND TRENDS A LITERATURE REVIEW. In: 48th International Conference on Computers & Industrial Engineering, 48, 2018, Auckland, Nova Zelândia. **Anais...**Auckland, Nova Zelândia: Curran Associates, Inc., 2019, p. 406-418.

CARVALHO, J. P. A.; BORSATO, M. SOLUÇÃO PSS PARA TRATAMENTO DO LIXO ORGÂNICO DOMÉSTICO COMO ALTERNATIVA PARA MUNICÍPIOS PEQUENOS CUMPRIREM AS METAS DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS). In: 12º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto, 12, 2019, Brasília, Brasil. **Anais...**Brasília, Brasil: Blucher Proceedings, 2019, p. 324-336.

CARVALHO, J. P. A.; BORSATO, M. Proposta alternativa para a adequação dos pequenos municípios à PNRS, baseada em sistema de produto-serviço. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, Brasil, v. 9, n. 1, p. 89–106, jan/abr. 2020.

CARVALHO, J. P. A.; RIBEIRO, N. P.; FRANCO, C. R.; CATAPAN, A.; BORSATO, M. A product-service-system proposal for municipalities in developing countries with tight budget to convert the organic waste in energy to eliminate dumps. **Waste Management**, Amsterdam, Holanda, v. 106, p. 99–109, abr. 2020.

CAVALIERI, S.; PEZZOTTA, G. Product–Service Systems Engineering: State of the art and research challenges. **Computers in industry**, Amsterdam, Holanda, v. 63, n. 4, p. 278–288, maio 2012.

CASE STUDY BUDDY. **Case Study Buddy**. 2021. Disponível em: <<https://casestudybuddy.com/>>. Acesso em: 13. abr. 2021.

CHATTERJEE, B.; MAZUMDER, D. Anaerobic digestion for the stabilization of the organic fraction of municipal solid waste: A review. **Environmental Reviews**, Ottawa, Canadá, v. 459, n. 4, p. 426–459, maio 2016.

CHEN, P. P. S. The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View. **ACM Transactions on Database Systems**, Cambridge, Estados Unidos, v. 1, n. 1, p. 9–36, mar. 1976.

CIBIOGAS. **Granja Haacke**. 2012. Disponível em: <<https://cibiogas.org/portfolio-items/granja-haacke/>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

CLEMENS, H.; BAILIS, R.; NYAMBANE, A.; NDUNG, V. Energy for Sustainable Development Africa Biogas Partnership Program: A review of clean cooking implementation through market development in East Africa. **Energy for Sustainable Development**, Amsterdam, Holanda, v. 46, p. 23–31, out. 2018.

CLIMATEMPO. **Porto Amazonas - PR**. 2020a. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/4298/portoamazonas-pr>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

CLIMATEMPO. **Xanxerê - SC**. 2020b. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/1447/xanxere-sc>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

CMN. **CNM participa de reunião latino-americana em Porto Alegre**. 2015a. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/index.php/comunicacao/noticias/cnm-participa-de-reuniao-latino-americana-em-porto-alegre>>. Acesso em: 9 dez. 2019a.

CMN. **Planos Diretores para Municípios de pequeno porte: limites e perspectivas para a aplicação dos instrumentos do Estatuto da Cidade**. 2015b. Disponível em: <[https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca_antiga/Planos%20Diretores%20para%20Munic%C3%Adpios%20de%20pequeno%20porte%20\(2015\).pdf](https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca_antiga/Planos%20Diretores%20para%20Munic%C3%Adpios%20de%20pequeno%20porte%20(2015).pdf)>. Acesso em: 02.07.2020.

COLE, R.; PURAO, S.; ROSSI, M.; SEIN, M. Being Proactive: Where Action Research Meets Design Research. In: Twenty-Sixth International Conference on

Information Systems, 27, 2005, Las Vegas, Estados Unidos. **Anais...** Atlanta, Estados Unidos: AIS eLibrary, 2005.

COLLATO, D. C.; DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; BENTZ, I. G. Is Action Design Research Indeed Necessary? Analysis and Synergies Between Action Research and Design Science Research. **Systemic Practice and Action Research**, Cham, Suíça, v. 31, p. 239–267, ago. 2017.

COMASTRI FILHO, José A. **Biogás, independência Energética do Pantanal Mato-grossense**. Corumbá, Brasil: EMBRAPA-UEPAE Corumba. 1981. 53p.

COPEL. **EDITAL PREGÃO ELETRÔNICO COPEL Nº SGD180591/2018**, 2018. Disponível em: <https://www.copel.com/licitacoes/pages/detalhesLicitacaoConcluidas.jsf>. Acesso em: 03.07.2020.

COSTA, N. et al. Bringing Service Design to manufacturing companies: Integrating PSS and Service Design approaches. **Design Studies**, Amsterdam, Holanda, v. 55, p. 112-145, mar. 2018.

DELLIGATTI, Lenny. **SysML Distilled A Brief Guide to the System Modelling Language**. Indiana: Pearson Education, Inc. 2014. 266 p.

DENNING, P. J. A New Social Contract for Research. **Communications of the ACM**, Nova York, Estados Unidos, v. 40, n. 2, p. 132–134, fev. 1997.

DENNING, Peter, J.; METCALFE, Robert, M. **Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing**. Göttingen, Alemanha: Copernicus Books, 1997. 336p.

DEWEY, J. **The Quest for Certainty: A Study of the Relation of Knowledge and Action**. Nova York, Estados Unidos: Capricorn Books, 1929. 318p.

DISSIDIO. **Salário de Atendente de Telemarketing 2019 - Reajuste salarial atual**. 2020. Disponível em: <https://dissidio.com.br/salario/cbo-422315/atendente-de-telemarketing/>. Acesso em: 15 ago. 2019.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; ANTUNES JR., José A. V. Design Science Research. In:_____. **Design Science Research**. Cham, Suíça: Springer International Publishing Switzerland, 2015. p. 67–102.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; MIGUEL, P. A. C. Uma análise distintiva entre o estudo de caso, a pesquisa-ação e a design science research. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo, Brasil, v. 17, n. 56, p. 1116–1133, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; MIGUEL, P. A. Design Science in operations management: conceptual foundations and literatura analysis. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 16, n. 2, p. 333–346, jun. 2019.

DUMAS, Marlon; LA ROSA, Marcelo; MENDLING, Jan; REIJERS, Hajo, A. **Fundamentals of Business Process Management**. Heidelberg, Alemanha: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 399p.

DURUGBO, C. Integrated Product-Service Analysis Using SysML Requirement Diagrams. **Systems Engineering**. Bristol, Reino Unido. DOI: 10.1002/sys.21229, 2012.

DURUGBO, C.; TIWARI, A.; ALCOCK, J. R. A review of information flow diagrammatic models for product-service-systems. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. Londres, Inglaterra. v. 52, p. 1193-1208. 2011.

EEKELS, J.; ROOZENBURG, N. F. M. A methodological comparison of the structures of scientific research and engineering design: their similarities and differences. **Design Studies**, Amsterdam, Holanda, v. 12, n. 4, p. 197–213, out. 1991.

ENERGYEDIA. **Floating Drum Biogas Plants**. 2015. Disponível em: <https://energypedia.info/wiki/Floating_Drum_Biogas_Plants>. Acesso em: 18 out. 2018.

ENERGYEDIA. **Fixed Dome Biogas Plants**. 2016a. Disponível em: <https://energypedia.info/wiki/Fixed-dome_Biogas_Plants>. Acesso em 01 jul. 2020.

ENERGYEDIA. **Low-Cost Polyethylene Tube Digester**. 2016b. Disponível em: <https://energypedia.info/wiki/Low-Cost_Polyethylene_Tube_Digester>. Acesso em: 18 out. 2018.

EQUIPE ECYCLE. **Biodigestor residencial da Recolast: transforme resíduos orgânicos domésticos em gás de cozinha e fertilizante**. 2010. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/67-dia-a-dia/4436-biodigestor-residencial-da-recolast-residuos-organicos-casa-produzir-gas-cozinha-fogao-fertilizante-nutrientes-horta-irrigacao-compacto-eficiente-baixo-custo.html>>. Acesso em: 18 out. 2018.

ERIKSSON, O.; BISAILLON, M.; HARALDSSON, M., SUNDBERG, J. Integrated waste management as a mean to promote renewable energy. **Renewable Energy**, Amsterdam, Holanda, v. 61, p. 38–42, jan. 2014.

FISCHER, C. The information systems design science research body of knowledge – a citation analysis in recent top-journal publications. PACIS 2011, 15, 2011, Brisbane, Australia. **Anais...Atlanta**, Estados Unidos: AIS eLibrary, 2011.

FLIEB, S.; KLEINALTENKAMP, M. Blueprinting the service company - Managing service processes efficiently. **Journal of Business Research**, Amsterdam, Holanda, v. 57, n. 4, p. 392–404, abr. 2004.

GEOCONSULTORES. **ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL VISANDO O LICENCIAMENTO AMBIENTAL PRÉVIO PARA A IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE TRANSMISSÃO 525 KV PONTA GROSSA - BATEIAS C1 E C2 - CS E AMPLIAÇÃO DA SE 525/230 kV BATEIAS VOLUME II**. 2018. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/Editais_Estudo_2019/Estudos_2019/VOLI_EIA_LT525_PONTAGROSSA_BATEIAS.pdf>. Acesso em: 02.07.2020.

GEUM, Y.; PARK, Y. Designing the sustainable product-service integration: a product-service blueprint approach. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 19, n. 14, p. 1601–1614, set. 2011.

GIARINI, Orio; STAHEL, Walter, R.. **The limits to certainty: Facing risks in the new service economy**. Dordrecht, Holanda: Kluwer academic publishers, 1989. 168p.

GOEDKOOOP, M. J. et al. **Product service systems, ecological and economic basics**. 1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/293825611_Product_Service_systems_Ecological_and_Economic_Basics>. Acesso em: 02.07.2020.

GOLDACRE, Ben. **Bad Pharma: How drug companies mislead doctors and harm patients**. Nova York, Estados Unidos: Farrar, Straus and Giroux, 2012. 448p.

GOMES, Felipe C. S. P; SARAIVA, Amanda C.; BORGES, C. A.; SANTOS, Ludmila, L.; COLTURATO, Luis, F.; JENDE, Oliver; ROSENFELDT, Sebastian; SERAVAL, Tathiana, A.; COLTURATO, Thiago, D. B.; SIQUEIRA, V. S.; SILVA, W. P. **Conceitos para o Licenciamento Ambiental de Usinas de Biogás**. Brasília, Brasil: PROBIOGÁS, 2016. 149p.

GOMES, R. C.; ALFINITO, S.; MELO, A. H. Analyzing local government financial performance: evidence from Brazilian municipalities 2005-2008. **Revista de Administração Contemporânea**, Maringá, Brasil ,v. 17, n. 6, p. 704–719, nov./dez. 2013.

GOOGLE SCHOLAR. **Google Scholar**. 2020. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Wicked+problems+in+design+thinking&btnG=>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. **Learning from Research: Systematic Reviews for Informing Policy Decisions: A Quick Guide. A paper for the Alliance for Useful Evidence**. Londres, Inglaterra: Nesta, 2013. 40p.

GREGOR, S.; HEVNER, A. V. Positioning and presenting Design Science Research for maximum impact. **MIS Quarterly**, Minneapolis, Estados Unidos, v. 37, n. 2, p. 337–356, jun. 2013.

GREGOR, S.; JONES, D. The anatomy of a design theory. **Journal of the Association for Information Systems**, Atlanta, Estados Unidos, v. 8, n. 5, p. 312–335, 2007.

GREICE, R.; MAROTTA, S.; COSTA, A., M.; CAMPOS, J. C. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management and Research**, Thousand Oaks, Estados Unidos, v. 35, n. 12, p. 1195-1209, dez. 2017.

GURTU, A. The Strategy of Combining Products and Services: A Literature Review. **Services Marketing Quarterly**, Londres, Inglaterra, v. 40, n. 1, p. 82–106, abr. 2019.

HAASE, R. P.; PIGOSSO, D. C. A.; MCALOONE, T. C. Product/Service-System Origins and Trajectories: A Systematic Literature Review of PSS Definitions and their Characteristics. **Procedia CIRP**, Amsterdam, Holanda, v. 64, p. 157–162, dez. 2017.

HAZLETT, Thomas. **We Could Have Had Cellphones Four Decades Earlier**. 2017. Disponível em: <<https://reason.com/2017/06/11/we-could-have-had-cellphones-f/>>. Acesso em: 01 jul. 2020.

HEVNER, B. A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. DESIGN SCIENCE IN INFORMATION SYSTEMS RESEARCH, **MIS Quarterly**, Minneapolis, Estados Unidos, v. 28, n. 1, p. 75–105, mar. 2004.

HOLT, K. Brainstorming—From Classics to Electronics. **Journal of Engineering Design**, Londres, Inglaterra, v. 7, n. 1, p. 77–82, 1996.

HOME BIOGAS. **Homebiogas**. Disponível em: <<https://homebiogas.com/>>. Acesso em: 18 out. 2018.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2010-2013**. 2014. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2010_2013/default.shtm>. Acesso em: 30 jun. 2019.

IBGE. **PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. 2015**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/44/47044>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?edicao=9089&t=sobre>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

IBGE. **Porto Amazonas**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/porto-amazonas/panorama>>. Acesso em 13.01.2021.

IFC. **Curitiba Solid Waste Management Project Phase 1A: Assessment Report**. 2015. Disponível em: <<https://mid.curitiba.pr.gov.br/2016/00176737.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

IIIEE. **Oksana Mont**. 2018. Disponível em: <<https://www.iiiee.lu.se/oksana-mont>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

IPARDES. **CADERNO ESTATÍSTICO DO MUNICÍPIO DE PORTO AMAZONAS**. Curitiba, Brasil: IPARDES, 2019. 44p.

JAGTAP, S.; RAHIMIFARD, S.; KINGDOM, U. Utilisation of Internet of Things to Improve Resource Efficiency of Food Supply Chains. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT, 8. 2017, Chania, Grécia. **Anais...** Aachen, Alemanha: CEUR Workshop Proceedings, 2017, p. 8-19.

JANSEN, L.; BAKKER, C.; KIEVID, T.; VAN GROOTVELD, G.; VERGRAGT, P. **STD Vision 2040-1998. Technology, key to sustainable prosperity**. Haia, Holanda: Uitgeverij ten Hagen en Stam, 1997. 80p.

JAXYBAYEVA, A. et al. Bioenergy production from diluted poultry manure and microbial consortium inside Anaerobic Sludge Bed Reactor at sub-mesophilic conditions. **Journal of environmental science and health. Part B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes**, Londres, Inglaterra, v. 49, n. 10, p. 775–785, out. 2014.

JOHANSSON-SKÖDBERG, U.; WOODILA, J.; ÇETINKAYA, M. Design thinking: past, presente and possible futures. **Creativity and Innovation Management**, Nova York, Estados Unidos, v. 22, n. 2, p. 121–146, mar. 2013.

JORNAL CONTÁBIL. **Salário proporcional – cálculos nos meses de 28, 29 ou 31 dias**. 2018. Disponível em: <<https://www.jornalcontabil.com.br/salario-proporcional-calculos-nos-meses-de-28-29-ou-31-dias/>>. Acesso em 13.01.2021.

JORNAL CONTÁBIL. **Quanto custa um funcionário para uma empresa?** 2019. Disponível em: <<https://www.jornalcontabil.com.br/quanto-custa-um-funcionario-para-uma-empresa/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

KOTLER, Philip. **Administração de Marketing**, 10 ed., São Paulo, Brasil: Prentice Hall, 2000. 764p.

KUNZ, Aírton; AMARAL, André, C.; STEINMETZ, Ricardo, L. R. **Processos bioquímicos na digestão anaeróbia. Curso de Operacionalização de Biodigestores**. 2. ed. Foz do Iguaçu: CIBIOGAS, 2018, 15p.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. Design Science Research: Método de Pesquisa para a Engenharia de Produção. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, Brasil, v. 20, n. 4, p. 741–761, nov. 2013.

LANE, J. A; BOHN, T. Using SysML Modeling To Understand and Evolve Systems of Systems. **Systems Engineering**, Monterey, Estados Unidos, Vol. 16, n. 1, p.87-98, nov. 2013.

LWIZA, F.; MUGISHA, J.; WALEKHWA, P.; SMITH, J.; BALANA, B. Dis-adoption of Household Biogas technologies in Central Uganda. **Energy for Sustainable Development**, Amsterdam, Holanda, v. 37, p. 124–132, abr. 2017.

MALINAUSKAITE, J.; JOUHARA, H.; CZAJCZYNSKA, D.; STANCHEV, P.; KATSOU, V.; ROSTKOWSKI, P.; THORNE, R. J.; COLÓN, J.; PONSÁ, S.; AL-MANSOUR, F.; ANGUILANO, L.; KRZYZYNSKA, R.; LÓPEZ, I. C.. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe, **Energy**, Amsterdam, Holanda, v. 141, 2013-2044, dez. 2017.

MANSON, N. J. Is operations research really research? **ORION**, Johannesburg, África do Sul, v. 22, n. 2, p. 155–180, nov. 2006.

MANZINI, C.; VEZZOLI, L. **Sviluppo di prodotti sostenibili (Sustainable Products Development). I requisiti ambientali dei prodotti industriali**. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, 1998. 321p.

MANZINI, Enzo; COLLINA, Luisa.; EVANS, Stephen. **Solutions oriented partnership**. Milton Keynes, Reino Unido: Oscar Press, 2004. 179p.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research in Information Technology. **Decision Support Systems**, Amsterdam, Holanda, v. 15, n. 4, p. 251–266, dez. 1995.

MARCH, S. T.; STOREY, V. C. Design Science in Information Systems Discipline: An Introduction to the Special Issue on Design Science Research. **MIS Quarterly**, Minneapolis, Estados Unidos, v. 32, n. 4, p. 725–730, dez. 2008.

MARKUS, M. L.; MAJCHRZAK, A.; GASSER, L. A Design Theory for Systems that Support Emergent Knowledge Processes. **MIS Quarterly**, Minneapolis, Estados Unidos, v. 26, n. 3, p. 179–212, set. 2002.

MEEHL, Paul E. What Social Scientists Don't Understand. In: FISKE, Donald W.; SHWEDER, Richard A. (Eds.). **Metatheory in Social Science: Pluralisms and Subjectivities**. Chicago, Estados Unidos: Chicago Press, 1986. p. 315–338.

MEIER, H.; RAJKUMAR, R.; SELIGER, G. Industrial product-service systems — IPS 2. **CIRP Annals**, v. 59, n. 2, p. 607–627, dez. 2010.

MEIER, J. J.; CONKLING, T. W. Google Scholar's Coverage of the Engineering Literature: an empirical study. **The Journal of Academic Librarianship**, Amsterdam, Holanda, v. 34, n. 3, p. 196–201, maio 2008.

MEREDITH, J. Theory building through conceptual methods. **International Journal of Operations & Production Management**, Bingley, Inglaterra, v. 13, n. 5, p. 3–11, maio 1993.

METROPOLIS, N.; ULAM, S. The Monte Carlo Method. **Journal of the American Statistical Association**, Londres, Inglaterra, v. 44, n. 247, p. 335–341, set. 1949.

MICHELINI, G.; MORAES, R. N.; CUNHA, R. N.; COSTA, J. M. H.; OMETTO, A. R. From linear to circular economy: PSS conducting the transition. In: 9TH CIRP IPSS CONFERENCE: CIRCULAR PERSPECTIVES ON PRODUCT/SERVICE SYSTEMS, 64., 2017, Copenhagen. **Anais...** Amsterdan, Holanda: Procedia CIRP, 2017, p. 2-6.

MICHELINI, R. C.; RAZZOLI, R. P. Product-service for environmental safeguard: a metrics to sustainability. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, Holanda, v. 42, n. 1, p. 83–98, ago. 2004.

MICROSOFT. Microsoft. **Microsoft 365 Visio**. 2020. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/visio/microsoft-visio-plans-and-pricing-compare-visio-options?&ef_id=EAlalQobChMliJSdtpTZ7gIViYKRCh3-BaySEAYASAAEgJtG_D_BwE:G:s&OCID=AID2100137_SEM_EAlalQobChMliJSdtpTZ7gIViYKRCh3-BaySEAYASAAEgJtG_D_BwE:G:s&lnkd=Google_O365SMB_App&gclid=EAlalQobChMliJSdtpTZ7gIViYKRCh3-BaySEAYASAAEgJtG_D_BwE>. Acesso em: 07.02.2021.

MINAS GERAIS. Emater. **Implantação do biodigestor em pequenas propriedades para produção de energia renovável, biofertilizante e no tratamento de dejetos da bovinocultura de leite**. 2017. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=novosite_melhoracao_acoes_detalhes&id=349>. Acesso em: 5 fev. 2020.

MIR, M. A.; HUSSAIN, A.; VERMA, C. Design considerations and operational performance of anaerobic digester: A review. **Cogent Engineering**, Londres, Inglaterra, v. 3, n. 1, p. 1–20, jun. 2016.

MOKYR, Joel. **The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy**. Princeton, Estados Unidos: Princeton University Press, 2002. 384p.

MONT, O. **Product Service Systems, Final Report**. 2000. Disponível em: <<https://naturvardsverket.se/Documents/publikationer/afr-r-288-se.pdf>>. Acesso em: 02.07.2020.

MONT, O. Clarifying the concept of product–service system. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 10, n. 3, p. 237–245, jun. 2002.

MSIBI, S. S.; KORNELIUS, G. Potential for domestic biogas as household energy supply in South Africa. **Journal of Energy in Southern Africa**, Cape Town, África do Sul, v. 28, n. 2, p. 1–13, maio 2017.

NECKER, H. S.; ROSA, A. L. D. Estimativa teórica da geração de biogás do futuro aterro sanitário de Ji-Paraná - RO. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e**

Tecnologia Ambiental - REGET, Santa Maria, Brasil, v. 17, n. 17, p. 3416–3424, dez. 2013.

NEELY, A. Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. **Operations Management Research**, Cham, Suíça, v. 1, n. 2, p. 103–118, fev. 2008.

NUNAMAKER, J. F.; CHEN, M.; PURDIN, T. D. M. Systems development in information systems research. **Journal of Management Information Systems**, Londres, Inglaterra, v. 7, n. 3, p. 89-106, inverno 1991.

OLIVEIRA, S. V. W. B.; LEONETI, A. B.; CALDO, G. M. M.; OLIVEIRA, M. M. B. Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, Holanda, v. 35, n. 7, p. 2608–2618, jul. 2011.

OLIVEIRA, T.; OLIVEIRA, T. F. Exposição às substâncias cancerígenas no ambiente de trabalho: ameaça a saúde dos catadores de lixo do Brasil. **Revista Eletrônica Tempus Actas de Saúde Coletiva**, Brasília, Brasil, v. 7, n. 2, p. Pág. 139-143, set. 2013.

OLX. **OLX**. Disponível em: <<https://www.olx.com.br/autos-e-pecas/caminhoes/busca/fossa>>. 2019. Acesso em: 16 ago. 2019.

ORSKOV, E. R.; YONGABI, K.; SUBEDI, M.; SMITH, J. Overview of holistic application of biogas for small scale farmers in Sub-Saharan Africa. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, Holanda, v. 70, p. 4–16, nov. 2014.

ORTIZ, W.; TERRAPON-PFA, J.; DIENST, C. Understanding the diffusion of domestic biogas technologies. Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries. **Renweable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, Holanda, v. 74, p. 1287-1299, jul. 2017.

PARANÁ. Lei N° 19500 de 21 de maio de 2018. Dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e Biometano e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, Paraná, 22 maio 2018. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=360329>>. Acesso em: 01 jul. 2020.

PARK, Y.; GEUM, Y.; LEE, H. Toward integration of products and services: Taxonomy and typology. **Journal of Engineering and Technology Management**, Amsterdam, Holanda, v. 29, n. 4, p. 528–545, out. - dez. 2012.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, Londres, Inglaterra, v. 24, n. 3, p. 45–77, jan. 2007.

PEZZOTTA, G.; SASSANELLI, C.; PIROLA, F.; ROBERTO, S.; ROSSI, M.; FOTIS, S.; KOUTOUPES, A.; TERZI, S.; MOURTZIS, D. The Product Service System Lean

Design Methodology (PSSLDM). **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bingley, Inglaterra, v. 29, n. 8, p. 1270–1295, jun. 2018.

PEZZOTTA, G.; CAVALIERI, S.; GAIARDELLI, P. A spiral process model to engineer a product service system: An explorative analysis through case studies. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, Amsterdam, Holanda, v. 5, n. 3, p. 214–225, dez. 2012.

PORTO AMAZONAS. Lei Municipal nº 1050, de 17 de agosto de 2016. Autoriza o Poder Executivo a custear proporcionalmente os depósitos de resíduos sólidos domiciliares gerados e coletados no município de Porto Amazonas no aterro sanitário de Palmeira, Estado do Paraná. Disponível em: <http://www.portoamazonas.pr.gov.br/wp-content/uploads/Conteudo/LEIS/LEIS%202016/LEI%20MUNICIPAL%20N%C2%BA%201050-2016_Conv%C3%A0nio_Aterro%20Sanit%C3%A1rio.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2020.

PRAT, N.; COMYN-WATTIAU, I.; AKOKA, J. Artifact Evaluation in Information Systems Design-Science Research-a Holistic View. PACIS 2014, 2014, Chengdu, China. **Anais...** Atlanta, Estados Unidos: AIS eLibrary, 2014.

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

RAABE, B.; CHOONG LOW, J. S.; JURASCHEK, M.; HERRMAN, C.; TJANDRA, T. B.; TING NG, Y.; KURLE, D.; CERDAS, F.; LUECKENGA, J.; YEO, Z.; SHEE TAN, Y. Collaboration Platform for Enabling Industrial Symbiosis: Application of the By-product Exchange Network Model. **Procedia CIRP**, Amsterdam, Holanda, v. 61, p. 263–268, jan. 2017.

RAMOS, N. F.; GOMES, J. C.; CASTILHOS JR. A. B.; GOURDON, R. Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 22, n. 6, p. 1233–1241, dez. 2017.

REIM, W.; PARIDA, V.; ÖRTQVIST, D. Product-Service Systems (PSS) business models and tactics - A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 97, p. 61–75, jun. 2015.

SAHIMAA, O.; HUPPONEN, M.; HORTTANAINEN, M.; SORVARI, J. Method for residual household waste composition studies. **Waste Management**, Amsterdam, Holanda, v. 46, p. 3–14, dez. 2015.

SAKAO, T.; ÖLUNDH, S.; MATZEN, D. Framing research for service orientation of manufacturers through PSS approaches. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bingley, Inglaterra, v. 20, n. 5, p. 754–778, jun. 2009.

- SANTOS, Cíntia. **Contato**. Mensagem recebida por <americavend@gmail.com> em 16 ago. 2019.
- SAUNDERS, Mark, N. K.; LEWIS, Philip; THORNHILL, Adrian. **Research methods for business students**. 6th. ed. Londres, Inglaterra: Financial Times Press, 2012. 728 p.
- SHAHBAZI, S.; WIKTORSSON, M.; KURDVE, M.; JÖNSSON, C.; BJELKEMYR, M. Material efficiency in manufacturing: swedish evidence on potential, barriers and strategies. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 127, p. 438–450, jul. 2016.
- SHOSTACK, G. L. How to design a service. **European Journal of Marketing**, Bingley, Inglaterra, v. 16, n. 1, p. 49–63, jan. 1982.
- SIMON, H. **The Sciences of the Artificial**. 1. ed. Massachussets, Estados Unidos: MIT Press, 1969. 231 p.
- SIMON, H. **The Sciences of the Artificial**. 3. ed. Massachussets, Estados Unidos: MIT Press, 1996. 231p.
- SMITH, M. T.; SCHROENN, J.; BLIGNAUT, J. N. The financial and economic feasibility of rural household biogas digesters for poor communities in South Africa. **Waste Management**, Amsterdam, Holanda, v. 34, n. 2, p. 352–362, fev. 2014.
- SOURCEFORGE. **Yaoqiang BPMN Editor**. 2019. Disponível em: <<https://sourceforge.net/projects/bpmn/reviews>>. Acesso em: 3 jun. 2020.
- STRAUB, D.; BOUDREAU, M. C.; GEFEN, D. Validation guidelines for IS positivist research. **Communications of the Association for Information Systems**, Atlanta, Estados Unidos, v. 13, n. 1, p. 380–427, jan. 2004.
- SUINOCULTURA. **Cresce o uso do biogás em Santa Catarina**. 2016. Disponível em: <<https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/cresce-o-uso-do-biogas-em-santa-catarina/20030526-110403-0643>>. Acesso em: 5 fev. 2020.
- SUNDIN, E.; OHRWALL, R.; SAKAO, T. From component to system solution supplier: strategic warranty management as a key to efficient integrated product/service engineering. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, Amsterdam, Holanda, v. 2, n. 3, p. 183–191, dez. 2010.
- SYSML. **SysML Specifications – Current Version: OMG SysML 1.6**. 2019. Disponível em: <<https://sysml.org/sysml-specs/>>. Acesso em: 08.02.2021.
- SYSML. **SysML Open Source Project - What is SysML? Who created SysML?** 2020. Disponível em : <<https://sysml.org/>>. Acesso em: 20 out. 2020.
- TAKEDA, H.; VEERKAMP, P.; YOSHIKAWA, H. Modeling design processes. **AI Magazine**, Nova York, Estados Unidos, v. 11, n. 4, p. 37–48, out. 1990.

TONELLI, F.; TATICCHI, P.; STARNINI, S. A framework for assessment and implementation of Product-Service systems strategies: learning from an action research in the health-care sector. **WSEAS Transactions on Business and Economics**, Houston, Estados Unidos, v. 6, n. 7, p. 303–319, out. 2009.

TRAN, T. A.; PARK, J. Y. Development of integrated design methodology for various types of product — service systems. **Journal of Computational Design and Engineering**, Amsterdam, Holanda, v. 1, n. 1, p. 37–47, jan. 2014.

TUKKER, A. Eight types of product service system: eight ways to sustainability? **Business Strategy and the Environment**, Nova York, Estados Unidos, v. 13, p. 246–260, jul. 2004.

TUKKER, A. Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 97, p. 76–91, jun. 2015.

TUKKER, Arnold; TISCHNER, Ursula. **New Business for Old Europe. Product-service Development as a Means to Enhance Competitiveness and Eco-efficiency**. Austin Estados Unidos: Greenleaf Publishing, 2006a. 480p.

TUKKER, A.; TISCHNER, U. Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 14, n. 17, p. 1552–1556, dec. 2006b.

UNNIKRISHNAN, S.; SINGH, A. Energy recovery in solid waste management through CDM in India and other countries. **Resources, Conservation & Recycling**, Amsterdam, Holanda, v. 54, n. 10, p. 630–640, ago. 2010.

VAISHNAVI, Vijay; KUECHLER, Bill. **Design Science Research in Information Systems**. 2004. Disponível em: <<http://desrist.org/desrist/article.aspx>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field- Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, Nova York, Estados Unidos, v. 41, p. 219–246, fev. 2004.

VAN EWIJK, S.; STEGEMANN, J. A. Limitations of the waste hierarchy for achieving absolute reductions in material throughput. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, v. 132, p. 122–128, set. 2016.

VANDERMERWE, S.; RADA, J. Servitisation of business: adding value by adding services. **European Management Journal**, Amsterdam, Holanda, v. 6, n. 4, inverno 1988. VEZZOLI, Carlo; KOHTALA, Cindy; SRINIVASA, Amrit; MOI FUSAKUL, Sompit; XIN, Liu; SATEESH, Deepta; DOS SANTOS, Aguinaldo; CHAVES, Liliane, I.; CASTILHO, Leonardo, A. G.; GÓMEZ, Carla, R. P.; NUNES, Viviane G. A.; LEPRE, Priscilla R.; ENGLER, Rita C.; MARTINS, Suzana B. **Sistema produto +**

serviço sustentável : fundamentos. 22. ed. Curitiba, Brasil: Editora Insight, 2018. 195p.

VISYOND. **VISYOND**. Disponível em: <<https://visyond.com/dashboard>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

WALLS, J. G.; WYIDMEYER, G. R.; SAWY, O. A. E. Building an information system design theory for vigilant EIS. **Information Systems Research**, Lichfield, Reino Unido, v. 3, n. 1, p. 36–60, mar. 1992.

WEBSTER, J.; WATSON, R. T. Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. **Management Information Systems Quarterly**, Minneapolis, Estados Unidos, v. 26, n. 2, p. 13–23, jun. 2002.

WEINRICH, Sören; SCHÄFFER, Franzisca; LIEBETRAU, Jan. **Value of batch tests for biogas potential analysis; method comparison and challenges of substrate and efficiency evaluation of biogas plants**. Cork, Irlanda: IEA Bioenergy, 2018. 42p.

WOLNY, S.; MAZAK, A.; CARPELLA, C.; GEIST, V.; WIMMER, M. Thirteen Years of SysML: a systematic mapping study. **Software & Systems Modeling**, Suíça, v. 19, p. 111-169, mai. 2019.

YAZAN, D. M. Constructing joint production chains: An enterprise input-output approach for alternative energy use. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, Holanda, v. 107, p. 38–52, 1 fev. 2016.

APÊNDICE 1 - Revisão sistemática: PSS origem e definições

Ao se definir a melhor abordagem para a realização da revisão sistemática levou-se em conta o crescimento de número de publicações relacionadas ao campo do conhecimento do PSS nos últimos anos. Baines et al. (2007) realizaram uma revisão da literatura consistente e de grande impacto na comunidade científica sobre o conceito e as características do PSS, tendo analisado 40 artigos. O trabalho acumula mais de 2000 citações. Seis anos mais tarde, o trabalho de revisão do estado da arte da literatura sobre PSS exigiu de Boehm e Thomas (2013) a avaliação de 265 artigos, e de Tukker (2015) a avaliação de quase 300 artigos. Em 2019, um trabalho de revisão da literatura enfocando o uso de palavras chaves identificou 1173 artigos relacionados ao tema, publicados entre 2010 e 2016 (GURTU, 2019).

Assim que o número de estudos acadêmicos cresce, análises exaustivas e sistêmicas da literatura se tornam necessárias (BERKOVICH; KCRMAR; LEIMEISTER, 2011; WEBSTER; WATSON, 2002), para habilitar a coleta da experiência existente e do conhecimento de um aspecto particular derivado tanto da ciência quanto da prática (BERKOVICH; KCRMAR; LEIMEISTER, 2011; BUDGEN; BRERETON, 2006). Na elaboração das mesmas, não se deve efetuar uma varredura na literatura científica buscando, consciente ou inconscientemente, artigos aqui e ali que suportam opiniões pré-existentes. Antes, deve-se aplicar uma abordagem científica sistemática ao próprio processo de busca por evidência científica, garantindo que a evidência encontrada é tão completa e representativa quanto possível de toda a pesquisa que já foi realizada (GOLDACRE, 2012). Por isso, optou-se por realizar-se uma revisão sistemática com abordagem configurativa, conforme proposto por Gough, Oliver e Thomas (2013), para se descobrir a origem e mapear a evolução do conhecimento teórico conceitual sobre o PSS.

Realizou-se uma pesquisa prévia, no portal CAPES, que integra mais de 500 bases de dados de artigos científicos de revistas e periódicos, pelos termos de busca: “PSS definition” AND “review” AND “literature”, a qual resultou em 29 artigos. Pela leitura dos títulos e resumos verificou-se que há muitas revisões da literatura com o escopo pretendido já publicadas. De acordo com Gough, Oliver e Thomas

(2013), em casos como este a estratégia mais usual é a revisão sistemática das revisões já existentes. Os autores também indicam que uma estratégia a ser usada pode ser o seguir as referências para encontrar-se as origens e as bases conceituais das definições propostas. Assim, optou-se por realizar uma revisão sistemática dos artigos de revisões da literatura sobre PSS e dos artigos originais que lançaram as bases conceituais das definições mais populares na comunidade científica, encontrados a partir da busca nas referências.

Após a realização de alguns testes de combinações de palavras chaves e a análise da quantidade de resultados, definiu-se a expressão booleana "pss" AND "definition" AND "literature review", a qual foi pesquisada no portal da Capes. Como resultado, obteve-se 909 artigos. Foram lidos os títulos dos artigos e eliminados os que não apresentavam revisão da literatura de artigos relacionados a PSS. Após filtragem e remoção dos duplicados, foram selecionados 11 artigos.

Meier e Conkling (2008) demonstraram que 90% das publicações em engenharia, realizadas após 1990, estão disponíveis no Google Scholar. Por isso, foi realizada uma busca adicional no Google Scholar por outros artigos da *grey literature* (literatura cinza, não indexada nas bases de publicações científicas). Foram encontrados dois artigos. Finalmente, os artigos selecionados foram lidos e seguiu-se pelas referências dos mesmos para identificar outras revisões da literatura e artigos que apresentaram as bases conceituais e as definições primárias mais populares de PSS. Fruto deste levantamento adicional, foram adicionados 4 artigos ao portfolio, resultando em 17 artigos analisados. Foi definido como critério para aceitação dos artigos de revisão sistemática o possuir pelo menos 25 citações, para trabalhos publicados até 2017. Não foi utilizado este critério para os trabalhos mais recentes, pois considerou-se que pode não ter havido tempo suficiente para os artigos gerarem repercussão notável na comunidade científica. Todos os artigos passaram pelo crivo estabelecido. O quadro A1.1 apresenta a relação dos trabalhos selecionados, sua abrangência de análise (número de artigos analisados) e impacto (número de citações mencionado no Google Scholar).

Quadro A1.1 - Trabalhos conceituais e revisões sistemáticas sobre PSS

continua...

Autor e ano de publicação	Título	Publicação	Escopo	Número de artigos analisados	Número de citações
--	---------------	-------------------	---------------	---	-----------------------------------

Goedkoop et al. (1999)	Product Service Systems, Ecological and Economic Basics.	Technical Report for the Dutch Government	Avaliar a relevância econômica e ambiental dos sistemas de produto / serviço e sua adaptação e valor no contexto da política ambiental Holandesa.	Não aplicável - artigo teórico / conceitual	999
Mont. (2000)	Product Service Systems - Final Report.	Swedish Environmental Protection Agency, Sweden.	Apresentar as propostas existentes, um panorama teórico dos PSS atuais e os princípios subjacentes ao PSS.	Não aplicável - artigo teórico / conceitual	353
Mont. (2002)	Clarifying the concept of product-service system.	Journal of Cleaner Production	Construir um panorama teórico para o PSS.	Não aplicável - artigo teórico / conceitual	2181
Baines et al. (2007)	State-of-the-Art in Product Service Systems.	Journal of Engineering Manufacture	Definir o conceito, origens e características do PSS, identificar barreiras potenciais à sua adoção, sumarizar as ferramentas e metodologias disponíveis e identificar os desafios futuros de pesquisa.	40	2073
Sakao; Olundh ; Matzen (2009)	Framing research for service orientation of manufacturers through PSS approaches.	Journal of Manufacturing Technology Management	Apresentar um panorama de pesquisa para orientação a serviços para fabricantes através de uma abordagem de PSS	100	136

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro A1.1 - Trabalhos conceituais e revisões sistemáticas sobre PSS

continua...

Autor e ano de publicação	Título	Publicação	Escopo	Número de artigos analisados	Número de citações
Berkovich;	Requirements	Business &	Pontuar todos os requisitos de	100	94

Krcmar; Leimeister (2011)	Engineering for Product Service Systems.	Information Systems Engineering	engenharia que devem ser atendidos num projeto de PSS e determinar a viabilidade das abordagens de requisitos de engenharia existentes para o PSS.		
Park; Geum; Lee (2012)	Toward integration of products and services: Taxonomy and typology.	Journal of Engineering and Technology Management	Propor um panorama sistemático para acomodar os vários conceitos relacionados a integração de produtos e serviços.	Não informado.	111
Cavaliere; Pezzota (2012)	Product- Service Systems Engineering: State of the art and research challenges.	Computers in Industry	Prover uma conceitualização holística e uma revisão atualizada da literatura em engenharia de serviço com o foco específico na sua adoção no contexto do PSS.	79	349
Beuren; Ferreira; Miguel (2013)	Product- service systems: a literature review on integrated products and services.	Journal of Cleaner Production	Discutir as características específicas do PSS, bem como os benefícios e os problemas que a literatura apontou nos anos recentes.	149	480

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro A1.1 - Relação dos trabalhos conceituais e revisões sistemáticas sobre PSS

continua...

Autor e ano de publicação	Título	Publicação	Escopo	Número de artigos analisados	Número de citações
Boehm; Thomas; (2013)	Looking beyond the rim of one's teacup: a multidisciplinary	Journal of Cleaner Production	Avaliar o estado da arte em pesquisa de PSS nos ramos de Sistemas de Informação,	265	237

	literature review of Product-Service Systems in Information Systems, Business Management, and Engineering & Design.		Gerenciamento de Negócios, Engenharia e Design.		
Reim; Parida; Ortqvist (2015)	Product Service Systems (PSS) business models and tactics a systematic literature review.	Journal of Cleaner Production	Apresentar uma revisão da literatura sobre os modelos de negócio e as táticas para PSS.	67	457
Tukker (2015)	Product services for a resource-efficient and circular economy – a review.	Journal of Cleaner Production	Revisar a literatura sobre PSS da última década e comparar com as conclusões de outra revisão, realizada em 2006.	278	872
Annarelli; Battistella; Nonino (2016)	A conceptual framework from a systematic review.	Journal of Cleaner Production	Compreender as origens, o estado da arte e as possíveis direções futuras de pesquisa quanto ao PSS.	224	131

Fonte: Construído pelo autor.

Quadro A1.1 - Relação dos trabalhos conceituais e revisões sistemáticas sobre PSS

...final.

Autor e ano de publicação	Título	Publicação	Escopo	Número de artigos analisados	Número de citações
Qu et al. (2016)	State-of-the-art of design, evaluation, and operation methodologies in	Computers in Industry	Compreender o estado da arte das metodologias de projeto, avaliação e operação de PSS (PSS-DEOM).	258	108

	product service systems.				
Haase; Pigozzo; McAloone (2017)	Product/Service-System Origins and Trajectories: A Systematic Literature Review of PSS Definitions and their Characteristics.	Procedia CIRP	Prover um panorama da estabilização das definições de PSS dentro da pesquisa de PSS, apresentando as 52 definições mais proeminentes relacionadas com PSS e suas inter-relações.	47	25
Gurtu (2019)	The Strategy of Combining Products and Services: A Literature Review.	Services Marketing Quarterly	Analisar a literatura acadêmica relativa a ofertas combinadas de produtos e serviços e apontar as tendências de uso de palavras chaves e contribuições de pesquisa, desde 1959 até 2016.	1763	0
Alcayaga; Wiener; Hansen (2019)	Towards a framework of smart-circular systems: An integrative literature review.	Journal of Cleaner Production	Sintetizar literaturas de diferentes domínios para descrever as inter-relações entre os conceitos de estratégias circulares, produtos smart e sistemas de produto-serviço (PSS).	Não informado.	5

Fonte: Construído pelo autor.

As revisões sistemáticas selecionadas abrangem um período de 57 anos, desde o início das publicações relacionadas a serviços, em 1959, até 2016, e juntas somam a análise de mais de 1700 publicações relacionadas a PSS e conceitos que o originaram. Somadas a elas estão os três trabalhos considerados seminais neste campo do conhecimento: (i) o relatório do trabalho de pesquisa sobre PSS de Goedkoop et al. (1999) realizado para o governo Holandês; (ii) o relatório de Oksana Mont (2000) realizado para a agência de proteção ambiental sueca e (iii) o artigo científico publicado pela mesma autora em 2002, contendo o resumo da pesquisa realizada em 2000 (BAINES et al., 2007; BEUREN; FERREIRA; MIGUEL, 2013; BOEHM; THOMAS, 2013; MONT, 2002).

O bojo de artigos inclui os trabalhos dos três pesquisadores considerados mais influentes na área, autores dos artigos sobre PSS mais citados: Arnold Tukker, Oksana Mont e Tim Baines (Qu et al. 2016), e também dos dois mais prolíficos: Tomohiko Sakao e Oliver Thomas (BOEHM; THOMAS, 2013). A maioria dos trabalhos selecionados foram publicados no *Journal of Cleaner Production*, reconhecido como o canal mais usado pela comunidade para a divulgação dos avanços científicos na área, o que se deve, em parte, a publicação de três edições especiais sobre PSS (BEUREN; FERREIRA; MIGUEL, 2013; TUKKER, 2015; QU et al. 2016). Os trabalhos englobam diversas áreas relevantes neste campo do conhecimento, como Sistemas de Informação, Gerenciamento de Negócios, Engenharia e Design (BOHEM; THOMAS, 2013; GURTU, 2019). O portfolio inclui também as revisões mais densas e abrangentes em termos de análise de conteúdo, de Boehm e Thomas (2013), Tukker (2015) e Qu et al. (2016), (todas analisam mais de 200 artigos cada), e as mais influentes na comunidade acadêmica, segundo o número de citações do Google Scholar: Baines et al. (2007), e Tukker (2015).

Pode-se, portanto, concluir que o portfolio selecionado contém informações consideradas relevantes e acreditadas pela comunidade científica, as quais permitem ao pesquisador mapear adequadamente as definições que deram origem às diversas linhas de entendimento sobre o significado e a definição do PSS, bem como sobre suas origens e bases conceituais, além de entender a evolução do entendimento durante o tempo, até o presente. Repisa-se que o objetivo final da análise e da síntese deste portfolio é fundamentar adequadamente o arcabouço teórico do campo de conhecimento do PSS para embasar a escolha da definição mais consistente (dentre as propostas) e sobre ela construir, desenvolvendo as demais etapas da pesquisa.

Apenas como adendo, e por ser de interesse para a comunidade de pesquisa local, verificou-se que, embora existam contribuições de cientistas brasileiros na área de PSS, estas não compõem um volume suficiente a ponto de colocar o Brasil como uma referência no radar das pesquisas sobre PSS. Ele não aparece entre os 10 países que mais publicam na área, quer na soma das contribuições por universidade quer na soma geral por país (TUKKER, 2015; GURTU, 2019). Das mais de 1700 publicações analisadas na área de servitização e PSS, Gurtu (2019) identificou 23 publicações brasileiras no período de 1959 a 2016, de colaboradores

ligados a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Destaca-se, dentre as contribuições nacionais, o robusto trabalho de revisão sistemática publicado por Beuren, Ferreira e Miguel (2013), incluso por mérito no portfolio devido ao seu impacto significativo na comunidade (480 citações no Google Scholar), bem como abrangência (149 artigos analisados) e profundidade de análise. Considerando este cenário, o trabalho de fundamentação teórica desta pesquisa está baseado quase que exclusivamente em contribuições internacionais.

PSS: origens e definição

É amplamente reconhecido pela literatura que a proposição do termo *Product Service Systems* (Sistema de Produto-Serviço ou PSS) foi feita por Goedkoop et al. em 1999 (GOEDKOOOP et al., 1999; BAINES et al., 2007; SAKAO; OLUNDH; MATZEN, 2009); PARK; GEUM; LEE, 2012; BEUREN; FERREIRA; MIGUEL, 2013; REIM; PARIDA; ORQVIST, 2015; ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; HAASE; PIGOSSO; MCALONE, 2017). Dos autores provém também a primeira definição de PSS:

“É um conjunto de produtos e serviços comercializável capaz de, conjuntamente, suprir uma necessidade do usuário. O percentual de produtos / serviços pode variar, com respeito ao cumprimento da função ou o valor econômico, ao longo do tempo. Serviços oferecidos de forma gratuita com o propósito de melhorar a imagem da marca ou fidelizar o cliente não caracterizam um PSS.” (GOEDKOOOP et. al, 1999).

Contudo, os autores não arrogam para si a criação do conceito. Antes, boa parte do seu extenso relatório de mais de 100 páginas é dedicada a análise de 10 casos escolhidos numa base de 140 modelos de negócio existentes na Holanda, identificados como sendo PSS. Seu trabalho foi o de sistematizar teoricamente o que já se praticava. O PSS tem sua origem no mercado, não na academia. Segundo Sakao, Olundh e Matzen (2009), o PSS surgiu a partir de duas influências dominantes. A primeira foi a pesquisa de marketing em produtos e serviços, que confluiu para um paradigma no qual não há mais linha de distinção visível entre produtos e serviços. Teve impacto determinante nesta confluência o trabalho de

Vandermerwe e Rada (1988), que propôs o conceito de servitização. A segunda, proveniente de pesquisadores com agendas ambientais, começou a visualizar o conceito de PSS como um meio de diminuir o impacto ambiental pelo uso da função do produto, introduzindo os conceitos de economia funcional, propostos por Stahel em 1997, e de desmaterialização. Nesta linha, foram importantes colaboradores Mont (2000, 2002), Manzini e Vezzoli (1998), entre outros (SAKAO; ÖLUNDH; MATZEN, 2009).

Em seu extenso relatório com o escopo de apresentar as propostas existentes, um panorama teórico dos PSS de então e os princípios subjacentes ao PSS, Mont apresentou o PSS como tendo o objetivo final de desacoplar o desenvolvimento econômico do impacto ambiental, o que transparece na definição que propôs:

“Um sistema de produtos e serviços (PSS) é uma combinação de produtos e serviços pré-designada num mercado a qual pode atender as necessidades dos clientes; e uma solução desmaterializada para as necessidades e preferências dos clientes; o resultado de repensar a cadeia de valor do produto e meios de entregar utilidade aos consumidores os quais terão um menor impacto ambiental do que os produtos e serviços em separado teriam fora do sistema” (MONT, 2000).

Mais tarde, Mont publicou um resumo do seu trabalho, no qual apresentou uma definição mais sucinta. Para ela, PSS era:

“um sistema de produtos, serviços, redes de suporte e infra-estrutura que é projetado para ser: competitivo, satisfazer as necessidades dos consumidores e ter um impacto ambiental menor que os modelos de negócio tradicionais” (MONT, 2002).

Embora Goedkoop et al. e Mont concordassem em vários pontos quanto aos elementos que compõem um PSS e ambos propusessem-no como uma possível solução para desconectar o crescimento econômico do aumento do impacto ambiental (o que será melhor explicado mais adiante) suas definições diferem fundamentalmente, na abordagem, sobre o objetivo fim do mesmo. Consequentemente, atribuem significados diversos ao próprio PSS. Enquanto a

definição de Goedkoop et al. apresenta o PSS como um sistema de produtos e serviços que entrega valor ao cliente pelo cumprimento de uma função que atende sua necessidade, na de Mont um sistema produto serviço é um PSS se, e somente se, além disso, ele gerar um impacto ambiental menor do que o dos modelos tradicionais.

O ambiente, a formação e o cenário no qual os pesquisadores que lançaram as bases teóricas do PSS estavam envolvidos parece ter de alguma forma influenciado sua visão. A equipe de Goedkoop et al. era mormente composta de profissionais da área de design, os quais trabalhavam em empresas de consultoria empresarial (GOEDKOOOP et al., 1999). Soa natural, portanto, que definissem o PSS como um modelo de negócio para atingir objetivos de mercado. Também parece natural que a sueca Oksana Mont, doutora em engenharia ambiental (IIIEE, 2020), tivesse uma visão voltada ao objetivo final de atingir metas ambientais. O trabalho de Mont (2000) declaradamente apresenta o PSS como uma ferramenta para atender objetivos do tripé da sustentabilidade - ambiental, econômico e social – nesta ordem (MONT, 2000). Não se vê a mesma ênfase no trabalho de Goekoop et al. (1999). Annarelli, Battistella e Nonino (2016) reconhecem que a definição de Mont foi a primeira a associar PSS a sustentabilidade.

Comparando-se a construção do conhecimento em PSS a uma árvore, onde os primórdios do desenvolvimento estariam representados pela raiz e o estado da arte pelos ramos finos das extremidades dos ramos, seguidos das folhas, vê-se o PSS como uma planta com raízes conceituais firmadas no mercado, surgida como modelo de negócio mormente para atingir objetivos de competitividade. Na base do seu caule principal foi posto um enxerto - a agenda de sustentabilidade. Vê-se que alguns pesquisadores viram, no modelo, uma possibilidade de materialização dos conceitos de economia funcional conducente às metas de sustentabilidade. Estes conceitos eram propostos por Giarini e Stahel (1989), Manzini e Jansen e Vergragt (1997), os quais são citados como referência teórica nos trabalhos acadêmicos seminais sobre PSS, de Goedkoop et al. (1999) e Mont (2002).

De Stahel vem o conceito de uma sociedade baseada em serviços para o crescimento em direção a sustentabilidade. Manzini propôs o *sistema* de produto estratégico como uma forma de a empresa se apresentar ao mercado e participar na sociedade. Jansen e Vergrat trabalharam no conceito de sistemas de produto

sustentáveis, o qual ultrapassa as fronteiras da empresa e considera todas as partes (atores) relevantes (MONT, 2002). E embora Goedkoop et al. (1999) os mencionem, sua definição proposta de PSS mostra-se mais alinhada com o fenômeno observado (voltado a atingir objetivos mormente econômicos e não necessariamente ambientais), do que com a teoria analisada.

Com o decorrer do tempo, outros pesquisadores como Tukker (2004) e Baines et. al. (2007) propuseram definições distintas para PSS. Contudo, as definições de Goedkoop et al. e Mont. se firmaram como referência e os diferentes pesquisadores foram adotando uma ou outra (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; HAASE; PIGOSSO; MCALONE, 2017), formando ramos distintos da construção do conhecimento. Embora, *a posteriori*, tenham sido propostas dezenas de definições diferentes para PSS, constatou-se que a ampla maioria utiliza, ou mesmo fundamenta-se, nas bases das duas propostas seminais (HAASE; PIGOSSO; MCALONE, 2017).

Considerando o exposto, o cientista que se proponha hoje a realizar uma pesquisa de proposta de aplicação de PSS deve decidir quanto a qual é a definição de PSS para sobre ela construir seu trabalho. Desta escolha resulta a resposta para a seguinte pergunta: “caso o sistema de produto e serviço que proponho não possua um impacto ambiental menor que o modelo tradicional, ainda assim considera-lo-ei um PSS?”. Pela definição de Mont, ele não o seria. Na ótica de Goedkoop et al., sim, ele seria. O próprio nome, ênfase e a forma de avaliar o trabalho perpassam por esta questão. Em se tratando de pesquisa científica, a adoção de uma definição não pode se dar por preferência do pesquisador ou do seu grupo de pesquisa. Antes, deve ser fruto de uma avaliação por meio de uma abordagem pragmática.

Como já mencionado, a sistematização do PSS não foi a criação de algo novo, antes o reconhecimento de um fenômeno existente no mercado. Goedkoop et al. (1999) reconhecem que o foco geral das empresas analisadas que “já praticavam” o PSS era mormente o resultado econômico, não a redução do impacto ambiental nem o descolamento do crescimento econômico do aumento da carga ambiental. Outro fator importante a considerar é que, embora os pesquisadores demonstrassem, desde o início, entusiasmo quanto aos benefícios ambientais potenciais do PSS, tal hipótese ainda não é considerada como provada. Annarelli, Battistella e Nonino (2016) encontraram que, desde as primeiras publicações, o PSS

foi rotulado como um modelo de negócios ambientalmente amigável (MONT. 2002; TUKKER, 2004), mesclando os temas de sustentabilidade e modelos de negócio. Esta correlação permaneceu até os autores começarem a questionar se o PSS era capaz de entregar estes benefícios, principalmente no que tange aos aspectos ambientais (TUKKER e TISCHNER, 2006b). Esta falta de confiança resultou numa clara separação destes ramos de pesquisa, resultando numa série de artigos focados em sustentabilidade lidando com análises de impacto ambiental e social e outro ramo com artigos focados em estratégia e modelos de negócio, ignorando quase completamente os aspectos de sustentabilidade.

Tukker (2015), apontado como sendo um dos que lançaram as bases do PSS (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016), relatou que, por volta do ano 2000, alguns projetos de pesquisa em PSS se iniciaram, principalmente na Europa, e algumas dúzias de institutos de pesquisa procuraram desenvolver uma estrutura para classificar o PSS, com o objetivo de criar uma fundação científica sólida para o conceito e aprender, a partir dos estudos de casos, o que funciona e o que não. Um destes projetos foi a SusProNet, uma rede que serviu como um dos hubs nos quais os cientistas de PSS poderiam trocar experiências e visões. Ao final do projeto, Tukker e Tischner (2006a, 2006b) escreveram uma revisão crítica sobre a pesquisa do PSS orientada à sustentabilidade e concluíram que “os estudos de caso eram frequentemente dirigidos por metas normativas de sustentabilidade e falhavam em analisar as razões de uma implementação falha, como falta de interesse dos consumidores ou de interesse do ponto de vista de negócio. Havia muita concentração em estudo de casos individuais e desenvolvimento conceitual, e nenhuma análise quantitativa ou estatística de um grande número de casos; e a comunidade de pesquisa em PSS orientado a sustentabilidade prestava apenas atenção limitada à literatura de gerenciamento de negócios. Concluíram que o PSS ainda carecia de comprovação de hipóteses. Na mesma linha, Baines et al. (2007) realizaram uma revisão sistemática da literatura em PSS e constataram que os autores pareciam mais atraídos pela novidade, completeza e benefícios ambientais dos esquemas do que em avaliações mais aprofundadas das implicações em competitividade. Até a data, os maiores contribuidores eram acadêmicos de ciências ambientais e sociais. Havia alguns exemplos de PSS na literatura aparentemente

demonstrando sucesso econômico, mas tendendo a enfatizar os ganhos ambientais e sociais, e os casos apresentados tendiam a ser qualitativos.

Cerca de dez anos mais tarde, Tukker realizou um trabalho denso de revisão sistemática da literatura, com muita abrangência (278 artigos analisados) e escopo semelhante e encontrou que o PSS não entrega sustentabilidade por definição (TUKKER, 2015). PSS que não são cuidadosamente desenvolvidos acarretam o risco de obliterar o benefício ambiental por efeitos rebote e por um comportamento mais descuidado por parte dos consumidores (REIM; PARIDA; ORQVIST, 2015). Ainda assim, tais sistemas continuam sendo denominados PSS.

Mesmo Mont (2000) reconhecia a dificuldade de um PSS entregar benefícios ambientais ou de sustentabilidade. A autora postulou que a ênfase na entrega do benefício ambiental ao projetar uma solução PSS pode tornar as soluções mais caras e inviáveis economicamente. Como solução ao possível problema, propõe a criação de novas leis para impulsionar (ou seja, obrigar) o mercado a adotar soluções PSS. Outros autores argumentam na mesma linha (MICHELINI; RAZZOLI, 2004; VEZZOLI et al, 2018).

Em contraposição, o entendimento de que o PSS é um *modelo de negócio envolvendo um sistema de produtos e serviços voltado a atender as necessidades dos clientes* está consolidado na literatura. Haase, Pigosso e McAloone (2017) analisaram a estabilização das definições de PSS no decorrer do tempo, apresentando as 52 mais proeminentes. Encontraram que as características mais comuns a todas as definições são “produtos e serviços para satisfazer as necessidades dos consumidores”. Um fato interessante foi o notarem que, comparando as definições de PSS dos períodos de 1999-2009 e 2010-2015, a ocorrência da característica impacto ambiental caiu 71%, enquanto a característica “modelo de negócios” cresceu 150%, o que sugere uma mudança do foco dos possíveis benefícios ambientais para os benefícios econômicos do PSS. Ainda assim, há autores que, mesmo reconhecendo esta tendência, buscam resgatar o foco em sustentabilidade na pesquisa em PSS (ANNARELI, BATTISTELLA; NONINO, 2016).

Baseado nas evidências levantadas e apontadas o pesquisador posiciona-se em favor da definição de Goedkoop et. al (1999) e a consideração de que o PSS é

um modelo de negócio que não necessariamente gera um impacto ambiental menor do que o modelo tradicional. Contudo, nada impede que seja proposto para resolver um problema ambiental, gerando valor para o cliente e benefícios econômicos para o provedor, o que já ocorria desde a década de 90, como no caso da empresa Koppert, cujo escopo do PSS era auxiliar os agricultores a produzir utilizando nada ou o mínimo necessário de agrotóxicos (GOEDKOOOP et al., 1999).

APÊNDICE 2 - Diagramas SysML: estrutura, simbologia e semântica

Neste apêndice são apresentadas as informações sobre a estrutura e notação de cada diagrama, essenciais para a compreensão desta tese. Elas foram baseadas em duas fontes: o site da SysML partners (fonte primária), atual mantenedora do projeto da linguagem SysML (SYSML, 2020), e no livro de Delligatti (2014), o qual, embora com relativa prolixidade e um pouco de falta de didática, explica todos os diagramas e símbolos da linguagem.

Posto que cada um dos 9 diagramas possui simbologia específica, com semântica própria, para evitar estender demasiadamente esta seção, optou-se por ater-se, sempre que possível e viável, somente a explicação dos símbolos usados nos diagramas apresentados no corpo desta tese. Adicionalmente, ao abordá-los, resumiu-se as explicações contidas no livro, de modo a conferir mais objetividade ao texto. Apesar deste esforço, dado a necessidade de se cobrir extenso conteúdo, o presente apêndice resultou em várias dezenas de páginas. Contudo, ainda assim não se constitui numa cobertura *exaustiva* do conteúdo abordado; antes, apresenta o mínimo necessário para viabilizar a compreensão dos símbolos utilizados. Quando necessário, por questões de compreensão e didática, foram transpostas as ilustrações apresentadas na fonte. Assim, o presente apêndice pode ser considerado um compilado do conteúdo apresentado de forma sintética pelo site da SysML partners (SYSML, 2020) e coberto mais amplamente por Delligatti (2014). O leitor interessado em aprofundar-se no tema pode referenciar-se por ambos (SYSML, 2020; DELLIGATTI, 2014).

Diagrama de Pacotes

O diagrama de pacotes é um diagrama estrutural estático que mostra os relacionamentos entre os pacotes e os seus conteúdos. De acordo com a definição adotada pela SysML partners um pacote é “um mecanismo de propósito geral para organizar elementos modelados e diagramas em grupos” (SYSML, 2020). Pacotes definem *nomes-espaço* únicos para modelar elementos definidos dentro do seu escopo. Um *nome-espaço* é definido como uma região declarativa que provê escopo

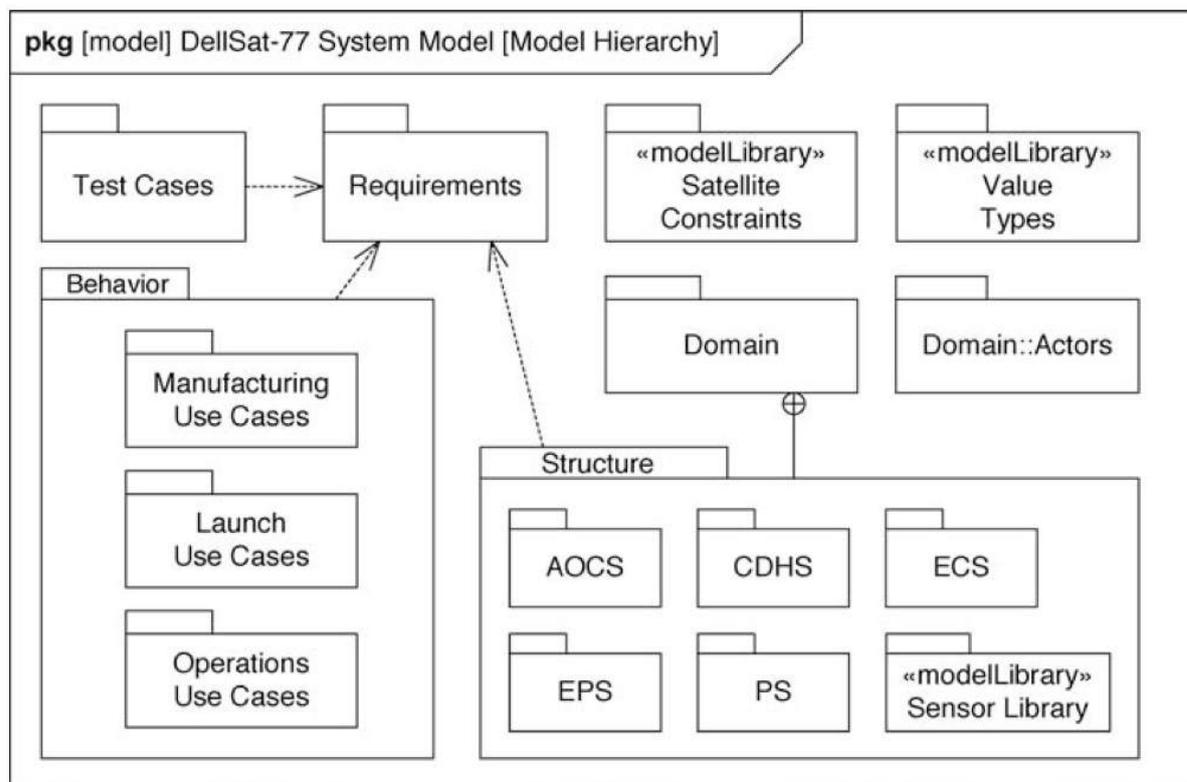
para identificadores nela contidos (seu significado e uso ficará mais claro ao explicar-se o diagrama, nos próximos parágrafos). O propósito do diagrama de pacotes é apoiar a organização e o gerenciamento de Modelos Arquitetados de Sistemas (SYSML, 2020).

O diagrama de pacotes expressa informações sobre a estrutura do sistema modelado. Apresenta sua organização, a qual é determinada pela hierarquia dos pacotes criados para particionar os elementos do modelo em grupos coesos (DELLIGATTI, 2014).

Não há um método normativo para realizar-se a estruturação do sistema usando o diagrama de pacotes. Ela deve ser delineada considerando as metas específicas do projeto e as conseqüentes demandas, tanto da equipe de projeto quanto dos demais stakeholders. O objetivo é prover uma visão facilmente compreensível da estrutura. Para tanto, é admitido que o diagrama expresse pacotes contidos dentro de outros para expressar a hierarquia de conteúdo do modelo (DELLIGATTI, 2014).

A abreviatura utilizada por padrão, na linguagem, para o diagrama de pacotes, é *pkg*. O tipo de elemento modelado que o diagrama representa pode ser: *package* (pacote), *model* (modelo), *modelLibrary* (biblioteca de modelos), *view* (vista) e *profile* (perfil) (DELLIGATTI, 2014; SYSML, 2020). O elemento modelado que é nomeado no cabeçalho do diagrama serve como *nome-espaço* para os elementos nele mostrados. A figura A2.1 apresenta um exemplo de um diagrama de pacotes (DELLIGATTI, 2014).

Figura A2.1 - Exemplo de um diagrama de pacotes



Fonte: DELLIGATTI, (2014).

Há quatro tipos especializados de pacotes, cada um com o seu propósito específico, e certos tipos de relacionamentos que podem existir entre eles. Um modelo é um dos quatro tipos de pacotes especializados; é o tipo de pacote que serve como raiz da hierarquia do conteúdo. Na figura A2.1 o modelo representa o pacote denominado *DellSat-77 System Model*, e serve como *nome-espaço* padrão para os elementos mostrados no diagrama. O pacote nominado no cabeçalho do diagrama contém todos os elementos mostrados na área de conteúdo - a menos que outro *nome-espaço* seja explicitamente mostrado no diagrama (DELLIGATTI, 2014).

A notação usada para o pacote é o símbolo de uma pasta - um retângulo com uma etiqueta (pequeno retângulo) no lado superior esquerdo. Na figura A2.1 há 17 pastas contidas no sistema modelado, sendo que 6 (*Test Cases*, *Requirements*, *Satellite Constraints*, *Value Types*, *Behavior*, and *Domain*) estão contidas no *nome-espaço* padrão, o pacote *DellSat-77 System Model* (DELLIGATTI, 2014).

Relacionamentos são expressos pela notação de uma “mira”, constituída por uma linha sólida seguida de um círculo contendo um sinal de “+” no centro. Na figura A2.1, esta notação indica, por exemplo, que o pacote *Structure* está contido dentro do pacote *Domain* (DELLIGATTI, 2014).

A notação de “aninhamento”, ou inclusão de conteúdo do pacote é expressa pelo englobamento de outros pacotes na área de uma determinada pasta. Na figura A2.1, 6 pacotes estão contidos na pasta *Structure*. Outra notação possível é a string (dois pontos duplos), a qual significa que o pacote nominado a direita está contido no nominado a esquerda. Na figura A2.1, *Domain::Actors* expressa que o pacote *Actors* está contido no pacote *Domain* (DELLIGATTI, 2014).

As dependências entre os pacotes são expressadas por linhas tracejadas com pontas de flecha abertas desenhadas entre os pacotes. Elas representam que uma mudança no elemento fornecedor provoca uma mudança no elemento cliente. O elemento fornecedor é apontado pela ponta de flecha aberta. Na figura A2.1, vê-se que uma mudança no conteúdo do pacote *Requirements* provoca uma mudança nos conteúdos dos pacotes *Test Cases*, *Behavior* e *Structure* (DELLIGATTI, 2014).

Diagrama de Requisitos

O diagrama de requisitos é um diagrama estrutural estático que mostra os relacionamentos entre os Requisitos, denominados na linguagem como «requirement», os construtos, elementos de modelagem que os satisfazem (notação: «satisfy» Dependency) e os casos de teste que os verificam («verify» Dependency). Seu propósito é possibilitar a especificação dos requisitos funcionais e não funcionais dentro do modelo para que possam ser rastreados a outros elementos de modelagem que os satisfaçam e aos casos de testes que os verificam (SYSML, 2020). É utilizado para expressar requisitos baseados em texto e os seus relacionamentos com os outros elementos da modelagem, e possibilita o rastreamento dos requisitos aos elementos do sistema que são dependentes deles. A SysML não impõe restrições quanto a quais devem ser estes elementos, sendo que os mais comuns são blocos, casos de uso e casos de teste, dentre outros (DELLIGATTI, 2014).

O tipo de abreviação para um diagrama de requisitos é *req*. O tipo de modelo que o diagrama representa pode ser *package* (pacote), *model* (modelo), *modelLibrary* (biblioteca de modelos), *view* (visualização) ou *requirement* (requisito). O elemento de modelagem que está nominado no cabeçalho do diagrama é o nome padrão para os elementos mostrados na área de conteúdo.

A SysML predefine as seguintes especializações de estereótipos de requisitos não funcionais:

- Requisitos de performance: «performanceRequirement»
- Requisitos de interface: «interfaceRequirement»
- Requisitos de restrições: «designConstraint»
- Requisitos físicos «physicalRequirement»

A figura A2.2 apresenta um modelo de diagrama de requisitos de alto nível.

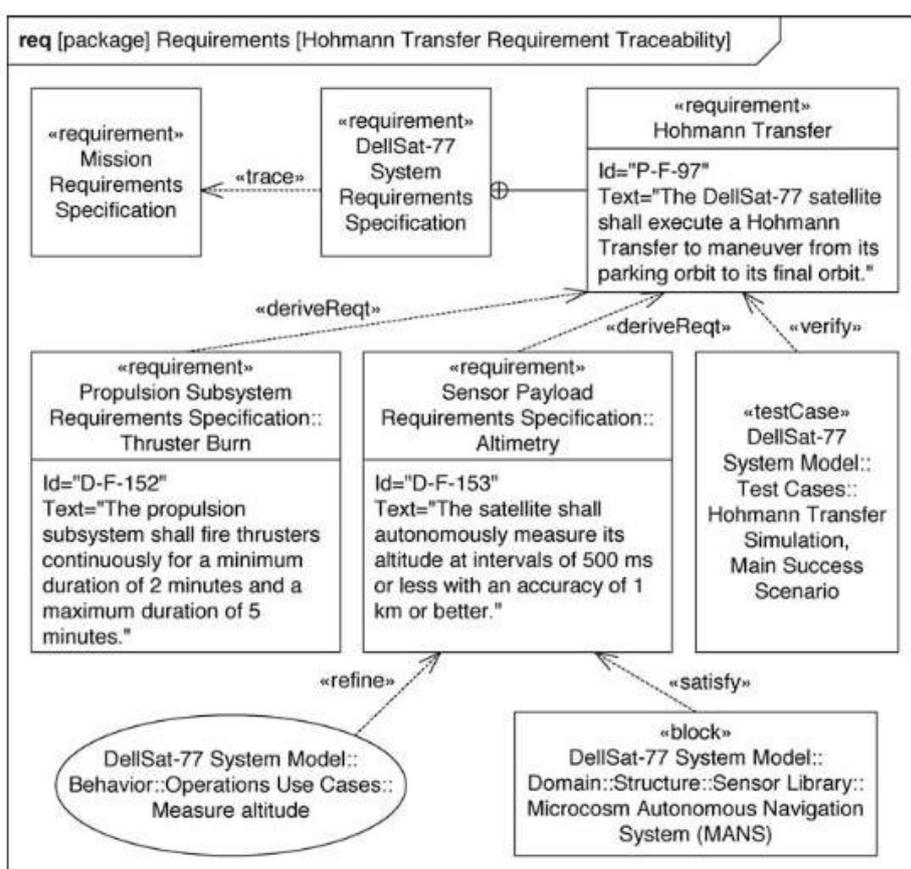


Figura A2.2 - Modelo de diagrama de requisitos de alto nível

Fonte: DELLIGATTI, (2014).

A notação para um requisito é um retângulo com o estereótipo «requirement» precedendo o nome, e seu significado é definido pelo usuário. Um requisito tem duas propriedades - *id* e *text*—que também são definidas pelo usuário (DELLIGATTI, 2014).

Há seis tipos de relacionamentos de requisitos que são comumente usados na modelagem: *containment* (contenção), *trace* (rastrear), *derive requirement* (requisito derivado), *refine* (refinar), *satisfy* (satisfaz), and *verify* (verifica). Estes relacionamentos estabelecem a rastreabilidade dos requisitos dentro de um sistema modelado (DELLIGATTI, 2014).

Na figura A2.2, o relacionamento *trace* expressa que a especificação de requisitos do *DellSat-77 System Requirements Specification* é dependente da *Mission Requirements Specification*. A ponta de flecha aberta apontando para o primeiro elemento mostra que uma modificação nele implica em uma consequente modificação no segundo (DELLIGATTI, 2014).

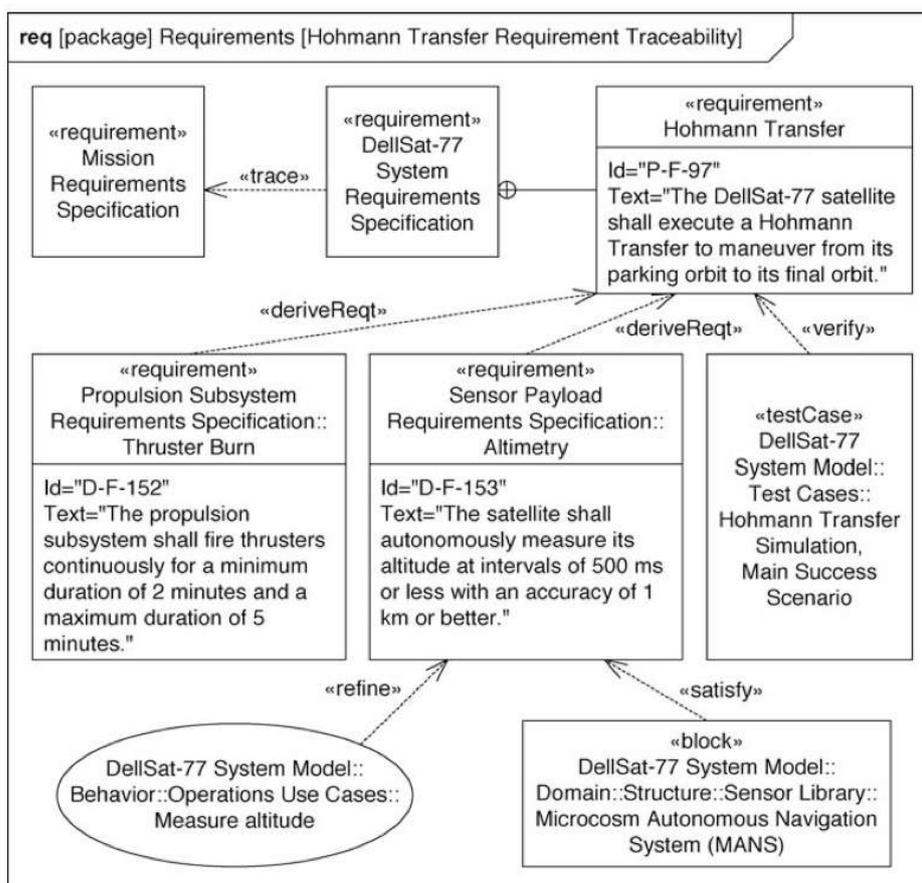
O requisito tipo *derive* significa que o requisito no elemento cliente é derivado do requisito do fornecedor. Por exemplo, no diagrama da figura A2.2 os requisitos de *Thruster Burn* e *Altimetry* são derivados dos do elemento *Hohmann Transfer*. A

ponta de flecha aberta aponta para o elemento fornecedor. Seguindo a mesma lógica, um relacionamento tipo *refine* significa que o elemento no cliente é mais concreto, ou menos abstrato que o elemento fornecedor; um relacionamento tipo *satisfy* representa que o elemento fornecedor satisfaz o requisito do elemento cliente, e um relacionamento do tipo *verify* representa que o elemento cliente atesta, ou verifica, o cumprimento do requisito do elemento fornecedor. Na figura A2.2, o caso de uso *Measure altitude* refina o requisito *Altimetry*; o bloco *Microcosm Autonomous Navigation System* satisfaz o requisito *Altimetry*; e o caso de teste *Hohmann Transfer Simulation, Main Success Scenario* verifica o requisito *Hohmann Transfer*. O caso de teste é um comportamento o qual, quando executado, prova que a implementação satisfaz o requisito do fornecedor (DELLIGATTI, 2014).

Adicionalmente, cumpre explicar as notações *cross hair* e *string* (respectivamente os elementos “mira” e “dois pontos duplos” na figura A2.2). Na figura A2.2, a notação de mira é utilizada para representar que o elemento *DellSat-77 System Requirements Specification* contém o requisito *Hohmann Transfer*. E a notação de dois pontos duplos (::) representa que o elemento *Propulsion Subsystem Requirements Specification* contém o requisito *Thruster Burn* (DELLIGATTI, 2014).

A SysML oferece uma variedade de notações possíveis para a representação dos relacionamentos entre os requisitos nos diagramas: notação direta, notação por compartimentos, notação por chamada, e “matrizes e tabelas”. Como explicado no início deste apêndice, como o objetivo desta seção é prover ao leitor os conceitos mínimos para possibilitar o entendimento do trabalho, limitar-se-á a explicar-se a notação direta, utilizada nesta tese. Interessados em conhecer em maior profundidade as demais notações possíveis podem referenciar-se por Delligatti (2014). A figura A2.3 apresenta um exemplo do uso da notação direta.

Figura A2.3 - Exemplo de diagrama de requisito com notação direta



Fonte: DELLIGATTI, (2014).

Notação direta se refere a própria dependência da notação: uma linha tracejada com uma ponta de flecha aberta, com um estereótipo aplicado a ela para mostrar o relacionamento específico. A figura A2.3 apresenta alguns exemplos desta notação. Sua vantagem é que ela coloca o relacionamento em foco no diagrama, posto que ele ocupa uma parte maior no campo visual do observador.

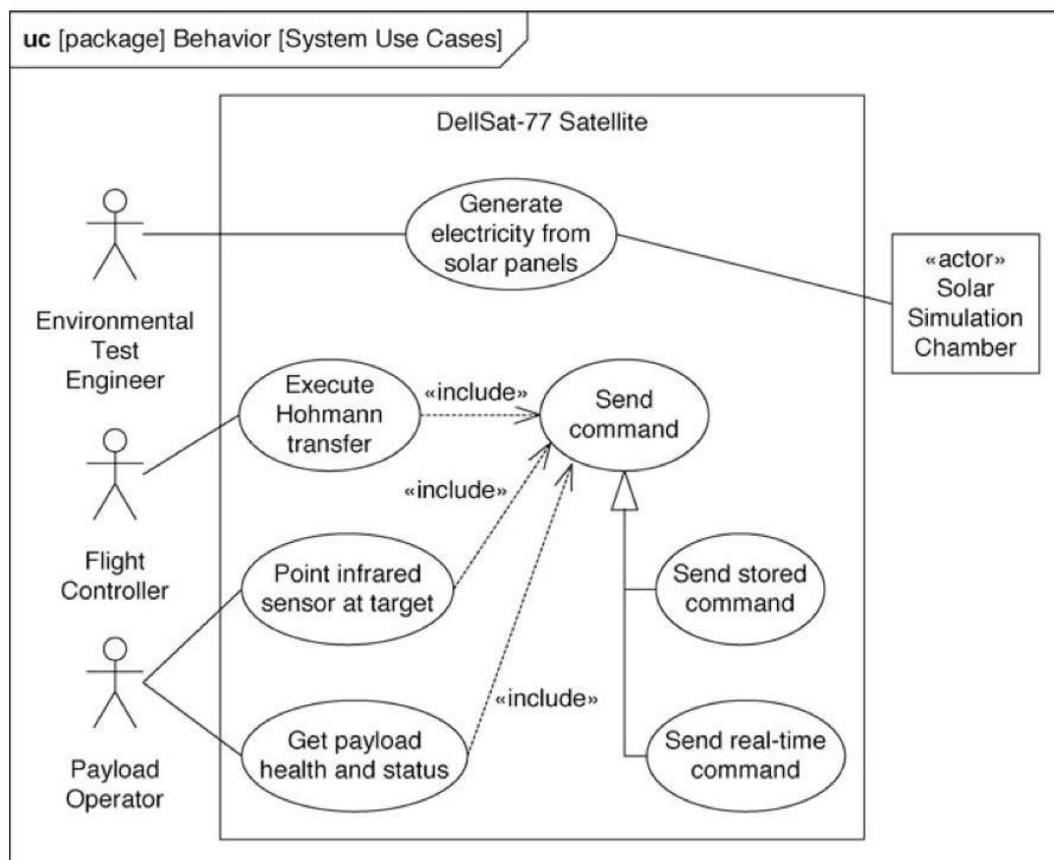
Diagrama de Casos de Uso

O diagrama de caso de uso mostra as comunicações entre as transações do sistema e os usuários externos no contexto da sua fronteira. O diagrama permite definir relacionamentos entre os atores do sistema e é uma maneira informal efetiva de definir o escopo do mesmo - ou seja, demonstrar como ele deve funcionar. Atores podem representar entradas no sistema dadas por pessoas, organizações e instalações em sistemas de software ou hardware. (SYSML, 2020).

O diagrama de caso de uso contém um conjunto de casos de uso - os serviços externos que o sistema provê - e os atores que solicitam e participam da sua entrega. Ele é adequado para prover uma visão de contexto do sistema. Um caso de uso é relacionado a um serviço, e inclui um comportamento que o sistema apresentará. Portanto, é sempre uma frase verbal (exemplo: Enviar comando) (DELLIGATTI, 2014).

A abreviatura usada para a identificação do diagrama de caso de uso é *uc*. Os elementos modelados neste diagrama podem ser *package* (pacotes), *model* (modelos), *modelLibrary* (biblioteca de modelos) ou *view* (vista) (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.4 apresenta um exemplo de um diagrama de caso de uso.

Figura A2.4 - Exemplo de um diagrama de caso de uso



Fonte: DELLIGATTI, (2014).

A notação usada para um caso de uso é a elipse (oval). O nome do caso de uso é geralmente uma frase verbal, localizada dentro ou abaixo da elipse. Um caso de uso pode ser generalizado e especializado, ou seja, pode-se criar e mostrar relacionamentos de generalização de um caso de uso para outro. A notação para a generalização é uma linha sólida com uma ponta de flecha apontando para o elemento generalizado. O elemento especializado é mostrado na cauda da linha, e herda as características estruturais e comportamentais do seu par generalizado (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.4, o caso de uso *Send command* é generalizado em dois sub-tipos, sendo que o *Send stored command* é um deles.

A fronteira do sistema, também denominada *subject*, representa o sistema que possui e realiza os casos de uso no diagrama. Sua notação é um retângulo que engloba os casos de uso. O nome do *subject*, mostrado na parte superior do retângulo, deve sempre ser uma frase nominal (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.4, a fronteira do sistema é DellSat-77 Satellite. Conforme a necessidade, o sistema pode ser decomposto em subsistemas ou mesmo componentes, e podem ser

gerados casos de uso para cada um. Então o nome da fronteira do sistema será, respectivamente, o nome do subsistema ou do componente (DELLIGATTI, 2014).

Existem duas notações para um ator: uma figura ou um retângulo com a palavra «actor» precedendo o nome (DELLIGATTI, 2014). Ambas podem ser usadas para qualquer tipo de ator, seja ele pessoa ou sistema, e são usadas na figura A2.4. Contudo, normalmente os modeladores convencionam o uso da notação de figura para representar uma pessoa e a do retângulo para representar um sistema (DELLIGATTI, 2014).

Também pode-se mostrar generalizações entre atores no diagrama de casos de uso, usando-se linhas sólidas com ponta de flecha na extremidade, seguindo-se a mesma lógica aplicada ao relacionamento entre casos, onde o ator generalizado é apontado pela ponta da flecha (DELLIGATTI, 2014).

As interações dos atores com o sistema, para acioná-lo ou participar dele, são representadas por ligações por meio de linhas sólidas entre o ator e o caso de uso.

Existem casos de uso denominados *base*, *incluídos* e *extendidos*. Um caso de uso “base” é qualquer que seja conectado a um ator primário via uma associação de relacionamento. Ele representa uma meta primária do ator. Um “incluído” é qualquer caso de uso que seja o *target* (objetivo) de um relacionamento incluso no sistema. A notação de relacionamento de inclusão é uma linha tracejada com uma ponta de flecha aberta na extremidade, apontando para o caso de uso base, e a palavra chave «include» fixada próxima dela (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.4 são demonstrados 4 casos base: *Generate electricity from solar panels*, *Execute Hohmann transfer*, *Point infrared sensor at target*, e *Get payload health and status*. *Send command* é um exemplo de caso incluído .

Nota-se que um relacionamento de inclusão não implica em dependência entre os casos. Assim a semântica de elementos “fornecedor e cliente” não se aplica aqui. O relacionamento de inclusão significa que o comportamento do caso de uso incluído é uma parte necessária do caso de uso base. Também observa-se que o relacionamento de inclusão não informa *onde* o comportamento incluso é executado dentro do caso de origem - início, meio ou fim. Apenas informa que é executado. Para determinar a sequência a qual o caso de uso pertence o leitor precisaria olhar

para a descrição informal em texto, o diagrama de atividades ou diagrama de sequência associados com o caso de uso (DELLIGATTI, 2014).

Um caso de uso estendido é aquele que se constitui a fonte de um relacionamento de extensão. A notação deste relacionamento é uma linha tracejada com uma ponta de flecha aberta, na extremidade, apontando para o caso de uso que está sendo estendido, com a palavra chave «extend» situada próxima a ela. Tal como o relacionamento de inclusão, o de extensão não implica em dependência entre os casos. Ele significa que quando o caso de uso apontado pela seta é acionado, sua extensão pode ser, opcionalmente, acionada também. Isso significa que o caso de uso base (apontado pela seta) é completo em si mesmo. (DELLIGATTI, 2014) Na figura A2.5 o *Switch to TDRS telemetry feed* é um exemplo de caso estendido.

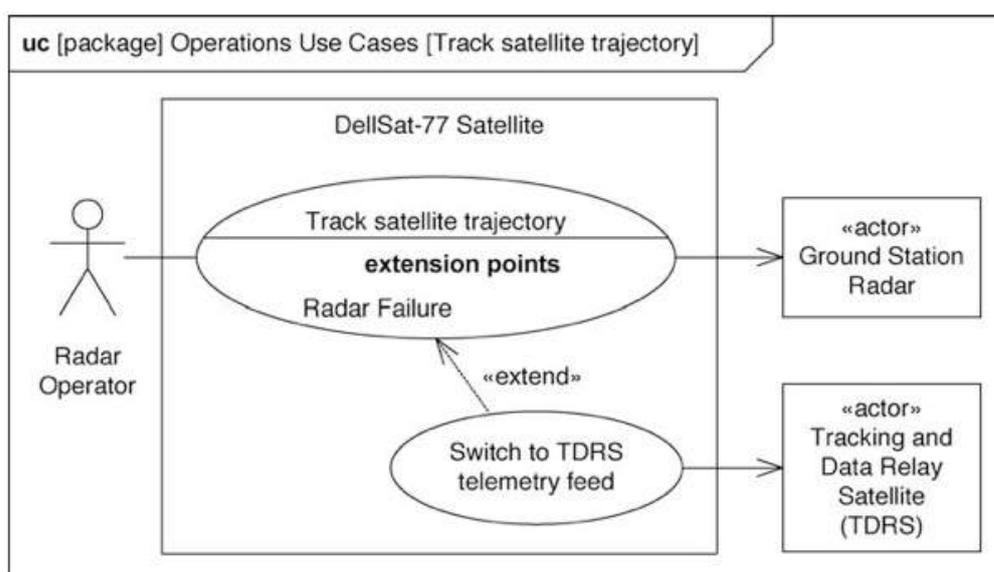


Figura A2.5 - Exemplo de um caso de uso estendido

Fonte: DELLIGATTI, (2014).

Cada vez que um operador de radar aciona o caso de uso *Track satellite trajectory*, o caso de uso *Switch to TDRS telemetry feed* pode ser (ou não) executado. A execução depende da condição para acionamento do caso estendido ser satisfeita. A condição pode ou não ser especificada em um comentário ancorado ao relacionamento de extensão (DELLIGATTI, 2014).

Delligatti (2014) sugere que os diagramas de caso de uso sejam construídos a partir de especificações de texto em linguagem informal, o que permite entender melhor o problema e conseqüentemente tornar os diagramas mais compreensíveis.

Diagrama de Sequência

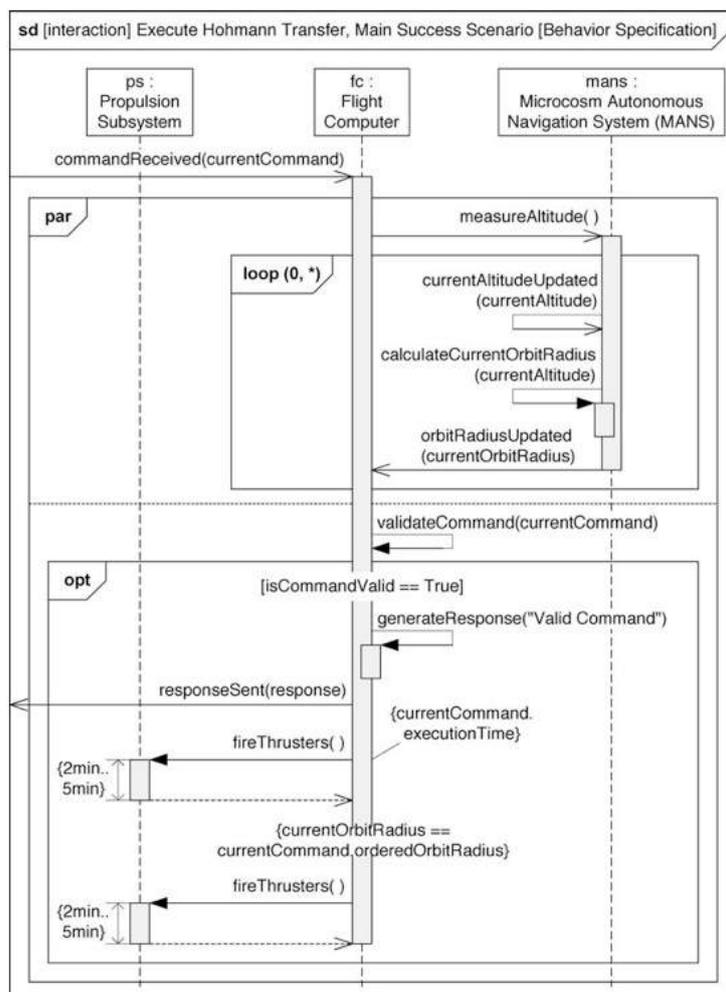
Um diagrama de sequência é um diagrama de comportamento dinâmico o qual mostra interações entre os objetos ou serviços realizados, por meio de sequências de mensagens trocadas, coordenadas com os eventos correspondentes. Seu propósito é especificar comportamentos dinâmicos do sistema como colaborações de troca de mensagens entre Blocos, que são as partes (SYSML, 2020). Ele informa a ordem na qual os comportamentos são realizados, qual estrutura realiza cada um e qual aciona cada comportamento. Pode ser criado para

especificar um comportamento em qualquer nível da hierarquia do sistema (DELLIGATTI, 2014).

Neste diagrama, *mensagens* representam comunicações de um objeto com o outro, com a expectativa de que seguir-se-á um comportamento útil. Sua notação é uma flecha. Podem *síncronas*, cuja notação é uma flecha aberta, ou *assíncronas*, com notação de uma flecha pintada de preto, em formato de um triângulo. Os objetos ou serviços em colaboração são representados pela notação de retângulos com uma linha tracejada vertical partindo deles para baixo (SYSML, 2020). As linhas são usadas para modelar os participantes no comportamento de um sistema, enquanto as mensagens entre as linhas modelam as interações entre os participantes (DELLIGATTI, 2014).

A abreviatura utilizada para um diagrama de sequência, na SysML, é *sd*. O único tipo de elemento permitido nele é *interação*. Uma interação é, em si mesma, um elemento modelado; como uma atividade, é uma espécie de comportamento. E é também um tipo de *nome-espaço*. Ela contém uma série de elementos nominados, como linhas, ocorrências de eventos e mensagens dentro da hierarquia do modelo. Estes elementos contidos podem aparecer dentro do quadro do diagrama de sequência associado (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.6 apresenta um exemplo de um diagrama de sequência.

Figura A2.6 - Exemplo de um diagrama de sequência



Fonte: DELLIGATTI, (2014).

O cabeçalho do diagrama informa que o seu quadro representa a interação denominada *Execute Hohmann Transfer, Main Success Scenario*, a qual é definida em outra parte do sistema modelado. Os elementos que aparecem dentro do quadro estão contidos nesta interação, dentro da hierarquia do modelo. O diagrama mostra o comportamento que ocorre quando o satélite recebe um comando válido de transferência (DELLIGATTI, 2014).

Na figura A2.6, cada linha vertical, denominada *lifeline* (corda de salvamento), é um elemento que representa um participante em uma interação, trocando mensagens com outro. A notação para a corda é um retângulo com uma linha tracejada atada a ele, descendo na direção vertical do diagrama. A linha tracejada representa o tempo de vida da propriedade daquela parte, com relação a sua participação na interação. O tempo avança no sentido descendente. Assim, um

evento que aparece na parte superior da linha ocorre antes de outro que ocorre na parte inferior da mesma (DELLIGATTI, 2014).

Embora apresente a dimensão temporal, um diagrama de sequência informa somente a passagem *relativa* do tempo entre dois eventos. A distância linear entre duas ocorrências de eventos em uma corda não tem significado. Apenas informa que uma acontece antes e outra depois (DELLIGATTI, 2014).

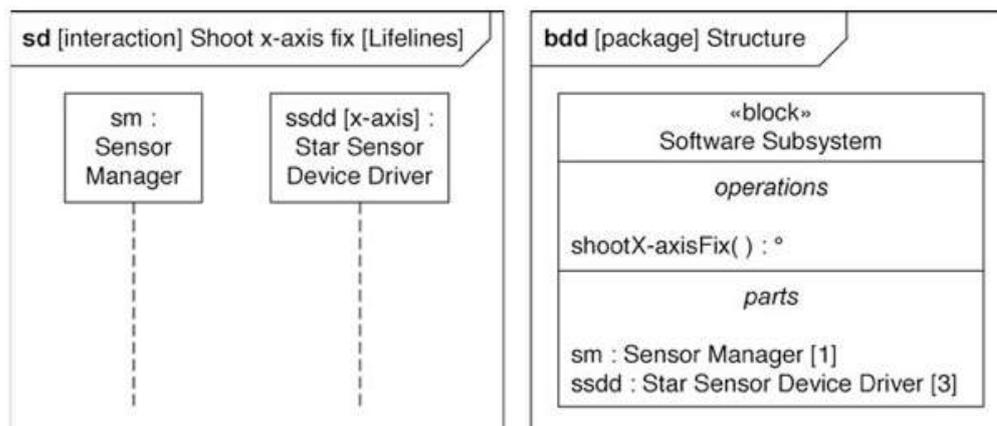
O retângulo é referido como a cabeça da corda. Ele contém o nome da corda que identifica a propriedade da parte que ela representa. Ele aparece no seguinte formato (DELLIGATTI, 2014):

`<part property name> [<selector expression>] : <type>`

O tipo da propriedade (*type*) da parte nominada é um bloco ou um ator projetado em outro lugar na hierarquia do modelo. O seletor de expressão (*selector expression*) é uma parte opcional do nome da corda. Quando mostrado, aparece entre colchetes, seguindo imediatamente ao nome da corda. Ele especifica uma instância particular que a corda representa (DELLIGATTI, 2014).

A figura A2.7 apresenta um diagrama de sequência associado a um diagrama de blocos, com o propósito de auxiliar o entendimento do significado do nome da propriedade da parte (*part property name*).

Figura A2.7 - Diagrama de sequência associado ao diagrama de blocos



Fonte: DELLIGATTI, (2014).

O diagrama de blocos a direita mostra que o bloco *Software Subsystem* possui uma propriedade de parte denominada *ssdd* do tipo *Star Sensor Device Driver*. O diagrama de sequência possui uma corda de mesmo nome, o que corresponde a mesma propriedade de parte. Esta corda especifica um seletor de expressão, *x-axis*, para o nome da instância particular *ssdd* a qual a corda representa nesta interação (DELLIGATTI, 2014).

Reitera-se que este seletor é opcional. Caso seja omitido, a corda representará uma instância escolhida arbitrariamente, significando que não importa qual é a instância que participa naquela interação (DELLIGATTI, 2014).

No diagrama, na medida em que se desce pelo conjunto de cordas lê-se uma sequência ordenada de ocorrência de eventos que forma a narrativa da interação. Seis tipos de ocorrências diferentes podem aparecer nas cordas: envio de mensagens, recebimento de mensagens, criação de cordas, destruição de cordas, ocorrências de início de execução de comportamento e de término de execução de comportamento (DELLIGATTI, 2014). As ocorrências que aparecem no diagrama elaborado neste trabalho serão aqui brevemente explicadas.

Uma mensagem representa uma comunicação entre uma corda emissora e outra receptora. Ela pode ser a invocação de um comportamento, uma resposta no final de um comportamento, a criação ou a destruição de uma corda. Na prática, pode representar uma chamada para uma operação, por exemplo. Sua notação é uma linha contínua (sólida) com uma ponta de flecha aberta, com sua cauda

conectada na corda emissora e a ponta de flecha aberta na receptora. Uma mensagem tem também um nome apostro sobre ela, o qual especifica seu nome, junto com conteúdos informacionais opcionais, como nomes de parâmetros, valores de argumentos e retorno. Na figura A2.6 a corda de nome *fc* envia a mensagem *measureAltitude* (medir altitude) para a corda *mans*. A ocorrência de envio da mensagem é representada pelo ponto de interseção da corda *fc* com a cauda da linha da mensagem *measureAltitude*. Similarmente a ocorrência do recebimento da mensagem é representada pelo ponto de interseção da ponta de flecha aberta com a corda *mans* (DELLIGATTI, 2014).

Frequentemente as linhas emissora e receptora são distintas. Contudo é possível representar uma linha como sendo ao mesmo tempo emissora e receptora. Isso representaria que uma corda envia comunicação para si mesma (por exemplo, para invocar um comportamento interno) ou que a corda é uma representação na forma de “caixa preta” de uma entidade composta de partes internas (DELLIGATTI, 2014).

A SysML possui seis tipos de mensagens que aparecem em interações: mensagens assíncronas, síncronas, de resposta, de criação, mensagens achadas e perdidas. Cada uma tem sua notação distintiva e serve para um único propósito no contexto de uma interação maior (DELLIGATTI, 2014). Serão explicados, a seguir, os tipos usados no diagrama desta tese.

Uma mensagem síncrona representa uma comunicação entre uma corda emissora e outra receptora onde o emissor espera o receptor finalizar a execução do comportamento invocado e envia uma mensagem de resposta antes de o emissor prosseguir sua própria execução. Sua notação é uma linha sólida com uma ponta de flecha pintada (preenchida), desenhada no sentido da corda emissora para a receptora. Acima dela deve haver uma etiqueta com o nome da mensagem, o qual tem que corresponder ao nome de uma operação possuída pela corda receptora. Opcionalmente, pode-se incluir uma lista de argumentos de entrada, no formato a seguir (DELLIGATTI, 2014):

<message name> (<input argument list>)

Quando a lista de argumentos não é informada, coloca-se o parêntese vazio após o nome da mensagem (DELLIGATTI, 2014).

A mensagem de resposta representa uma comunicação que marca o fim de um comportamento síncrono invocado. Sempre é enviada a partir da corda que realizou o comportamento para aquela que o invocou via uma mensagem síncrona. Sua notação é uma linha tracejada com uma ponta de flecha aberta. Opcionalmente pode-se apôr uma etiqueta sobre a mensagem de resposta, com o formato que se segue (DELLIGATTI, 2014):

$$\begin{aligned} &<assignment\ target> = <message\ name> \\ &(<output\ argument\ list>) : <value\ specification> \end{aligned}$$

O nome da mensagem deve corresponder ao da correspondente mensagem síncrona, o qual é também o nome da operação que foi invocada pela mensagem síncrona. A especificação de valor após os dois pontos representa o valor de retorno do comportamento cuja execução foi finalizada. Ela estará presente somente se a operação que foi invocada possuir um tipo de resposta declarada (DELLIGATTI, 2014).

A informação *assignment target* é opcional. Se mostrada, significa o nome da propriedade, possuída pela corda que enviou a mensagem, que assume o valor de retorno. Na prática, os modeladores frequentemente omitem esta informação (DELLIGATTI, 2014).

Argumentos de saída (output argument) também são opcionais. Caso apresentados, devem aparecer em uma lista separada por vírgulas, cada um seguindo o formato (DELLIGATTI, 2014):

$$<output\ parameter\ name> : <value\ specification>$$

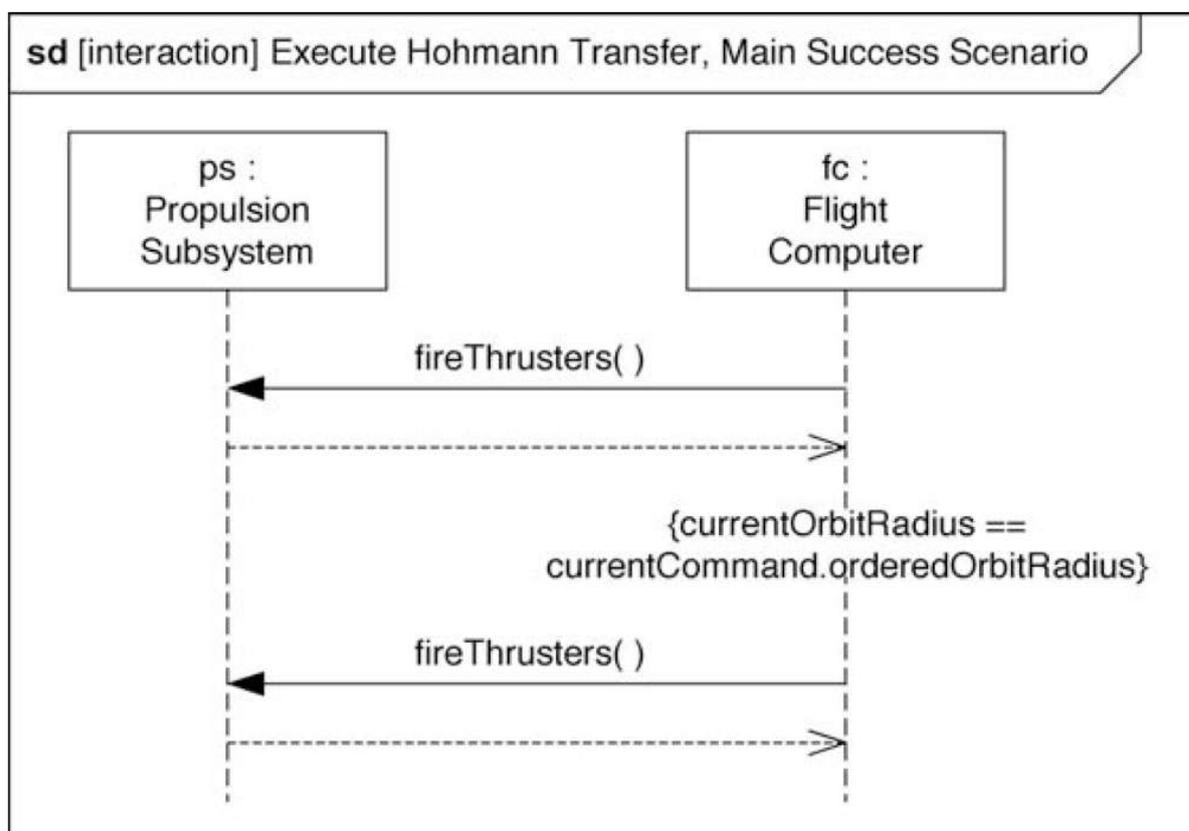
O nome de parâmetro é opcional. Se mostrado, deve corresponder ao nome de um parâmetro de saída da operação que foi invocada. Os modeladores também omitem, frequentemente, esta informação, e simplesmente mostram a especificação

do valor que está sendo retornado para o originador da chamada como uma saída da operação que foi invocada (acionada) (DELLIGATTI, 2014).

Nota-se que mostrar mensagens de retorno é opcional dentro do diagrama, ficando a escolha a critério do modelador, considerando a complexidade do sistema e os objetivos do mesmo ao construí-lo (DELLIGATTI, 2014).

A figura A2.8 apresenta um modelo de interação contendo mensagens síncronas de envio e suas correspondentes mensagens de resposta.

Figura A2.8 - Modelo de interação contendo mensagens síncronas



Fonte: DELLIGATTI, (2014).

As mensagens representadas contém dois chamados distintos para a operação *fireThrusters*, onde *fc* envia a primeira mensagem síncrona para *ps*. Após recebê-la, *ps* inicia executando o comportamento associado com a operação. A corda *fc* deve esperar pelo término da execução e pela mensagem que *ps* enviará de volta, marcando a finalização da execução antes de continuar com sua própria execução e enviar uma segunda mensagem de *fireThrusters*, em um tempo futuro (DELLIGATTI, 2014).

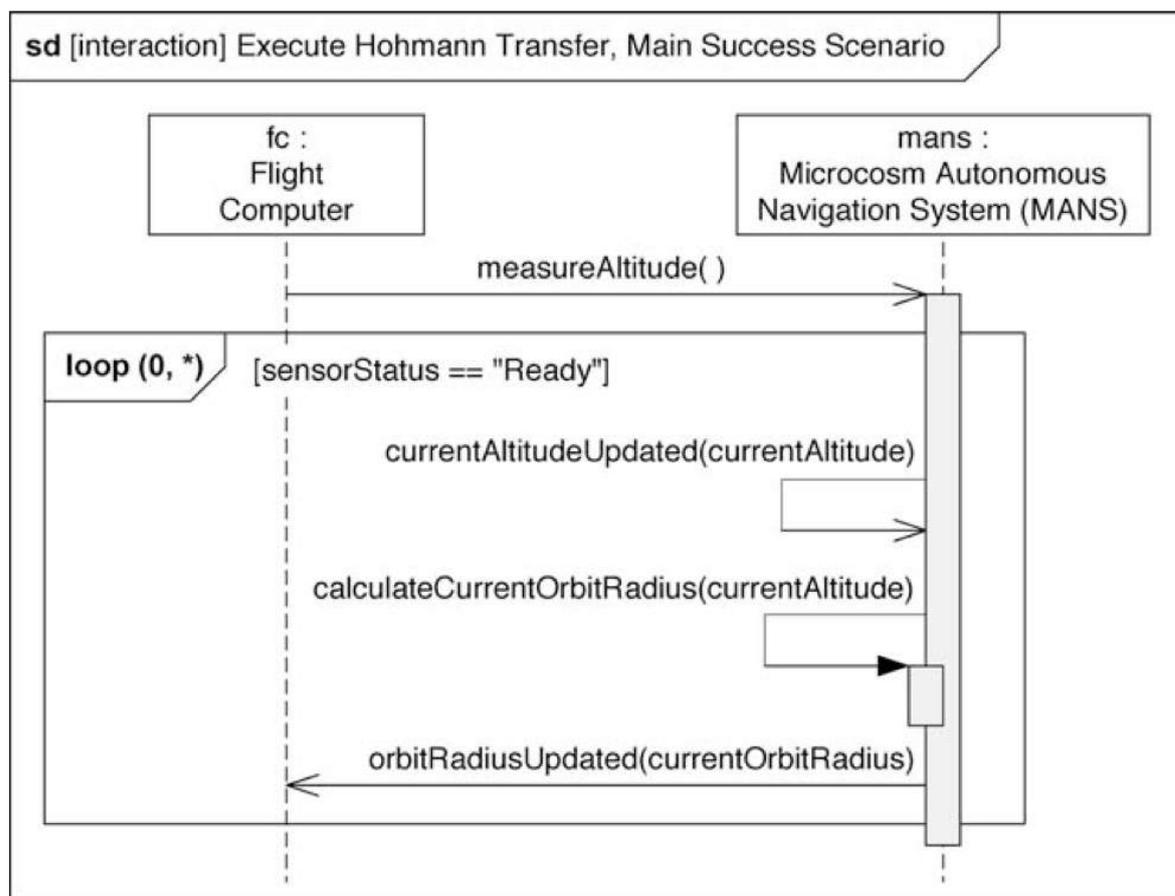
Adicionalmente às mensagens, a SysML oferece mecanismos que permitem ao modelador adicionar controle lógico, como decisões, voltas e comportamentos paralelos a uma interação, denominados fragmentos combinados. O modelador especifica o tipo de controle lógico utilizando operadores de interação. A SysML define 11 operadores de interação, sendo que os quatro são mais frequentemente utilizados: *opt*, *alt*, *loop*, and *par* (DELLIGATTI, 2014).

Um fragmento combinado com um operador de interação tipo *loop* (volta) representa um conjunto de ocorrências de eventos que podem acontecer múltiplas vezes durante uma única execução de uma interação. Pode-se especificar um número mínimo ou máximo de voltas entre parênteses imediatamente a direita do operador de interação *loop*. A faixa é especificada no formato a seguir (DELLIGATTI, 2014):

(<min.>, <max.>)

Se ambos valores são iguais, pode-se simplesmente mostrar um único número como uma forma abreviada. Note-se que este range não especifica quantas iterações ocorrerão durante uma única execução de uma interação; apenas diz quantas podem vir a ocorrer. Para especificar que qualquer número de iterações seria válido, pode-se definir como parâmetros (0,*), onde o asterisco significa “sem limite superior”. Se nada for especificado a direita do operador, compreende-se que adotou-se (0,*) como sendo o padrão. A figura A2.9 mostra um exemplo do operador *loop* no diagrama de sequência (DELLIGATTI, 2014).

Figura A2.9 - Exemplo do uso do operador loop em um diagrama de sequência



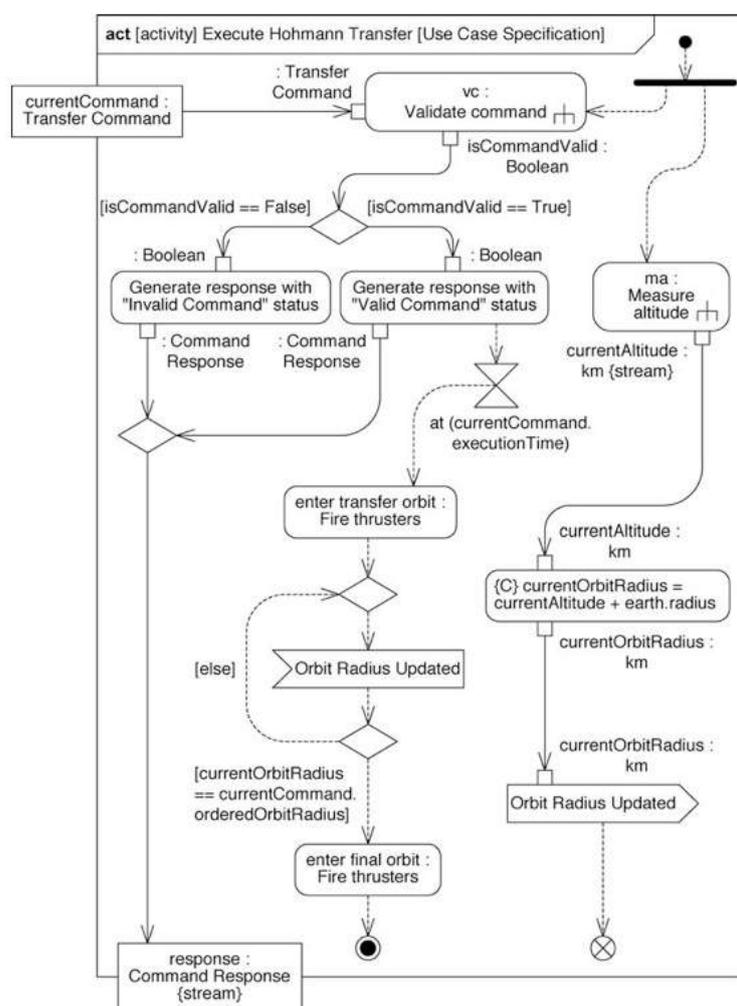
Fonte: DELLIGATTI, (2014).

Na figura A2.9 os fragmentos combinados encapsulam ocorrências de envio e recebimento, bem como o início e o término da ocorrência de execução do comportamento das operações *calculateCurrentOrbitRadius(currentAltitude)* e *currentAltitudeUpdated(currentAltitude)*. A sequência de ocorrências pode ocorrer qualquer número de vezes durante uma única execução da interação de *Execute Hohmann Transfer, Main Success Scenario*. O *loop* terminará no momento em que a condição *sensorStatus == "Ready"* se tornar falsa (DELLIGATTI, 2014).

Diagrama de Atividades

O diagrama tem o foco em informar *como* os objetos podem ser acessados e modificados em uma execução de comportamento durante a operação do sistema. Ele viabiliza a apresentação de controles lógicos complexos em uma forma de fácil leitura e é o único dentre os diagramas da SysML capaz de expressar comportamentos contínuos de sistemas (DELLIGATTI, 2014). Contudo, possui a desvantagem de apresentar moderada ambiguidade. Enquanto pode expressar o ordenamento das ações executadas e a estrutura que as realiza, não provê meios de informar qual estrutura solicita cada ação. Por esta razão, os diagramas de atividade não são utilizados para o projeto detalhado do sistema, visando sua implementação (DELLIGATTI, 2014).

A abreviatura usada para o diagrama de atividades é *act*. O único tipo de elemento modelado permitido para o diagrama é *atividade*. Cada atividade corresponde a um elemento, e é uma espécie de comportamento, a qual corresponde a um nome-espaco, como um pacote. Ela pode conter um conjunto de elementos nominados - nós e bordas - dentro da hierarquia do modelo, que podem ser mostrados dentro do quadro. O quadro do diagrama sempre representa uma única atividade definida em outro lugar no sistema modelado (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.10 apresenta um exemplo de um diagrama de atividades.



Fonte: Delligatti, (2014).

O cabeçalho mostra que o diagrama representa a atividade nominada *Execute Hohmann Transfer*, a qual existe em algum outro lugar na hierarquia do modelo. O nome do diagrama é *Use Case Specification*, e representa o seu propósito: servir como uma especificação gráfica do caso de uso de mesmo nome (DELLIGATTI, 2014).

Cabe ressaltar que, embora os diagramas de atividades possam ser associados aos diagramas de casos de uso, na hierarquia do modelo, isso não constitui-se uma exigência da linguagem SysML. Compete ao modelador organizar a hierarquia e a apresentação dos diagramas de modo a melhor servir o propósito ideado para os mesmos (projeto, representação, etc.) (DELLIGATTI, 2014).

Os diagramas são compostos de uma variedade de símbolos, os quais representam e especificam ações e o fluxo de elementos entre elas. Eles se dividem, basicamente, em ações, objetos e pinos, e serão explicados a seguir (DELLIGATTI, 2014).

Uma ação representa uma forma de processamento ou transformação que ocorrerá quando a atividade for executada durante a operação do sistema. A notação de uma ação básica é um retângulo com as pontas arredondadas. Possui uma descrição, a qual pode apresentar qualquer comportamento definido, e deve ser mostrada como uma corda (nome) dentro do retângulo. Comumente os modeladores as descrevem como frases verbais expressas em linguagem natural. Opcionalmente, pode-se usar linguagens formais de programação, o que a SysML denominaria de “expressão opaca”. A expressão opaca tem duas partes: uma linguagem e um corpo. A linguagem é especificada em colchetes, e precede o corpo. No diagrama da figura A2.10, o retângulo contendo a descrição *Generate Response with (Invalid) Comand Status* corresponde a uma ação (DELLIGATTI, 2014).

Um diagrama de atividades sempre contém mais de uma ação. As ações são conectadas por meio de bordas que definem sequências ordenadas. Estas sequências informam a narrativa da atividade como um todo. O diagrama também pode apresentar o fluxo de objetos - as entradas e as saídas das ações e da atividade como um todo (DELLIGATTI, 2014).

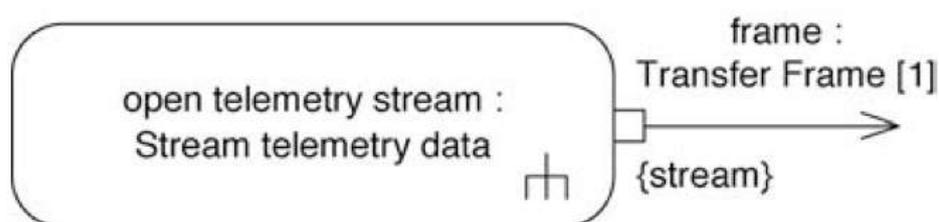
Além da forma básica, existem quatro tipos de ações especializadas na SysML: ações de chamada de comportamento, de envio de sinal, de aceitação e de espera de tempo.

A ação de chamada de comportamento invoca outro comportamento quando é executada. Ela permite decompor um comportamento de alto nível em um conjunto de outros de mais baixo nível. Pode chamar um comportamento de interação, de estado de máquina ou outra atividade (DELLIGATTI, 2014). Sua notação é igual a da ação básica, com uma alteração na corda que a nomina, apresentando o nome da ação e o comportamento que ela invoca, no seguinte formato:

<action name> : <Behavior Name>

O nome da ação é definido pelo modelador. O nome do comportamento deve coincidir com o da interação, estado de máquina ou atividade definidos em outro lugar na hierarquia do modelo (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.11 apresenta um exemplo de ação de chamada de comportamento.

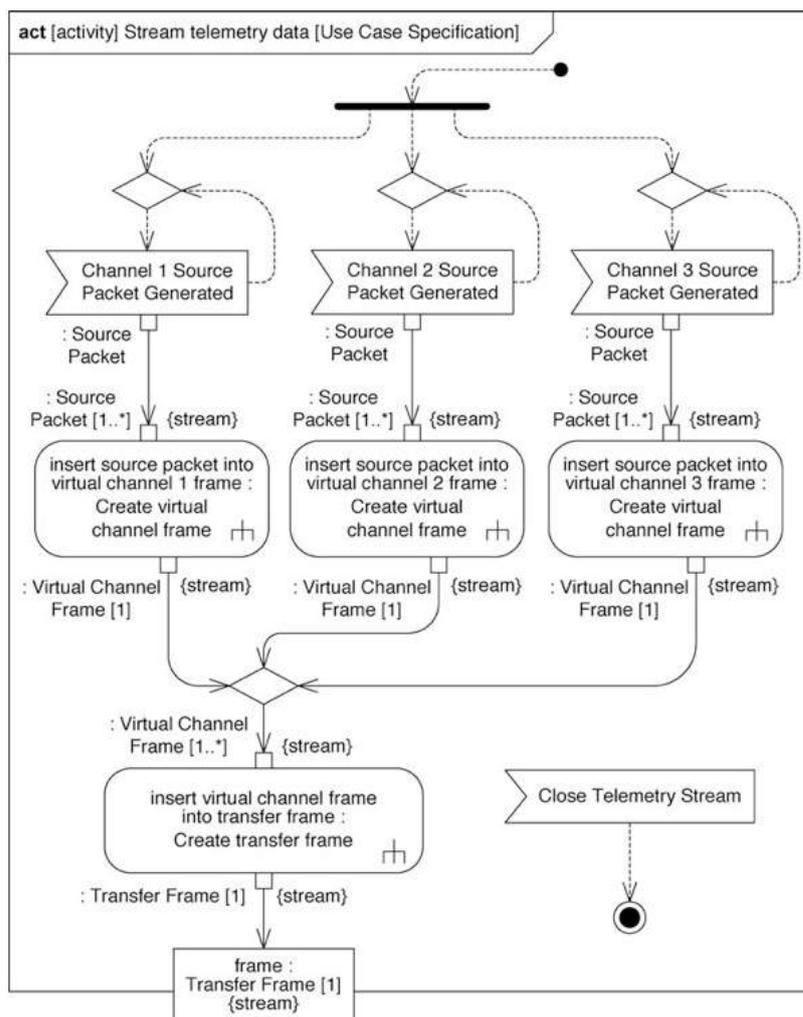
Figura A2.11 - Exemplo de ação de chamada de comportamento



Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.11, a ação denominada *open telemetry stream* invoca o comportamento *Stream telemetry data*. O símbolo de um ancinho no canto inferior direito do retângulo demonstra que o comportamento invocado é uma atividade. Quando uma ação de chamada de comportamento invoca outra atividade, os pinos do comportamento de chamada devem coincidir com os parâmetros da atividade chamada (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.12 mostra a definição da atividade *Stream telemetry data*, cuja saída coincide com o pino de saída mostrado na figura A2.11, denominado *frame: Transfer Frame [1] {stream}*.

Figura A2.12 - Definição da atividade *Stream telemetry data*

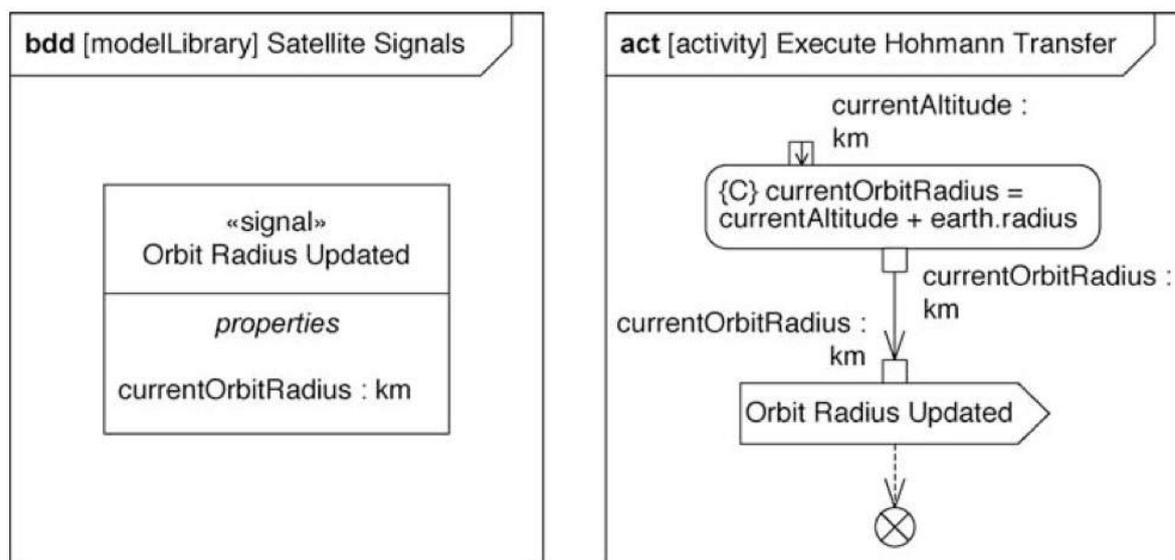


Fonte: Delligatti, (2014).

A ação de chamada de comportamento permite representar melhor a hierarquia do modelo sem poluir os diagramas (DELLIGATTI, 2014).

A SysML também disponibiliza uma forma de representar mecanismos assíncronos para transferir matéria, energia ou dados e para sincronizar as ações de partes que operam em paralelo. Ela o faz através de ações de envio de sinal e de aceitação de evento. Uma ação de envio de sinal, quando habilitada, gera e envia uma instância de sinal para um target. Sua notação é semelhante a uma placa de sinalização (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.13, *Orbit Radius Updated* é um exemplo de ação de envio de sinal.

Figura A2.13 - Exemplo de ação de envio de sinal

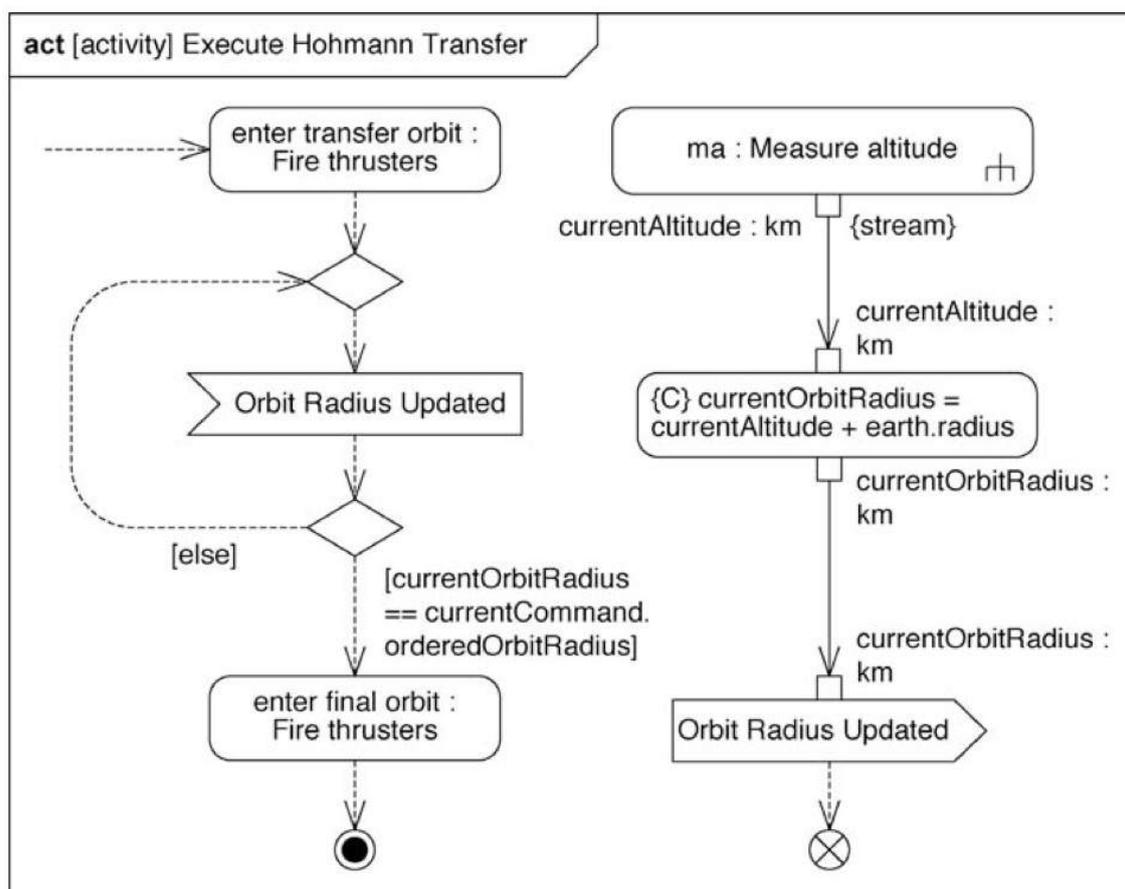


Fonte: Delligatti, (2014).

Um sinal pode ter propriedades que representam os dados carregados pelo sinal. Na figura A2.13 o sinal *Orbit Radius Updated* tem uma propriedade, *currentOrbit-Radius*, do tipo *km*. Quando a ação de envio de sinal é acionada, ela envia uma instância do sinal *Orbit Radius Updated*, o qual carrega o valor *currentOrbitRadius* até a próxima ação. O envio de sinal ocorre de forma assíncrona, ou seja, é realizado cada vez que ação é acionada, independentemente do andamento da execução das demais ações da atividade (DELLIGATTI, 2014).

A ação que recebe o sinal enviado é denominada ação de aceitação de evento, e representa que esta atividade será iniciada apenas quando receber a instância de sinal. Sua notação é um retângulo com um corte triangular (para dentro do mesmo) na extremidade esquerda. A corda mostrada dentro da ação geralmente coincide com o nome do sinal definido em outro lugar na hierarquia do modelo. Assim, demonstra-se que a ação de aceitação de evento espera pela chegada de uma instância daquele sinal. Quando isso ocorre, a ação é executada e a atividade prossegue. A ação de aceitação de evento pode ou não aparecer na mesma atividade onde se encontra a ação de envio de sinal (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.14, vê-se que ação de aceitação de evento *Orbit Radius Updated* é acionada quando recebe o sinal da ação *Orbit Radius Updated*.

Figura A2.14 - Exemplo do uso de uma ação de aceitação de evento



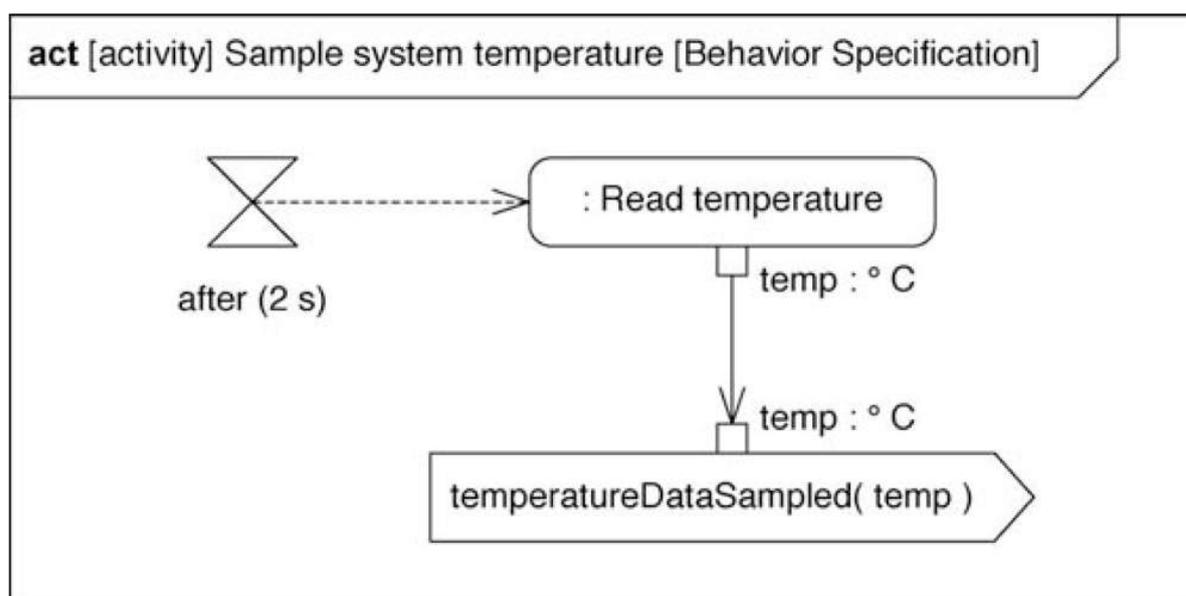
Fonte: Delligatti, (2014).

O diagrama da figura A2.14 é um exemplo do uso de ação de envio de sinal conjugada com ação de aceitação de evento numa mesma atividade. Adicionalmente, ações de aceitação de eventos podem não ter nenhuma borda de entrada. Neste caso, são habilitadas no momento em que a atividade começa a ser executada (DELLIGATTI, 2014).

Uma ação de aceitação de evento que espera pela ocorrência de um evento de tempo é denominada uma ação de espera de tempo. Sua notação é um símbolo estilizado de relógio de areia com uma expressão de tempo sob ele. As notações e os tipos de eventos são as únicas diferenças entre as ações de espera de tempo e outras ações de aceitação de eventos. No mais, as primeiras possuem as mesmas características das últimas (DELLIGATTI, 2014).

A expressão embaixo do relógio de areia pode especificar tanto um evento de tempo absoluto quanto relativo. Um evento de tempo absoluto começa com a palavra chave *at*. Já uma expressão de evento de tempo relativo começa com a palavra chave *after* (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.15 mostra um exemplo do uso de uma ação de espera de tempo.

Figura A2.15 - Exemplo de uso de uma ação de espera de tempo



Fonte: Delligatti, (2014).

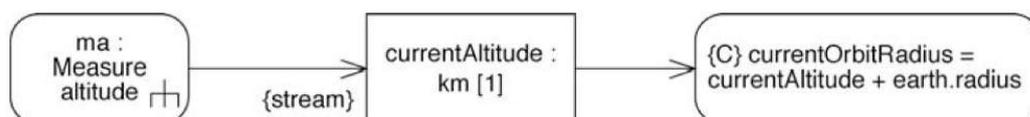
Na figura A2.15, a ação de espera de tempo é acionada quando a anterior é completada. O símbolo expressa que deve-se esperar atingir-se o tempo de 2 segundos para que a ação *Read temperature* seja acionada.

No diagrama, as ações podem ser interligadas por nós de objeto, os quais modelam o fluxo de matéria, energia ou dados dentro de uma atividade. Frequentemente os nós são usados para representar que a segunda ação usa como entrada a saída que a primeira produz. Sua notação é um retângulo (DELLIGATTI, 2014). A corda de um nó de objeto tem o formato:

<object node name> : <type> [<multiplicity>]

O nome do nó é definido pelo modelador. O tipo deve coincidir com o nome de um bloco, sinal ou espécie de valor definido em outro lugar na hierarquia do modelo, e especifica a natureza do conteúdo que atravessa o nó. A multiplicidade especifica quantos conteúdos podem estar num nó em um dado momento durante a execução da atividade. Se não apresentada na corda, seu valor padrão é assumido como 1, que significa que um conteúdo apenas passa pelo nó num dado instante (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.16 mostra um exemplo de um nó de objeto denominado *currentAltitude*.

Figura A2.16 - Exemplo de nó de objeto entre duas ações



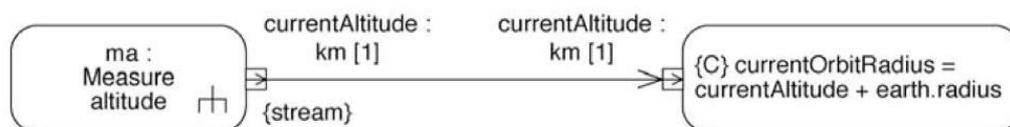
Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.16, o nó contém informações do tipo de valor *km*. A multiplicidade mostrada ao final da corda demonstra que a primeira ação produzirá exatamente um valor de saída, e a segunda ação requer exatamente um valor como entrada.

Um nó de objeto pode, opcionalmente, apresentar compartimentos para representar as propriedades internas do conteúdo que por ele flui, quando este não contiver tipos de valores primitivos (DELLIGATTI, 2014).

Uma forma especializada de nó de objeto é o pino. Ele é atado a uma ação para representar uma entrada ou saída da ação. Sua notação é um quadrado pequeno atado à borda externa de uma ação. Opcionalmente, pode-se mostrar uma flecha dentro do quadrado para especificar se o pino representa uma entrada ou saída. O formato da sua corda nominal é o mesmo daquele do nó de objeto, mas neste caso ela deve ficar próxima do pino (não dentro dele) (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.17 mostra o exemplo de um pino atado a uma ação.

Figura A2.17 - Exemplo de um pino atado a uma ação

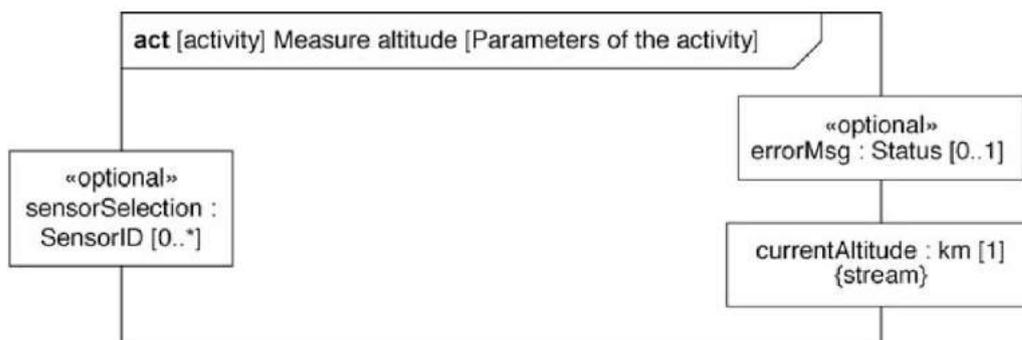


Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.17, ambos os pinos tem multiplicidade 1. Os pinos possuem o mesmo significado que os nós de objeto, porém permitem tornar os diagramas muito menores. Consistem-se em notações alternativas que podem ser escolhidas caso a caso pelo modelador (DELLIGATTI, 2014).

Outro nó de objeto especializado é o parâmetro de atividade. Ele é atado ao quadro de um diagrama de atividade para representar uma entrada ou saída da atividade como um todo. Sua notação é um retângulo estendendo-se para fora do quadro. O formato da corda do seu nome é o mesmo previsto para o nó de objeto e o pino. A SysML não determina o local onde o parâmetro de atividade deva ser colocado no quadro do diagrama. Entretanto os modeladores comumente posicionam os parâmetros de entrada nas partes superior ou esquerda do quadro e os de saída nas faces inferior ou direita. Em realidade, a única forma definida de mostrar a diferença é a direção da borda na qual o parâmetro de atividade é atado (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.18 mostra um exemplo de uso de parâmetros de atividade.

Figura A2.18 - Exemplo de uso de parâmetros de atividade



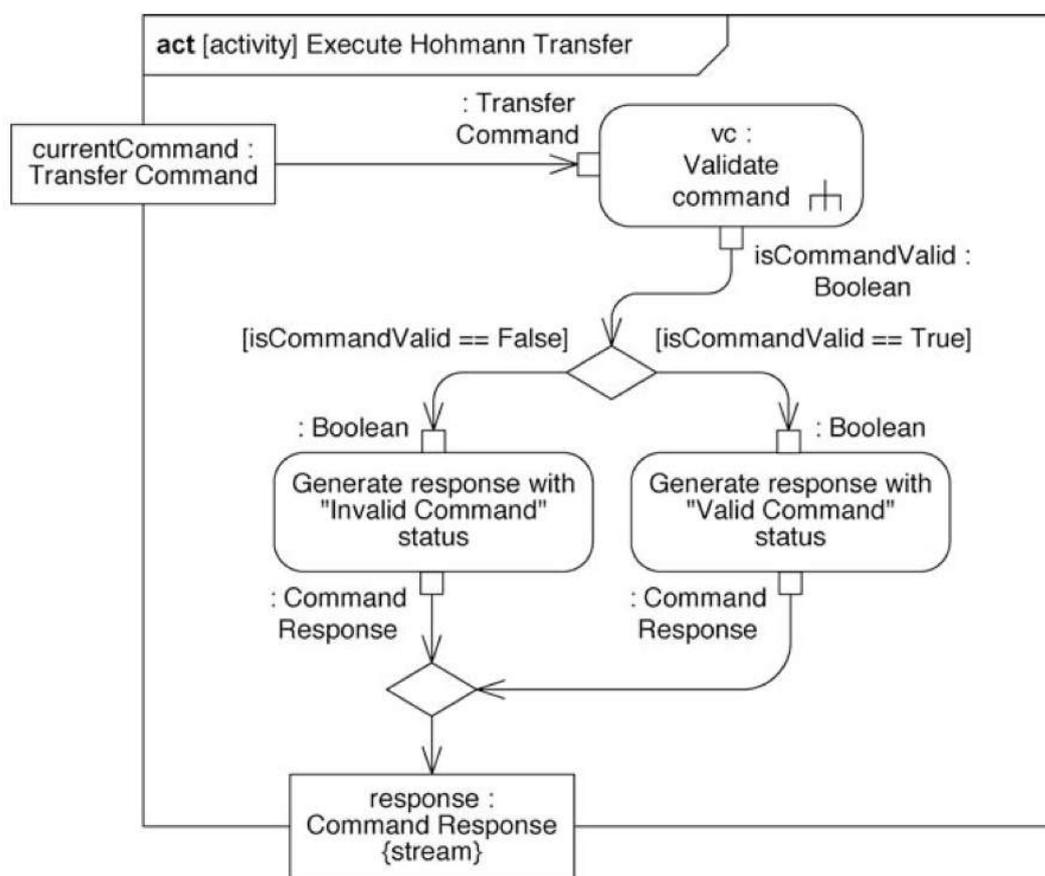
Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.18, a atividade *Measure altitude* possui como parâmetro de entrada *sensorSelection* e como parâmetros de saída *errorMsg* e *currentAltitude*.

Além do uso do nós, pode-se conectar ações dos diagramas por meio de linhas. Elas podem representar fluxo de objetos ou de controle. Linhas de objeto são utilizadas para representar fluxos de matéria, energia ou dados através de uma atividade, de um nó para outro, enquanto a atividade é executada no fluxo de operação do sistema. Sua notação é uma linha sólida com uma ponta de flecha aberta na extremidade (DELLIGATTI, 2014).

Usualmente, as linhas de fluxo conectam nós e pinos no diagrama. Contudo, podem também conectar nós de mescla, nós tipo garfo ou de junção ao final de um fluxo (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.19 mostra 7 exemplos de linhas de fluxo.

Figura A2.19 - Exemplo do uso de linhas de fluxo

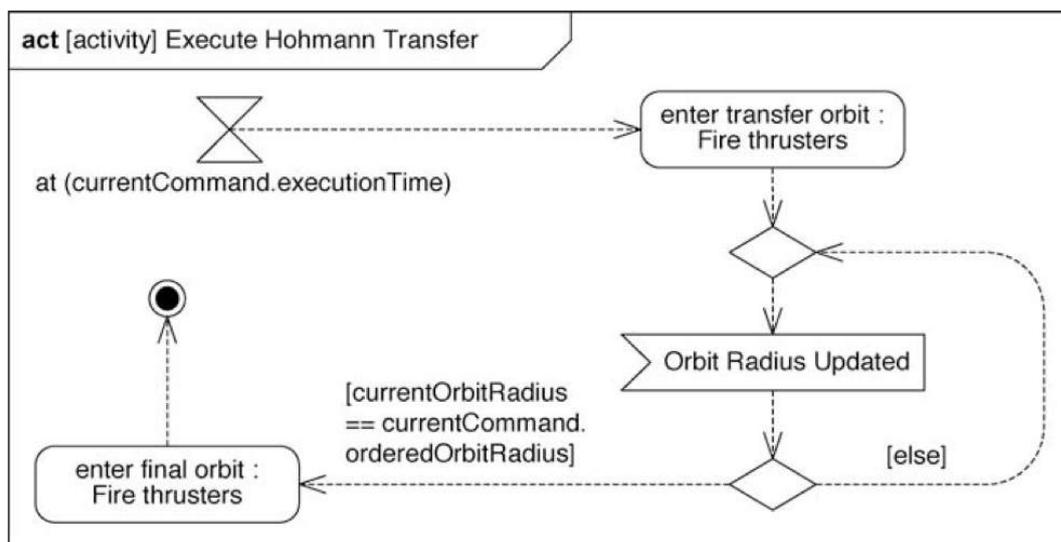


Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.19, as linhas de fluxo mostram que as ações desta atividade requerem objetos como entradas e produzem objetos como saídas. Deve-se garantir que os nós de saída ao final de um fluxo de objeto tenham tipos compatíveis. Um objeto produzido como saída em uma cauda deve ser aceitável como entrada na ação apontada pelo final da flecha (DELLIGATTI, 2014).

As ações também podem ser ligadas por controles de fluxo. A chegada do fluxo em uma ação habilita a sua realização. Por isso os controles de fluxo são usados para sequenciar restrições ao longo de um conjunto de ações quando o fluxo de objetos dentro da atividade não demonstra por si mesmo a sequência que se quer representar. A SysML permite dois tipos diferentes de notações para um fluxo de controle: uma linha tracejada com uma ponta de flecha aberta ou uma linha sólida com uma ponta de flecha aberta (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.20 apresenta um exemplo do uso de controles de fluxo.

Figura A2.20 - Exemplo de uso de controles de fluxo



Fonte:

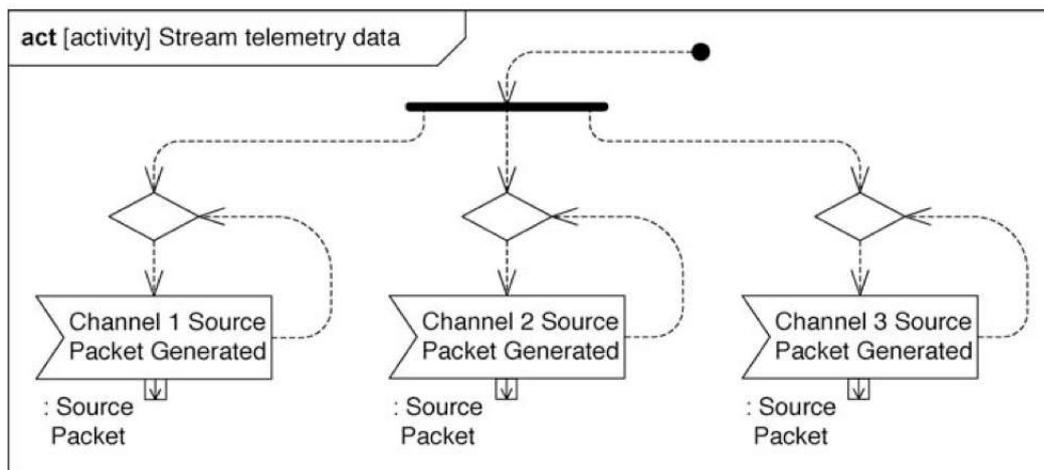
Delligatti, (2014).

A figura A2.20 mostra sete exemplos de controles de fluxo, os quais conectam os nós na atividade para definir uma sequência ordenada entre eles. Quatro dos nós são ações. Quando uma ação é completada, a próxima ação da sequência pode ser realizada.

Existem três classes de nós que podem existir no diagrama: ações, objetos e nós de controle. Os nós de controle são usados para dirigir a execução de uma atividade em caminhos diferentes de uma simples sequência de ações. Nós de controle podem dirigir tanto o controle de fluxos de objeto quanto o controle dentro de uma atividade. Há sete tipos de nós de controle: iniciais, de fim de atividade, de fim de fluxo, de decisão, de mescla, garfos e nós de junção. Pode-se usar combinações dos mesmos para representar controles lógicos complexos dentro da atividade, de modo a satisfazer os requisitos funcionais (DELLIGATTI, 2014).

O nó inicial marca o ponto de começo da atividade. Sua notação é um círculo pequeno, preenchido, e normalmente possui somente um controle de fluxo de saída (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.21 apresenta um exemplo de uso de nó inicial.

Figura A2.21 - Exemplo de uso de nó inicial

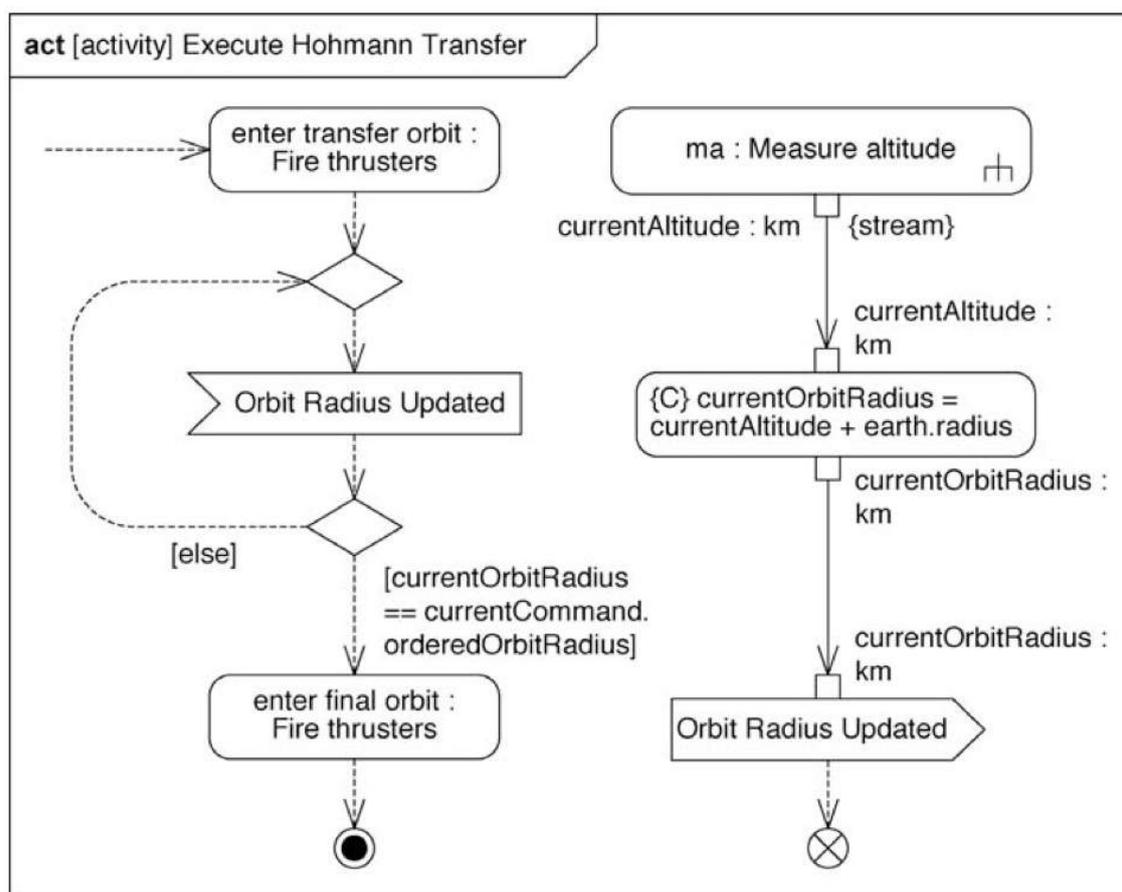


Fonte: Delligatti, (2014).

Uma atividade não precisa, necessariamente, ter um nó inicial. O fluxo pode se iniciar por uma ação. É também possível que o fluxo se inicie a partir de parâmetros de atividade colocados no quadro de um diagrama de atividades. Em tais casos, não é necessário um nó inicial na atividade (DELLIGATTI, 2014).

Nós de fim de fluxo e de fim de atividade marcam o fim da execução. A diferença entre ambos é que enquanto os nós de fim de fluxo sinalizam o fim da execução de um único controle de fluxo, o de fim de fluxo de atividade marca o fim de todos os controles de fluxo, mesmo os que eventualmente estiverem em execução. A notação para um nós de fim de fluxo é um círculo contendo um "X". Para um nó de fim de atividade a notação é um círculo contendo outro círculo menor, preenchido (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.22 apresenta um exemplo de uso de ambos.

Figura A2.22 - Exemplo de uso de nós de fim de fluxo e de fim de atividade

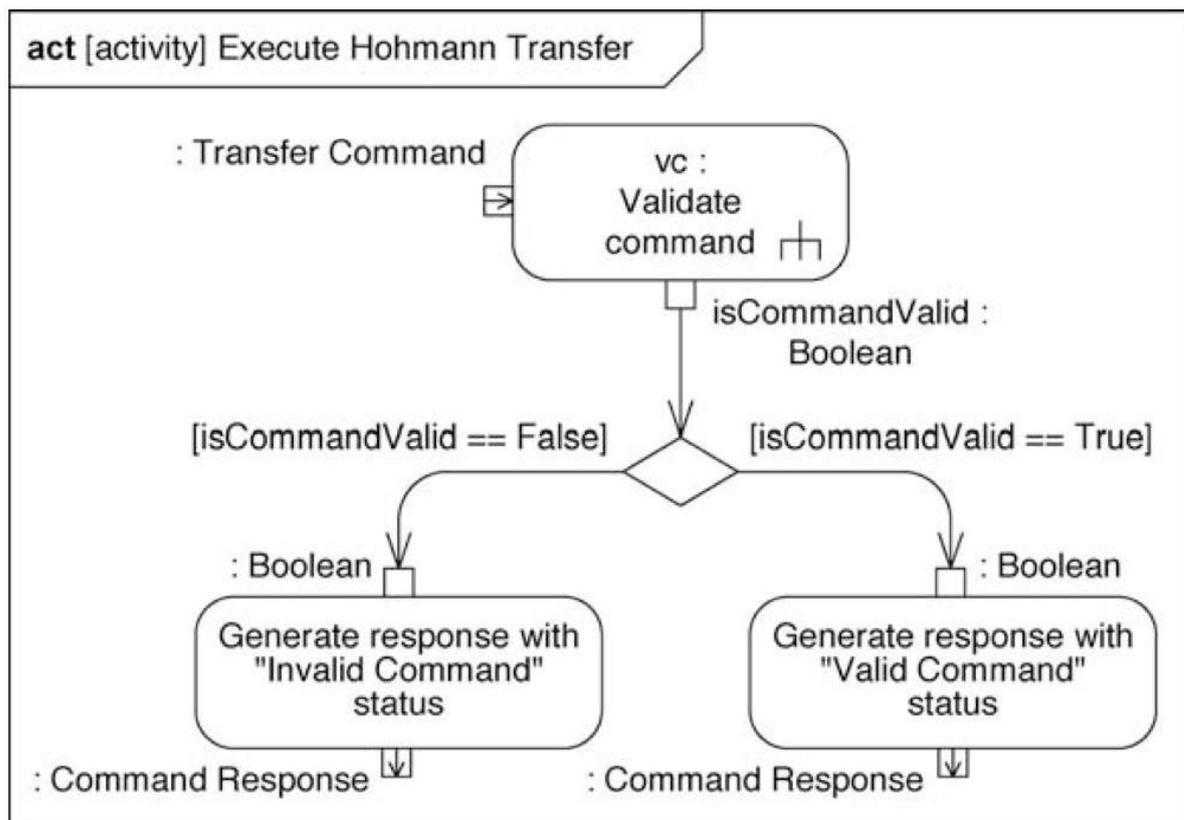


Fonte: Delligatti, (2014).

As duas seqüências de ações mostradas na figura A2.22 são executadas em paralelo. A ação *ma* envia continuamente sinais pelo seu pino de saída. As duas ações subsequentes podem, portanto, ser executadas múltiplas vezes. Cada vez que a ação de envio de sinal é completada a seqüência de ações subsequentes é executada e então finalizada. Nenhuma outra ação da atividade é afetada. Por outro lado, o símbolo de fim de atividade conectado a ação *Fire thrusters* mostra que, após a sua execução, a atividade é finalizada (DELLIGATTI, 2014).

A SysML prevê também nós de decisão, os quais permitem iniciar seqüências alternativas em uma atividade. A notação é um diamante vazio (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.23 mostra um exemplo de uso de nó de decisão.

Figura A2.23 - Exemplo de uso de nó de decisão

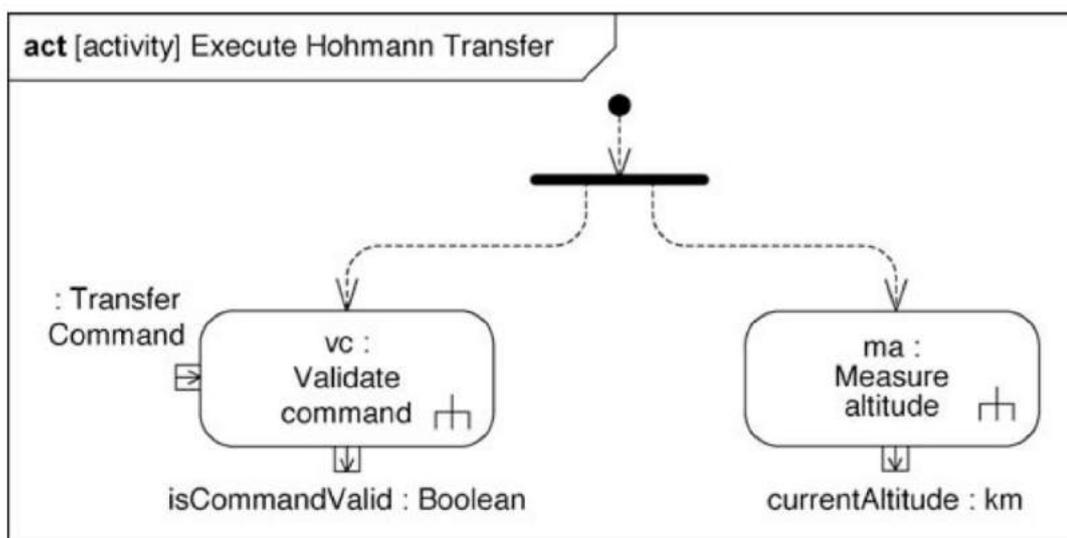


Fonte: Delligatti, (2014).

Um nó de decisão pode ter somente uma única entrada e geralmente tem duas ou mais saídas. Cada saída é etiquetada com uma expressão booleana denominada guarda, a qual é mostrada como uma corda entre colchetes (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.23, *[isCommandValid == False]* é uma etiqueta de saída. Quando a execução da atividade chegar no nó, avançará para a saída cujo resultado for verdadeiro.

Os nós de junção marcam o início ou o fim de sequências de ações concomitantes em uma atividade. Sua notação é uma linha (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.24 apresenta um exemplo de uso de nó de junção.

Figura A2.24 - Exemplo de uso de nó de junção



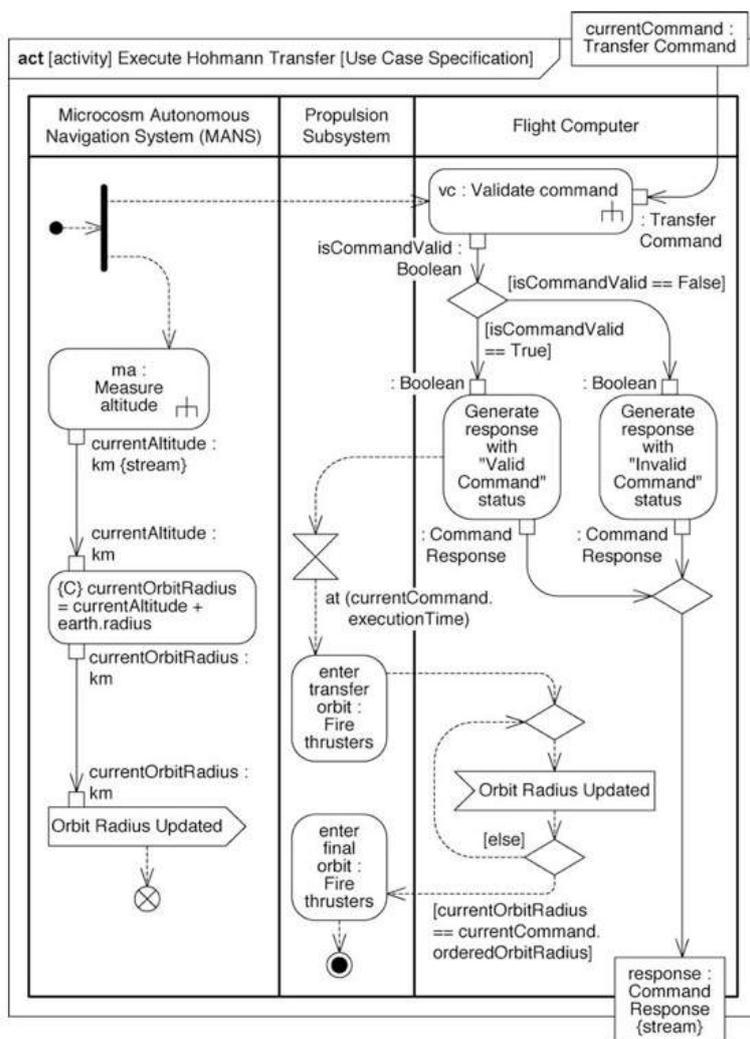
Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.24 o nó de junção representa que as ações *vc* e *ma* são executadas concomitantemente.

Os diagramas de atividade também permitem representar a estrutura que operacionaliza cada ação, o que é realizado por meio de partições de atividade. Sua notação é um retângulo largo com um cabeçalho em uma das extremidades. O cabeçalho especifica o que a partição da atividade representa (DELLIGATTI, 2014).

Uma partição de atividade pode ser orientada verticalmente ou horizontalmente. Usualmente uma partição representa um bloco ou uma propriedade de parte que existe em outro lugar no sistema modelado. Uma ação colocada dentro de uma partição da atividade está alocada dentro da estrutura nomeada pelo cabeçalho; ou seja, aquela estrutura é responsável por realizar a ação quando a atividade é executada durante a operação do sistema. Quando uma atividade representa um bloco, todas as instâncias daquele bloco podem realizar as ações nela contidas. Quando ela representa uma propriedade de parte, somente aquela propriedade é responsável por realizar as ações contidas na partição (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.25 mostra um exemplo de uso de partições de atividade.

Figura A2.25 - Exemplo de uso de partições de atividade



Fonte: Delligatti, (2014).

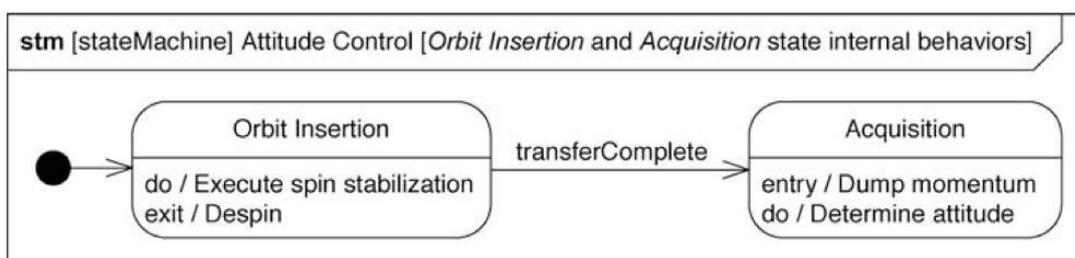
Na figura A2.25, a atividade *Execute Hohmann Transfer* tem suas ações alocadas em três diferentes blocos do sistema modelado: *Microcosm Autonomous Navigation System (MANS)*, *Propulsion Subsystem*, e *Flight Computer*. O diagrama relaciona os comportamentos com as estruturas que os realizam.

Diagramas de Estado de Máquina

Um diagrama de estado de máquina é um diagrama de comportamento dinâmico que mostra sequências de estados que um objeto ou uma interação terão durante seu tempo de vida, em resposta a eventos, a qual pode resultar em ações, ou efeitos colaterais (SYSML, 2020).

A abreviatura para o diagrama de estado de máquina é *stm*. O único tipo de elemento usado na sua modelagem é o *stateMachine*. O quadro do diagrama sempre representa um único estado de máquina definido em algum outro lugar do sistema modelado. Um estado de máquina é em si mesmo um elemento modelado, e é também um *nome-espaço*, contendo um conjunto de elementos nominados - especialmente vértices e transições - os quais podem aparecer dentro do quadro do diagrama. O nome do diagrama representa o seu propósito, o qual é mostrar o comportamento de um bloco determinado. Não é necessário especificar o nome do bloco com o qual o estado de máquina está associado; mas se o modelador optar por fazê-lo, deve apô-lo no seu cabeçalho (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.26 apresenta um exemplo de diagrama de estado de máquina.

Figura A2.26 - Exemplo de diagrama de estado de máquina



Fonte: DELLIGATTI, (2014).

A SysML permite a definição de quatro estados diferentes: simples, composto, sub-estado, e final. A notação do estado simples é um retângulo com as pontas arredondadas. Como requisito mínimo ele deve conter um compartimento contendo o nome, o qual contém a corda que dá nome ao estado. A linguagem não determina convenções para os estados. Opcionalmente, pode-se mostrar um segundo compartimento que lista seus comportamentos e transições internas. A SysML define três comportamentos internos que um estado pode realizar. Cada um é opcional em

um dado estado. Quando presente, a corda começa com uma das três palavras chaves *entry* (entrada), *exit* (saída) ou *do* (ação), seguida por uma barra e uma “expressão opaca” a qual é uma especificação de estado de comportamento. Opcionalmente, podem conter o nome do comportamento criado em outro lugar do sistema modelado (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.26, no estado *Orbit Insertion* vê-se dois comportamentos identificados: *do* e *exit*, seguidos pelos respectivos estados de comportamento (*Execute spin stabilization* e *Despin*).

A notação para o estado inicial é um círculo preenchido, enquanto que para o estado final é um círculo vazado contendo outro preenchido. Na figura A2.26 vê-se a imagem parcial de um diagrama de estado, com o círculo preenchido demonstrando o estado inicial. A transição de um estado para outro é representada por uma linha sólida com a cauda ligada ao elemento de origem e uma ponta de flecha vazada apontando ao de destino. A transição para o estado final representa a finalização do comportamento do estado de máquina como um todo (DELLIGATTI, 2014).

Cada transição pode, opcionalmente, especificar três informações: um disparador, uma guarda e um efeito (DELLIGATTI, 2014). Quando presentes devem aparecer em uma corda situada acima ou abaixo da transição. Seu formato é:

<trigger> [<guard>] / <effect>

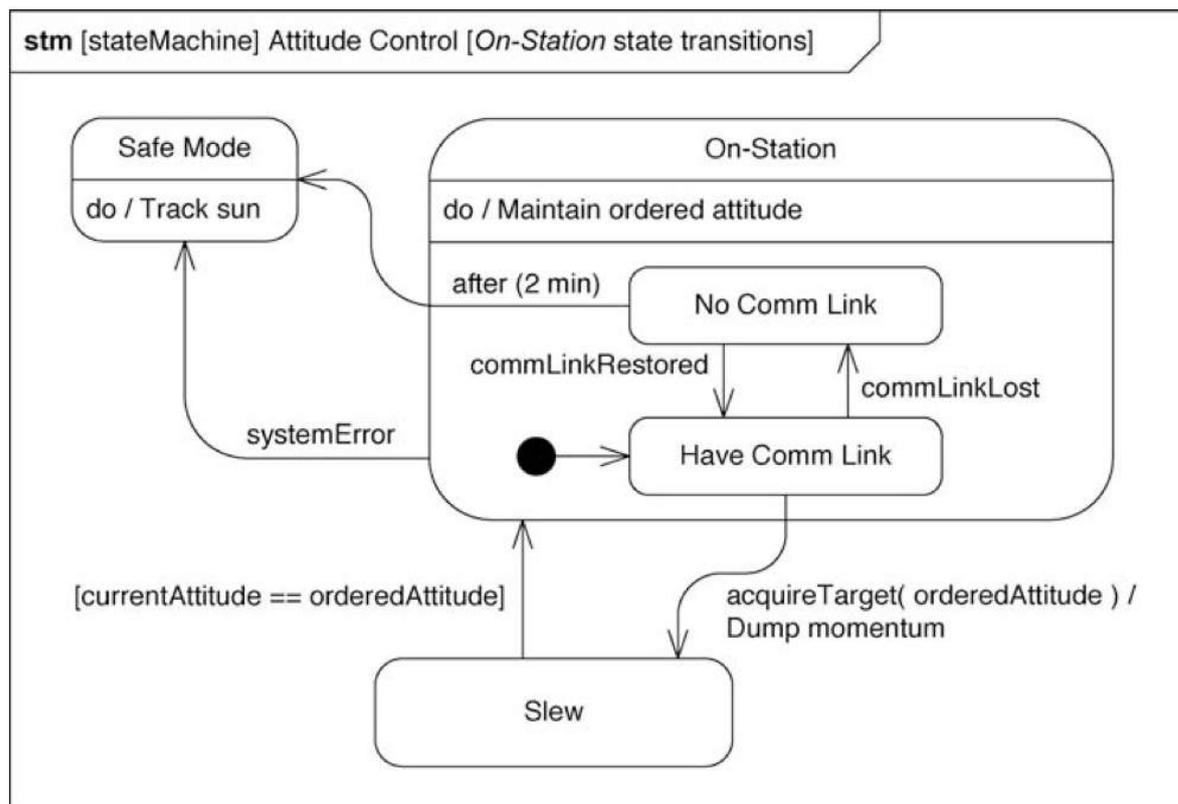
O disparador (trigger) deve coincidir com o nome de um evento definido no sistema modelado. A SysML define quatro espécies de eventos: de *signal*, de *chamada*, de *tempo* e de *mudança*. A instância de um evento é denominada *ocorrência do evento*, a qual pode disparar uma transição entre estados. A guarda (guard) é uma expressão booleana mostrada entre parênteses, que assume o valor de verdadeiro ou falso em qualquer dado momento. Uma transição se inicia somente quando sua “guarda” assume o valor *verdadeiro*; quando então o estado da máquina recebe uma ocorrência de evento que aciona seu disparador. Se sua “guarda” estiver em falso naquele momento, a transição não é acionada e não há mudança de estado. O efeito (effect) é o comportamento executado durante a transição. Ele pode ser uma expressão opaca ou o nome do comportamento definido no sistema modelado (DELLIGATTI, 2014).

Posto que o uso da nomenclatura completa é opcional, uma transição pode ser especificada por uma corda contendo apenas o nome do seu comportamento (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.26, a corda da transição é denominada *transferComplete*.

Além do estado simples, há também o estado composto. Sua notação é a mesma do estado simples, possuindo também um compartimento para o nome e outro onde pode-se mostrar, opcionalmente, os comportamentos *entry*, *exit* e *do*. A diferença é que um estado composto possui sub-estados nele aninhados, mostrados em um terceiro compartimento (DELLIGATTI, 2014).

Quando um estado composto está inativo, todos os seus sub-estados também estão. Ao ser ativado, exatamente um dos seus sub-estados está ativo num dado momento. As transições entre os sub-estados comportam-se exatamente da mesma maneira que as transições entre estados (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.27 apresenta um exemplo de um estado composto.

Figura A2.27 - Estado composto em um diagrama de estado de máquina



Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.27, o estado composto *On-Station* tem dois sub-estados: *Have Comm Link* e *No Comm Link*. Enquanto *On-Station* está ativo, ele pode transicionar entre estes dois sub-estados em resposta as ocorrências de evento de *commLinkRestored* e *commLinkLost*.

As transições de um estado composto podem se originar tanto de uma borda do estado quando em um sub-estado específico nele aninhado. Na figura A2.27 vê-se um exemplo de ambos os casos. As transições que se originam na borda de um estado composto podem iniciar quando um evento ocorrer, num dado momento, independentemente de qual sub-estado estiver em execução. Já as transições que se originam em um sub-estado específico aninhado podem ser acionadas, quando um evento ocorre, somente se a execução do estado composto está naquele sub-estado, naquele momento (DELLIGATTI, 2014).

Diagrama de Definição de Blocos

A abreviatura para um diagrama de definição de blocos é *bdd*. Os elementos que o diagrama representa podem ser *package* (pacotes), *model* (modelos), *modelLibrary* (biblioteca de modelos), *view* (vista), *block* (bloco) e *constraintBlock* (bloco de restrição). Os elementos que aparecem no diagrama de blocos servem como tipos de outros elementos modelados nos demais diagramas SysML, e são por isso conhecidos como “elementos de definição”, os quais formam a fundação do sistema (DELLIGATTI, 2014). O elemento modelado que o diagrama representa serve como *nome-espaço* para outros elementos nele mostrados, e aparece no cabeçalho do diagrama. Assim, o *nome-espaço* contém outros elementos modelados correspondendo, tipicamente, a um pacote criado em outro lugar na hierarquia do modelo (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.28 apresenta um exemplo de diagrama de blocos.

Figura A2.28 - Exemplo de diagrama de blocos

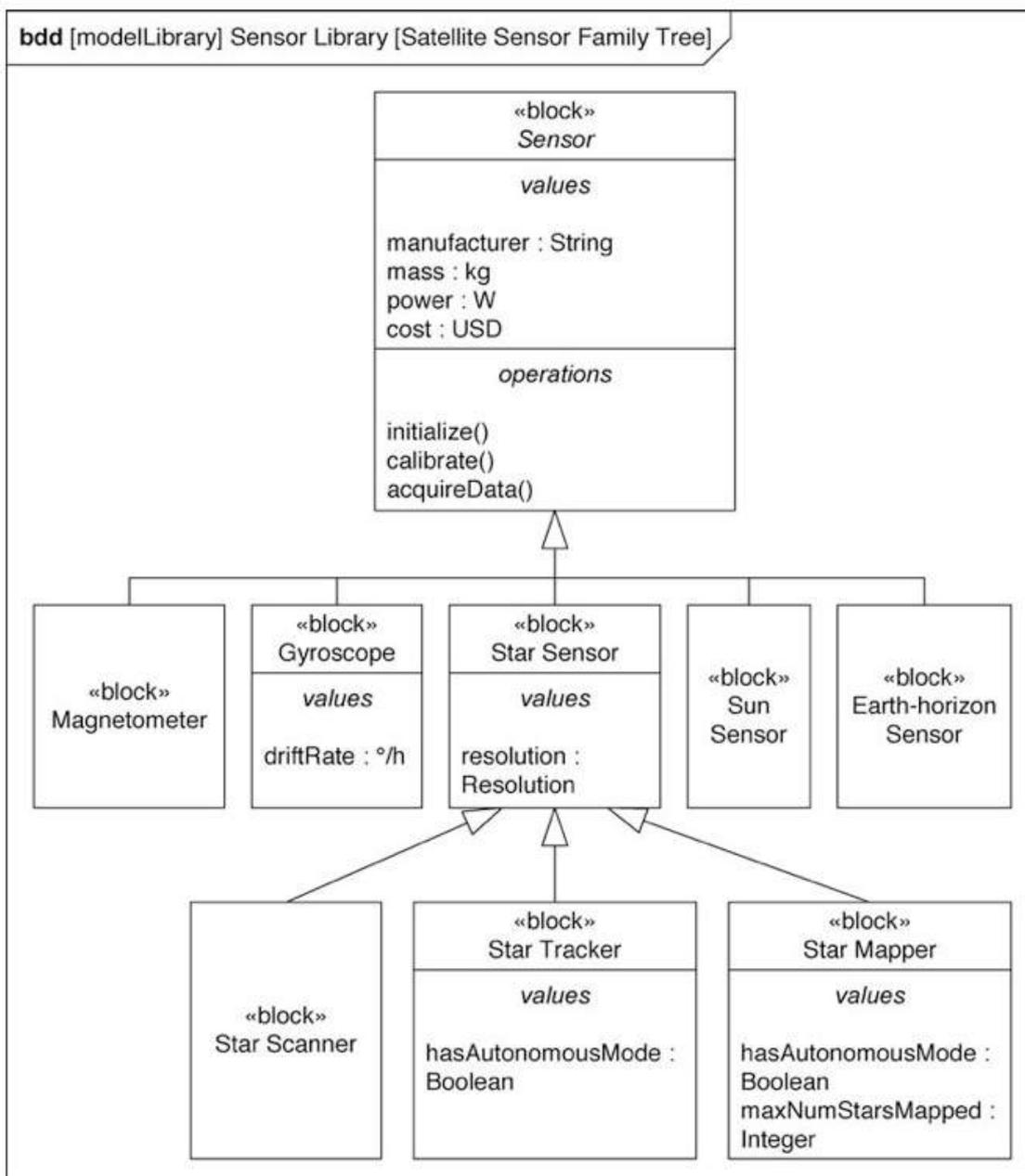
sólida ligando dois blocos. Uma ponta de flecha vazada apontando para apenas um elemento significa acesso unidirecional; sua ausência representa um acesso bidirecional. As associações podem ter várias etiquetas. Opcionalmente, pode-se mostrar seu nome no meio da linha ou ainda o nome e a multiplicidade em cada extremidade. O nome da associação descreve a classe de conexão existente entre as instâncias de dois blocos (DELLIGATTI, 2014).

Os blocos também podem ser conectados por meio de associações compostas. Uma associação composta representa uma decomposição estrutural. Neste caso, uma instância do bloco composto é feita de um número superior de instâncias na outra extremidade da associação. Sua notação é uma linha sólida entre dois blocos com um diamante pintado no lado composto. Uma ponta de flecha vazada na outra extremidade da linha representa um acesso unidirecional da parte composta a esta parte; a ausência da flecha implica em acesso bidirecional (DELLIGATTI, 2014). Na figura A2.28 há dois exemplos de associações compostas do bloco *DellSat-77 Satellite* para os blocos de subsistema.

O nome mostrado na parte final de uma associação composta corresponde ao nome da propriedade possuída pelo bloco no lado composto, cujo tipo é o bloco na parte final (DELLIGATTI, 2014). Por exemplo, na figura A2.28 o nome *aocs* representa uma propriedade possuída pelo bloco *DellSat-77 Satellite*, cujo tipo é o bloco *Attitude and Orbit Control Subsystem*.

Outra classe de relacionamento que pode ser mostrada no diagrama de blocos é a generalização. Ela significa herança entre dois elementos: um mais generalizado, denominado supertipo, e outro mais especializado, o subtipo. Generalizações são usadas para criar-se árvores de classificação (hierarquias) no sistema modelado. Sua notação é uma linha sólida com uma flecha triangular fechada (não pintada) na extremidade do supertipo (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.29 mostra um exemplo de generalização.

Figura A2.29 - Exemplo de relacionamento de generalização



Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.29, o *Star Tracker* é um subtipo de *Star sensor*, o qual, por sua vez, é um subtipo de *Sensor*. Uma generalização significa que o subtipo herda todas as características do seu supertipo: estruturais (propriedades) e comportamentais (operações e recepções). Adicionalmente, um subtipo pode ter outras características que seu supertipo não possui. Por isso é considerado pelos modeladores como uma especialização do seu supertipo (DELLIGATTI, 2014).

Pode-se criar generalizações para definir abstrações no sistema projetado. Um supertipo é uma abstração dos seus subtipos, e reúne as características comuns entre os subtipos (DELLIGATTI, 2014).

Dentro de um diagrama de blocos pode haver atores. Um ator representa alguém ou algo que tem uma interface externa com o sistema. O nome de um ator significa um papel realizado por uma pessoa, uma organização ou outro sistema que interage com ele. A SysML define duas notações para um ator: uma figura de uma pessoa e um retângulo com a palavra chave «actor» precedendo o nome. Pode-se usar qualquer das duas notações para qualquer classe de ator - pessoa ou sistema. Contudo, por convenção, os modeladores adotam a figura de uma pessoa para representar uma pessoa e a notação de um retângulo para representar um sistema. Todas as associações, de referência, compostas e de generalização, também se aplicam quando atores estão envolvidos nos relacionamentos. Mas não se pode definir uma generalização entre um ator e um bloco, e um ator não pode ter partes (não pode aparecer no lado composto de uma associação composta) (DELLIGATTI, 2014).

Os blocos podem possuir portas. As portas representam interações distintas na fronteira da estrutura, por meio das quais entidades externas podem interagir com ela - seja para prover ou solicitar um serviço ou trocar matéria, energia ou dados. A SysML não impõe nenhuma restrição quanto a *o quê* uma porta pode representar. Ela pode representar qualquer tipo de ponto de interação, como um objeto físico na fronteira de um objeto de hardware ou software (ex.: um soquete ou uma porta HDMI) ou mesmo um ponto de interação entre duas empresas, como uma ordem de compra ou uma caixa postal (DELLIGATTI, 2014).

As versões SysML v.1.2 e anteriores definem dois tipos de portas que podem ser adicionadas a um bloco: *padrão* e de *fluxo*. Uma porta “padrão” permite a especificação de um ponto de interação com o foco nos serviços que o bloco provê ou requer. Já uma porta de fluxo permite a especificação de fluxos de matéria, energia ou dados entrando ou saindo do mesmo. A versão SysML v1.3 define novas espécies de portas: *full* e *proxy*. Contudo, as portas padrão e de fluxo continuam a ser predominantes nos modelos, posto que as ferramentas de software que permitem a modelagem ainda apoiam o uso de ambas (DELLIGATTI, 2014).

A notação para uma porta é um pequeno quadrado situado na borda do bloco. Na porta padrão este quadrado é vazado, e na de fluxo há um símbolo dentro dele. A SysML oferece duas classes de portas: de fluxo atômico e não atômico (DELLIGATTI, 2014).

A porta de fluxo não atômico é usada para representar que múltiplos tipos de itens passarão por ela. Na porta de fluxo não atômico, o símbolo dentro do quadrado é “<>”. Opcionalmente, a porta pode ter um *nome* definido e um *tipo*. O “nome” e o “tipo” são mostrados como uma corda localizada próxima da porta, separados por dois pontos, no formato *name* : *type* (DELLIGATTI, 2014).

O diagrama prevê também a existência de especificações de fluxo. Como um bloco, uma especificação de fluxo é um elemento que define uma série de propriedades de fluxo que podem fluir para dentro ou fora de uma porta de fluxo. Pode ser mostrada no diagrama como um retângulo com o estereótipo «flowSpecification» precedendo o nome, num compartimento denominado “flow-Properties” (DELLIGATTI, 2014). Cada propriedade tem uma direção, um nome e um tipo, os quais são mostrados como uma corda no formato:

<direction> <name> : <type>

A direção pode ser *in*, *out*, ou *inout*. O nome é definido pelo modelador. O tipo deve ser o nome de um bloco, sinal ou tipo de valor criado em outro lugar na hierarquia do modelo (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.30 mostra um exemplo de portas com fluxo não atômico.

Figura A2.30 - Modelo de portas com fluxo não atômico



Fonte: Delligatti, (2014).

A outra espécie de porta de fluxo é a porta atômica. Ela é usada para mostrar que uma única espécie de item pode fluir para dentro ou fora daquela porta. A notação é um quadrado com o símbolo de uma ponta de flecha aberta, a qual indica a direção do fluxo. O tipo de uma porta de fluxo atômica deve ser o nome de um bloco, sinal ou valor criado em outro lugar da hierarquia do modelo (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.31 mostra um exemplo de modelo contendo fluxo atômico.

Figura A2.31 - Exemplo de modelo contendo fluxo atômico



Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.31, os blocos *Modulator* e *Transmitter* têm portas atômicas denominadas *coupler*, as quais são classificadas pelo mesmo tipo de valor - *Radio Frequency Cycle*. Este modelo informa que um sinal de radio-frequência pode fluir de um modulador para um transmissor via um acoplador - um ponto de interação e suas respectivas fronteiras (DELLIGATTI, 2014).

Diagrama de Bloco Interno

Um diagrama de bloco interno é um diagrama estrutural estático que mostra o conteúdo encapsulado em um bloco, como partes, propriedades, conectores, portas

e interfaces. Seu propósito é mostrar o conteúdo estrutural encapsulado do bloco e suas conexões (SYSML, 2020).

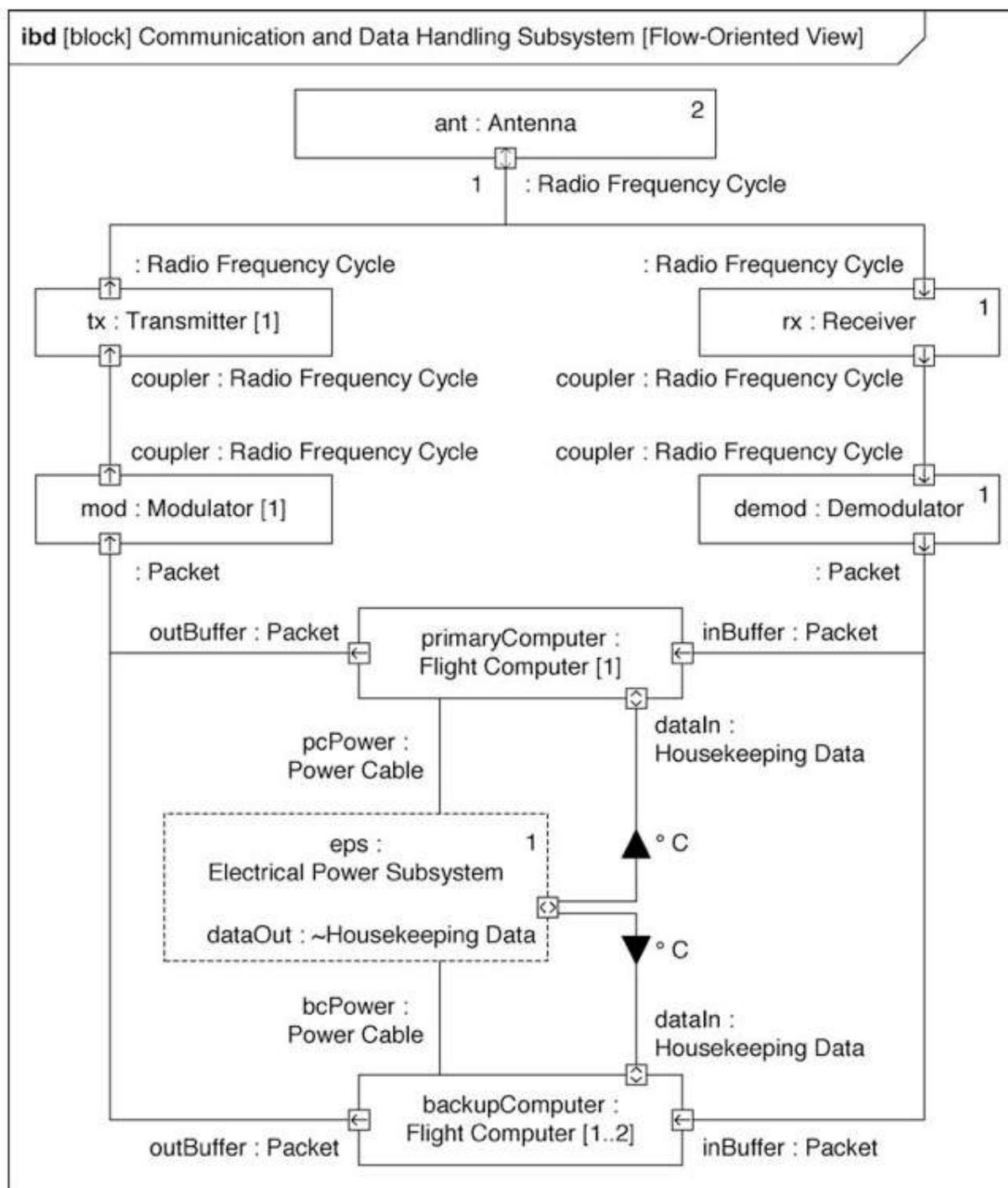
O objetivo do diagrama de bloco interno é especificar a estrutura interna de um único bloco. Apresenta uma visão estrutural do sistema, como o diagrama de blocos, com a diferença de que não mostra vários blocos. Antes, mostra as propriedades das partes e as propriedades de referência do bloco, as quais são nominadas no cabeçalho do diagrama. Essas são mostradas como cordas nos compartimentos dos blocos ou como nomes completos ao final das associações, tal como no diagrama de blocos (DELLIGATTI, 2014).

No diagrama de bloco interno pode-se mostrar também as conexões entre as propriedades das partes e as propriedades de referência do bloco, além das classes de matéria, energia ou dados que fluem pelas conexões e os serviços que são providos e requeridos por elas. O diagrama mostra como as partes do bloco devem ser interconectadas e também como devem ser conectadas nas entidades externas (propriedades de referência). Neste sentido, ele é complementar ao diagrama de blocos, para permitir um maior detalhamento (DELLIGATTI, 2014).

Uma limitação da SysML é que ela não permite representar a geometria do sistema. O diagrama de bloco interno permite modelar quais partes devem ser interconectadas, mas não permite modelar suas formas ou o espaçamento entre elas (DELLIGATTI, 2014).

A abreviatura usada para um diagrama de bloco interno é *ibd*. O único tipo de elemento modelável permitido é o bloco. O diagrama sempre representa um bloco que foi definido em outro lugar do sistema modelado (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.32 apresenta um exemplo de um diagrama de bloco interno.

Figura A2.32 - Exemplo de diagrama de bloco interno



Fonte: Delligatti, (2014).

O nome do diagrama na figura A2.32 é Flow-Oriented View. Ele representa o bloco *Communication and Data Handling Subsystem* no sistema modelado. Portanto, as propriedades das partes e as propriedades de referência que aparecem no diagrama são as daquele bloco (DELLIGATTI, 2014).

Os diagramas de bloco interno podem representar itens que fluem entre as propriedades e serviços que as propriedades invocam mutuamente entre os conectores. Neles as propriedades de partes tem o mesmo significado de suas pares nos compartimentos de partes do diagrama de blocos: representam a estrutura que compõe o bloco. Sua notação é um retângulo com uma borda sólida. A corda com o nome que aparece dentro do retângulo tem o mesmo formato que aquela do compartimento de partes no diagrama de blocos (DELLIGATTI, 2014).

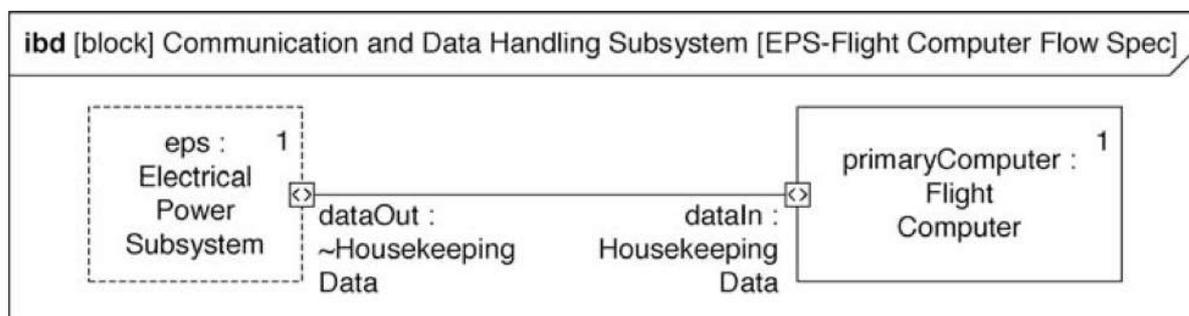
Os conectores que aparecem no diagrama representam que duas estruturas terão acesso, uma a outra, de alguma forma, dentro do sistema. Pode-se, opcionalmente, especificar um *nome* e um *tipo*, para um conector, para mostrar informação adicional sobre o meio que conecta ambas as estruturas (DELLIGATTI, 2014). O formato da corda do nome é:

<connector name> : <type>

O nome do conector é opcional e definido pelo modelador. O tipo também é opcional. Se especificado, deve ser o nome de uma associação criada entre dois blocos em outro lugar do sistema modelado. A notação do conector é uma linha sólida. Como exemplo, na figura A2.32, o *Flight Computer* está conectado ao *Electrical Power Subsystem*, sendo que o nome do conector é *bcPower*, e seu tipo é *Power Cable*. A informação sobre o nome e o tipo é aposta acima da linha que representa a conexão (DELLIGATTI, 2014).

As propriedades conectadas podem ser propriedades de partes, de referência ou uma de ambas. Se duas propriedades conectadas têm portas compatíveis - portas padrão ou de fluxo - pode-se, opcionalmente, ligar o conector nas portas em lugar de conectá-las diretamente. Tal ligação representa que aquelas propriedades são conectadas como pontos de interação específicos em suas fronteiras. Caso se conecte duas propriedades via portas de fluxo, pode-se representar as classes de matéria, energia ou dados que podem fluir entre as propriedades através destas portas (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.33 mostra um exemplo de conexão de duas propriedades via portas de fluxo.

Figura A2.33 - Exemplo de conexão de propriedades via portas de fluxo

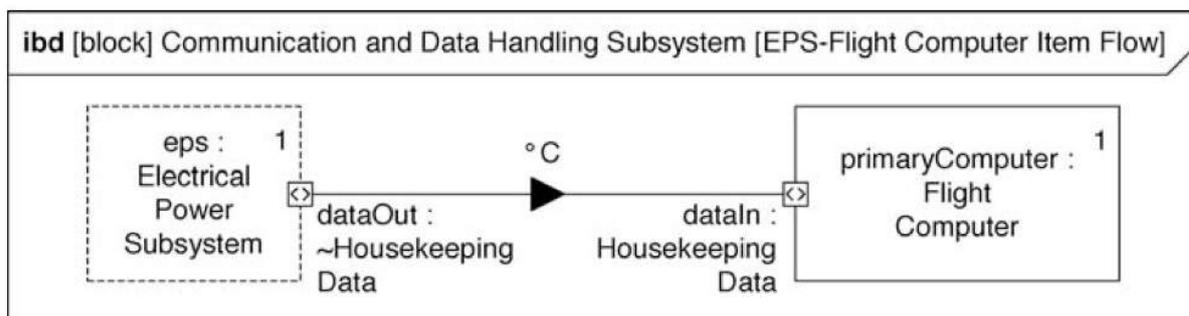


Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.33, o conector faz a ligação da propriedade de referência *eps* com a propriedade de parte *primary Computer* por meio de portas de fluxo não atômico em suas fronteiras.

A SysML permite mostrar também os itens de fluxo que fluem entre duas estruturas do sistema. Na linguagem, um item de fluxo representa o tipo de matéria, energia ou dados que flui entre duas estruturas dentro do sistema. Sua notação é uma ponta de flecha pintada no conector que une as portas, apontando na direção do fluxo. A classe que o item de fluxo representa aparece em uma etiqueta próxima a flecha no conector. A etiqueta deve conter o nome de um bloco, um tipo de valor ou um sinal que exista em algum outro lugar do sistema modelado (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.34 apresenta um exemplo de um item de fluxo representado.

Figura A2.34 - Exemplo de um item de fluxo representado



Fonte: Delligatti, (2014).

O tipo que o ítem de fluxo representa deve ser compatível com os tipos de portas de fluxo de cada lado do conector. Na figura A2.34, o item de fluxo representa um valor de temperatura em °C fluindo pelo conector entre duas portas não atômicas, partindo da propriedade de referência *eps* para a propriedade de parte *primaryComputer* (DELLIGATTI, 2014).

Diagrama Paramétrico

Um diagrama paramétrico é uma especialização do diagrama de blocos internos que enfoca as regras matemáticas (restrições) definidas pelos blocos de restrição através dos valores das propriedades de partes limitados pelos blocos de parâmetros e de restrição (SYSML, 2020). Neste contexto, um bloco de restrição define uma regra matemática (restrição) e parâmetros de regras, onde os últimos são conectados a valores de propriedades de blocos, de forma que o valor da propriedade de um bloco será propagado para outras propriedades de valor do bloco de uma maneira consistente com a regra matemática (SYSML, 2020).

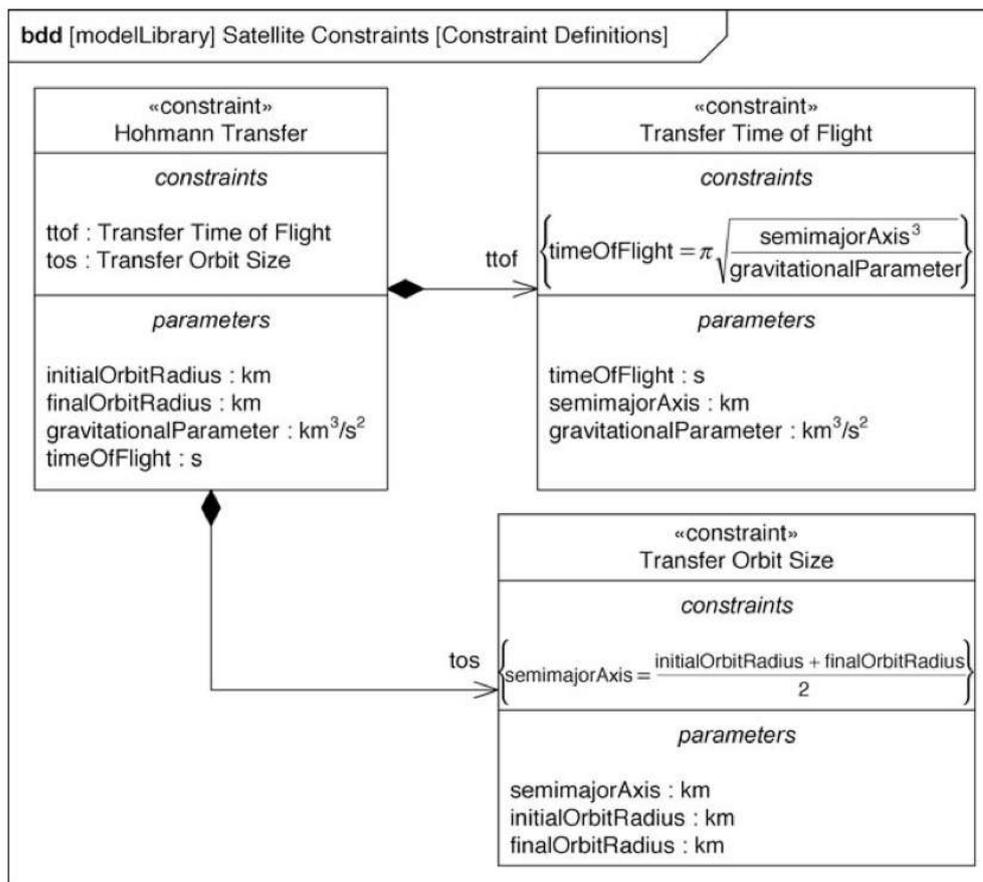
O propósito dos diagramas paramétricos é impôr regras matemáticas através das propriedades de valor do bloco. Eles são usados para expressar informações sobre as restrições de um sistema (SYSML, 2020). Estas restrições geralmente

tomam a forma de modelos matemáticos que determinam um conjunto de valores válidos durante a execução de um sistema.

O diagrama paramétrico permite a modelagem de equações como blocos de restrição. Um bloco de restrição encapsula uma expressão de restrição, a qual é a equação necessária ao modelo. Essa impõe uma relação matemática fixa sobre as propriedades de valor do bloco, o que permite especificar asserções sobre os valores válidos do sistema, dentro de um sistema operacional, e usar os blocos no sistema para prover as entradas para as análises de engenharia e as simulações. O diagrama paramétrico também permite mostrar as conexões entre os parâmetros de restrição em diferentes equações para criar um sistema composto de equações (DELLIGATTI, 2014).

A aplicação de uma expressão de restrição a um bloco é feita unindo-se cada termo na mesma (denominado parâmetro de restrição) ao valor da propriedade que existe em outro lugar no modelo. O valor da propriedade pode pertencer ao próprio bloco, a uma das propriedades de suas partes ou a propriedades de referência. Assim, é possível criar um modelo matemático complexo e conectá-lo a várias partes de um modelo complexo de estrutura (DELLIGATTI, 2014).

A exemplo do diagrama de blocos internos, o diagrama paramétrico mostra a estrutura interna de um bloco - os blocos internos e os blocos de restrição - mas com o foco nas conexões entre os valores das propriedades e os parâmetros de restrição (DELLIGATTI, 2014). As figuras A2.34 e A2.36 mostram exemplos de diagramas de blocos e de blocos de restrições necessários para a construção dos seus diagramas paramétricos correspondentes.



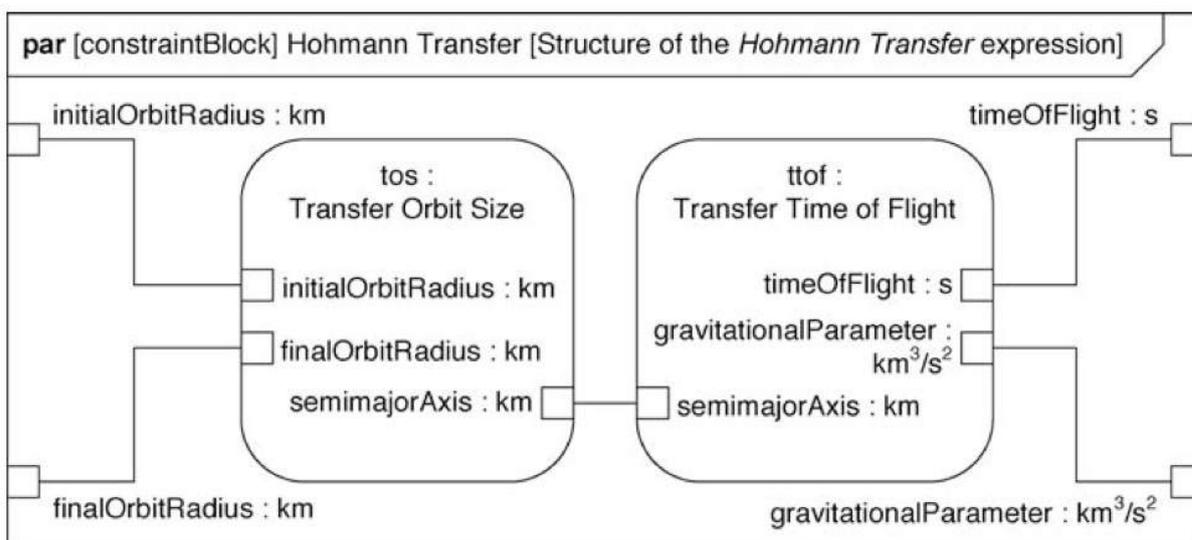
Fonte: Delligatti, (2014).

O diagrama de blocos da figura A2.35 mostra o bloco de restrição *Hohmann Transfer*, o qual é composto de outros dois: *Transfer Orbit Size*, e *Transfer Time of Flight*. Ele contém uma propriedade de restrição denominada *ttof*, tipificada por *Transfer Time of Flight* e outra propriedade de restrição denominada *tos*, tipificada por *Transfer Orbit Size*. Estas propriedades de restrição são mostradas no diagrama de duas formas: (i) cordas com nomes mostradas no compartimento de restrições de *Hohmann Transfer* e nomes de função das partes finais nos relacionamentos de associação compostos. Os blocos internos *Transfer Orbit Size* e *Transfer Time of Flight* encapsulam expressões de restrição (equações). Cada uma destas equações contém três parâmetros de restrição, ou termos da fórmula, os quais são mostrados como cordas nominais nos compartimentos de parâmetros. Estes parâmetros de restrições são tipificados por tipos de valores que existem em algum outro lugar do sistema modelado (DELLIGATTI, 2014).

O diagrama de figura A2.35 mostra que o bloco de restrição *Hohmann Transfer* define uma equação a qual é uma composição das duas outras, mais simples, dos blocos internos. Mas ele não mostra onde as últimas estão conectadas para criar a expressão composta. Isso é mostrado no diagrama paramétrico (DELLIGATTI, 2014).

A abreviatura para um diagrama paramétrico é *par*. Os tipos de elementos nele modelados podem ser blocos e blocos de restrição. Quando um diagrama paramétrico representa um bloco de restrição, ele mostra somente as propriedades de restrição e as conexões que formam a estrutura interna daquele bloco (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.36 apresenta um modelo de um diagrama paramétrico, o qual corresponde ao bloco de restrição da figura A2.35.

Figura A2.36 - Diagrama paramétrico que representa um bloco de restrição

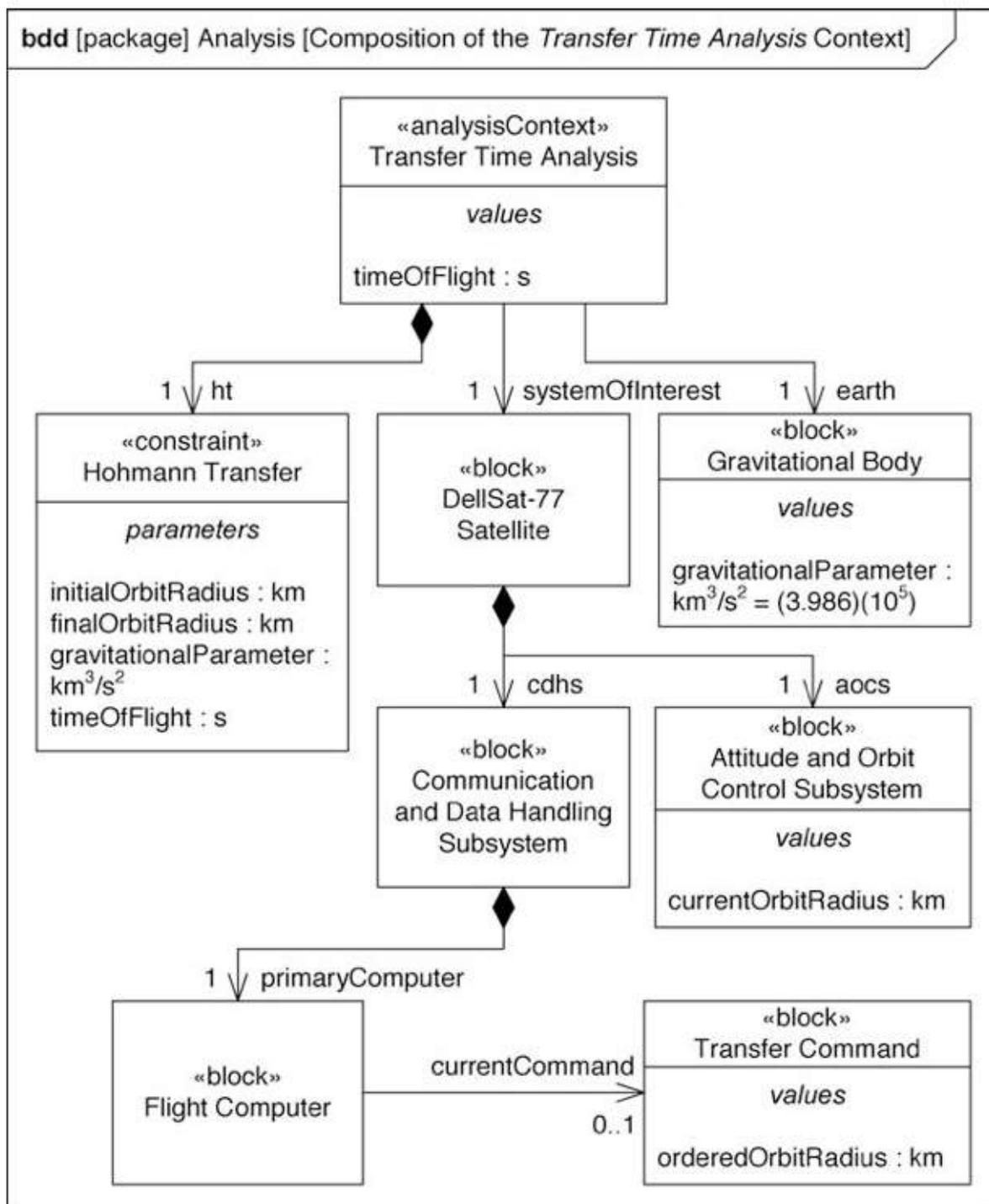


Fonte: Delligatti, (2014).

O cabeçalho na figura A2.36 informa que o quadro do seu diagrama paramétrico representa o bloco de restrição *Hohmann Transfer*, o qual aparece no diagrama de blocos da figura A2.35. O nome deste diagrama é “Structure of the *Hohmann Transfer* expression”. Este nome expressa o foco e o propósito do diagrama: mostrar as propriedades de restrição de mais baixo nível e a conexão que configura a estrutura interna do bloco de restrição composto. Uma propriedade de restrição é tipificada por um bloco de restrição definido em algum outro lugar no modelo (DELLIGATTI, 2014).

Quando um diagrama paramétrico representa um bloco, primariamente mostra as conexões entre os valores das suas propriedades e as propriedades de restrição. Contudo, mostra também as propriedades de partes e as propriedades de referência daquele bloco, se elas contiverem valores de propriedade de interesse (DELLIGATTI, 2014). O diagrama de blocos da figura A2.37 mostra outro exemplo de diagrama de subconjunto de blocos construído para apoiar a criação do seu correspondente diagrama paramétrico.

Figura A2.37 – Diagrama de blocos que apoia o diagrama paramétrico



Fonte: Delligatti, (2014).

O diagrama da figura A2.37 apresenta um bloco criado para representar a análise de contexto em si. Alguns modeladores definem o estereótipo «analysisContext» para distinguí-lo dos demais no modelo, embora esta não seja uma

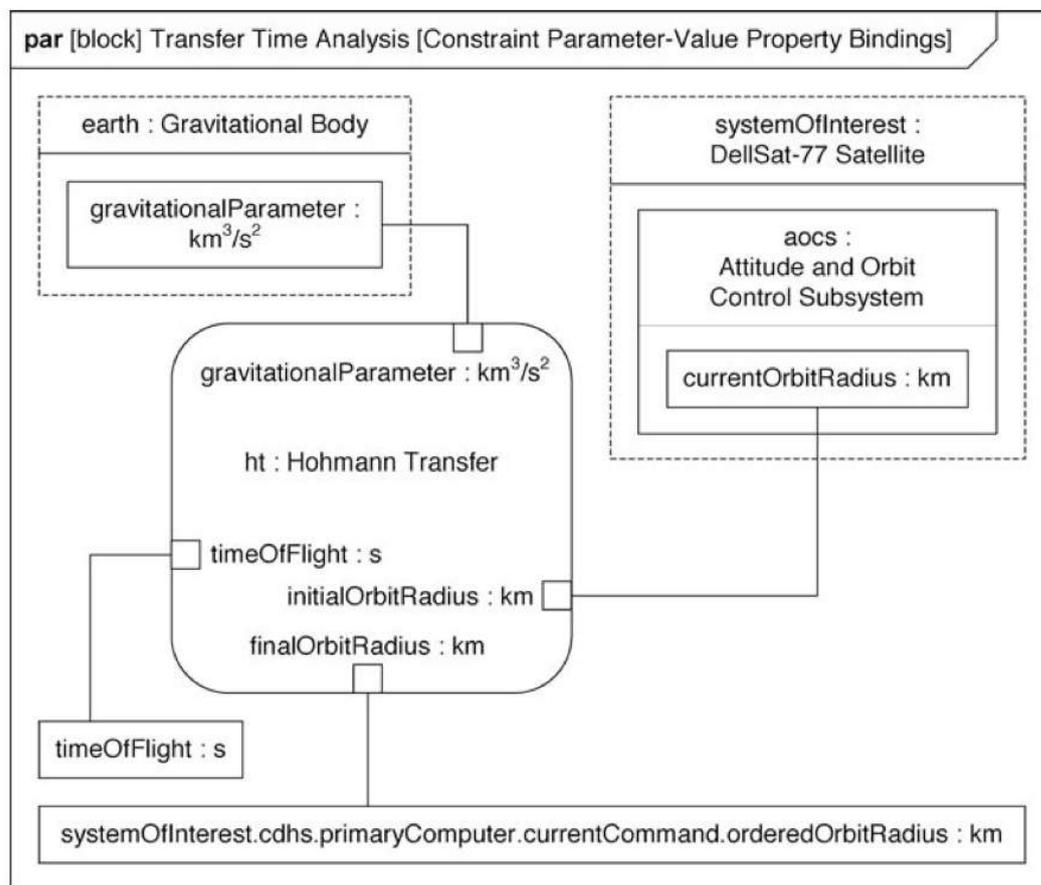
exigência da SysML. No caso, o bloco foi criado para viabilizar a construção de um diagrama paramétrico para *Transfer Time Analysis* (DELLIGATTI, 2014).

Por convenção, o bloco de análise de contexto tem associações compostas por um ou mais blocos de restrição que representam tipos de propriedades de restrição que são necessárias para a análise, além de associações de referência com um ou mais blocos que possuem os valores das propriedades e suprirão os dados (valores) necessários para realizar-se a análise (DELLIGATTI, 2014).

No exemplo da figura A2.37, cada um dos parâmetros de restrição contidos no bloco de restrição *Hohmann Transfer* deve estar associado a um valor de propriedade em outro lugar do sistema modelado. Os quatro valores de propriedades não necessariamente têm que ser possuídos por um único bloco; é permissível que cada um conste num bloco diferente, contanto que haja relações de associação as quais formem caminhos para eles dentro do bloco de análise de contexto. É também comum que o próprio bloco de análise de contexto possua um dos valores de propriedades requerido: aquele que guardará o resultado da análise (DELLIGATTI, 2014).

O diagrama de blocos da figura A2.37 mostra que o bloco *Transfer Time Analysis* usa o bloco de restrição *Hohmann Transfer* para fornecer a expressão de restrição necessária para a análise. Este diagrama também informa quais blocos possuem os valores das propriedades que suprirão os dados (valores) para os parâmetros de restrição (variáveis) naquela expressão de restrição (equação). Contudo, não mostra quais valores de propriedades e parâmetros de restrição estão conectados entre si (ou seja, de qual outro bloco do sistema eles provêm). Isso é mostrado pelo diagrama paramétrico (DELLIGATTI, 2014). O diagrama paramétrico da figura A2.38 apresenta estas informações complementares.

Figura A2.38 - Exemplo de diagrama paramétrico que representa um bloco



Fonte: Delligatti, (2014).

Na figura A2.38, o quadro do diagrama paramétrico representa o bloco *Transfer Time Analysis*, o qual aparece no diagrama de blocos da figura 88. O nome deste diagrama é *Constraint Parameter-Value Property Bindings*, o qual expressa a propriedade de restrição possuída pelo bloco *Transfer Time Analysis* e as conexões entre seus parâmetros de restrição e os valores de propriedades que suprem dados para eles (DELLIGATTI, 2014).

Cabe notar que, num diagrama de blocos, uma propriedade de restrição pode ser mostrada como uma corda no compartimento de restrições do bloco, ou na forma do nome do papel desempenhado, no final da parte de um relacionamento de associação composta, onde o elemento ao final é o bloco de restrição que tipifica a propriedade de restrição (DELLIGATTI, 2014). A figura A2.35 apresenta a notação no compartimento e a figura A2.37 a notação por nome do papel desempenhado. No diagrama paramétrico, uma propriedade de restrição é mostrada pelo uso de cantos

arredondados (DELLIGATTI, 2014). O formato da corda nominal que aparece dentro do quadrado é o mesmo da corda no compartimento de restrições:

`<constraint name> : <type>`

O *constraint name* é definido pelo modelador, enquanto *type* (tipo) deve ser um bloco de restrição. Quando uma dada propriedade de restrição aparece tanto no diagrama de blocos quanto no paramétrico, sua aparência deve ser consistente em nome, tipo e conjunto de parâmetros possuídos (DELLIGATTI, 2014).

Num diagrama de blocos, um parâmetro de restrição, ou variável, pode ser mostrado como uma corda no compartimento de parâmetros do bloco de restrição. No diagrama paramétrico, um parâmetro de restrição é mostrado como um pequeno quadrado ligado a borda, na parte interna de uma propriedade de restrição. Um parâmetro de restrição também pode ser ligado ao quadro de um diagrama paramétrico quando o diagrama representa um bloco de restrição (DELLIGATTI, 2014). O formato de uma corda nominal para um parâmetro de restrição é o mesmo, tanto para o diagrama de blocos quanto para o paramétrico:

`<parameter name> : <type> [<multiplicity>]`

O nome do parâmetro é definido pelo modelador; *type* é quase sempre um tipo de valor definido em outro lugar do sistema modelado; e *multiplicity* representa o número de valores do tipo especificado que o parâmetro de restrição pode guardar. Se não mostrado, corresponde a 1..1 (um para um). Cabe ressaltar que a aparência dos parâmetros de restrição em ambos os diagramas - de blocos e paramétrico - deve ser consistente (DELLIGATTI, 2014).

No diagrama paramétrico, uma propriedade de valor corresponde a um uso de um tipo de valor em um bloco. É tipificada por um tipo de valor definido em outro lugar do modelo. Uma propriedade de valor pode representar uma característica quantitativa de um bloco bem como uma corda ou um valor booleano. Ela supre valores para os parâmetros de restrição, o que permite calcular as equações (expressões de restrição) (DELLIGATTI, 2014).

No diagrama de blocos, uma propriedade de valor é mostrada como uma corda no compartimento de valores do bloco. No diagrama paramétrico que representa o bloco, ela é mostrada como um retângulo com uma borda sólida (DELLIGATTI, 2014). O formato da corda nominal que aparece dentro do retângulo no diagrama paramétrico é o mesmo do diagrama de blocos:

$$\langle \text{value name} \rangle : \langle \text{type} \rangle [\langle \text{multiplicity} \rangle] = \langle \text{default value} \rangle$$

O *value name* é definido pelo modelador; *type* deve ser um tipo de valor definido em outro lugar no modelo; *multiplicity* tem o mesmo significado de quando aparece nos parâmetros de restrição. Se o valor for padrão (1..1), sua apresentação é opcional (DELLIGATTI, 2014).

No caso de uma propriedade de valor correspondente ao bloco nomeado no cabeçalho do diagrama paramétrico, a notação de um retângulo para ela deve flutuar em algum lugar dentro do quadro do diagrama (DELLIGATTI, 2014). Por exemplo, na figura A2.37 o bloco *Transfer Time Analysis* possui uma propriedade de valor denominada *timeOfFlight*. O diagrama paramétrico da figura A2.38 represente o bloco *Transfer Time Analysis*. Portanto, a propriedade de valor *timeOfFlight* aparece alocada dentro do quadro do diagrama, não sendo encapsulada por nenhuma outra borda.

As propriedades de valor que suprem valores para os parâmetros de restrição não necessariamente devem estar contidas no bloco nomeado no cabeçalho do diagrama paramétrico. Elas podem ser possuídas por propriedades de partes e propriedades de referência do bloco. Pode-se mostrar propriedades de partes que estejam profundamente alocadas dentro da estrutura do bloco no diagrama paramétrico, usando a notação de um ponto ou de aninhamento (DELLIGATTI, 2014). No diagrama da figura A2.38 é utilizada a notação de ponto para mostrar a propriedade de valor *orderedOrbitRadius* e a de aninhamento para mostrar as propriedades de valor *gravitationalParameter* e *currentOrbit- Radius*.

Quando se usa a notação de ponto, o retângulo onde se escreve a propriedade de valor é aninhado dentro do quadro do diagrama, não sendo encapsulado por nenhuma outra borda. Contudo, a corda dentro do retângulo mostra que a

propriedade de valor está, de fato, profundamente aninhada. A corda com notação de ponto contém os nomes de todas as propriedades de partes e propriedades de referência na hierarquia, até o nome da propriedade aninhada. O tipo da propriedade de valor aparece após os dois pontos ao final da corda. Nota-se que a notação de ponto permite mostrar apenas os nomes das propriedades de partes e das propriedades de referência na hierarquia (não os seus tipos). Somente a representação de aninhamento permite mostrar os tipos (DELLIGATTI, 2014).

Quando se usa a notação de aninhamento, a propriedade de valor aparece encapsulada pela borda da propriedade de parte ou de referência que a possui. A notação para a propriedade de parte é um retângulo com uma borda sólida, enquanto para a propriedade de referência é um retângulo com uma borda tracejada (DELLIGATTI, 2014).

O diagrama da figura A2.37 mostra que o bloco *Transfer Time Analysis* tem uma propriedade de referência denominada *systemOfInterest* (tipificada por *DellSat-77 Satellite*), a qual por sua vez possui uma propriedade de parte denominada *aocs* (tipificada por *Attitude and Orbit Control Subsystem*), a qual por sua vez possui uma propriedade de valor denominada *currentOrbitRadius* (do tipo *km*). Portanto, o diagrama paramétrico da figura A2.38 mostra *systemOfInterest* com uma borda tracejada e *aocs* com uma borda sólida. A propriedade de valor *currentOrbitRadius* aparece aninhada com sua possuidora, *aocs*.

As notações para a propriedade de valor e a propriedade de parte são as mesmas: um retângulo com uma borda sólida. A forma de distinguí-las no diagrama é: as propriedades de valores aparecem unidas aos parâmetros de restrição, e as propriedades de parte não (DELLIGATTI, 2014).

Para ligar os blocos no diagrama paramétrico, a SysML define uma classe especial de conector denominada conector de junção, o qual representa um relacionamento de igualdade entre dois elementos atados em suas extremidades. Um deles deve ser um parâmetro de restrição. O outro pode ser uma propriedade de valor ou outro parâmetro de restrição contido em uma expressão de restrição (equação) diferente. A notação para um conector de junção é uma linha sólida

conectada nas bordas dos dois elementos de ligação (DELLIGATTI, 2014). Todos os conectores do diagrama da figura A2.38 são conectores de junção.

Cabe notar que os conectores de junção não entregam informação sobre direção. Quando um valor é assignado para uma propriedade de valor, seja durante a operação do sistema ou durante o tempo de execução da análise, o parâmetro de restrição na outra extremidade do conector de junção assume instantaneamente o mesmo valor. Esse fica disponível para a propriedade de restrição que possui o parâmetro de restrição. Então, se foram supridos valores para todos os parâmetros da expressão (equação) a propriedade de restrição entrega o valor verdadeiro ou falso; ou ainda, se foram supridos valores para todos os parâmetros de restrição menos um da equação, é calculado um valor para o parâmetro de restrição que não recebeu um valor através do seu conector de junção. Esta última asserção implica em que nenhum parâmetro de restrição na expressão é assumido, antes do tempo, como sendo a variável dependente. E isso é verdadeiro mesmo se uma expressão de restrição é escrita com uma variável isolada em um dos lados. A variável dependente pode mudar em cada execução de análise, na medida em que diferentes propriedades de valores recebem asserções de valor (DELLIGATTI, 2014).

APÊNDICE 3 - Origem, base conceitual e caracterização da DSR

Apresenta-se sucintamente, a seguir, a história da alteração gradual do entendimento da comunidade científica quando ao significado do design e seu papel na construção da base do conhecimento, bem como seus desdobramentos até o surgimento da DSR. Ela foi extraída de trabalhos com escopo histórico e descritivo dos sucessivos conceitos assentados de “design”, “design science” e finalmente “design science research”.

Para garantir a relevância das informações foi realizada uma revisão sistemática da literatura. Buscou-se, no Google Scholar, pelas palavras “Design Science Research” e o termo semi-correlato “Design Thinking”, sem recorte de data. Foi realizada uma busca não exaustiva, sendo analisados os trabalhos das três primeiras páginas de busca. A partir da leitura do título e resumo selecionou-se artigos de autores diferentes, com o escopo voltado para a fundamentação teórica e para o desenvolvimento do conceito de design e caracterização da DSR. Foram selecionados apenas trabalhos com mais de 100 citações, para garantir a relevância do acervo selecionado na comunidade científica. Em seguida, conforme proposto por Gough, Oliver e Thomas (2013), seguiu-se as referências dos artigos para encontrar-se os trabalhos seminais e os de maior impacto neste domínio. Ao todo, foram selecionados 8 trabalhos. Os autores dos mesmos são pesquisadores das áreas de sistemas de informações, design, administração e engenharia de produção (BUCHANAN, 1992; DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013; PEFERS et al., 2007; PRAT; COMYN-WATTIAU; AKOKA, 2014; SIMON, 1996), áreas que são correlatas à deste trabalho. A ligação de autores destas áreas com a DSR evidencia a assertividade da sua seleção como a abordagem metodológica para a condução desta pesquisa.

Entre os trabalhos selecionados, está o considerado seminal no tema - o livro “Sciences of the Artificial” de Simon, publicado pela primeira vez em 1968 (GREGOR; HEVNER, 2013; HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013), o qual, somente na sua terceira edição (SIMON, 1996), acumula mais de 27 mil citações identificadas pelo portal Google Scholar; e o de Buchanan, conhecido teorista do

design (BUCHANAN, 1992), com mais de 3500 citações (GOOGLE SCHOLAR, 2020). O bojo dos documentos selecionados também contém trabalhos estruturais no domínio da pesquisa sobre DSR, com mais de 5000 citações (GOOGLE SCHOLAR, 2020), como o de Hevner et al. (2004), o qual apresenta linhas gerais a serem consideradas na condução de uma DSR, e o de Peffers et al. (2007), que apresenta um método contendo uma sequência de atividades para a condução de uma DSR.

Uma vez assentada a solidez das fontes consultadas, pode-se avançar para a narrativa histórica, nelas fundamentada, do avanço do entendimento sobre o significado do termo original “design”, até a extensão da sua ramificação: “design science research”. A base conceitual que originou o DSR pode ser mapeada desde a época do iluminismo, no século 18. Mokyry (2002) a identificou na afirmação de Diderot:

“É claro a partir do precedente que cada “arte” [técnica] tem seus lados especulativo e prático. O especulativo é o conhecimento teórico sobre os princípios da técnica; o prático é a aplicação habitual e instintiva dos mesmos. É difícil, senão impossível, realizar muito progresso na aplicação sem a teoria; por outro lado, é difícil entender a teoria sem o conhecimento da técnica (sobre “Arte”, em “Encyclopédie” (1751-1765) (GREGOR; HEVNER, 2013).

Suas palavras contém o gene do pensamento o qual, séculos mais tarde, gerou a ideia, hoje já assentada em parte da comunidade científica, de que *há ciência* no estudo e na expansão do *conhecimento da técnica de design*, ou, dito de outra forma, *há ciência no como* resolver problemas de design.

O teorista do design Richard Buchanan (JOHANSSON-SKÖDBERG; WOODILA e ÇETINKAYA, 2013) traçou a história do design, destacando a origem e a base filosófica dos conceitos que mais tarde conduziram ao desenvolvimento da “design science”. Buscando fundamentar a sua argumentação, ele primeiramente apresenta as chamadas “artes liberais”, nascidas na Renascença, as quais são disciplinas do pensamento que podem ser compartilhadas até certo grau por todos homens e mulheres e são ensinadas por algumas pessoas que praticam a disciplina com um insight distintivo, avançando algumas vezes para novas áreas de aplicação

inovadora. Elas foram gradualmente desenvolvidas até culminarem como uma visão de uma educação enciclopédica das belas artes, da escrita, da história, das ciências naturais, da matemática, da filosofia e das ciências sociais. No século dezenove, os temas existentes foram explorados com métodos progressivamente mais refinados e novos temas foram adicionados em harmonia com os avanços no conhecimento. Esses contribuíram para a sua fragmentação, na medida em que foram tornando-se mais estreitos em escopo, mais numerosos e perderam conexão de uns com os outros em assuntos da vida diária dos quais selecionam alguns aspectos para análise. Então, a busca de disciplinas integrativas para complementar as artes e as ciências tornou-se um dos temas centrais da vida intelectual e prática no século vinte. No âmbito deste esforço destaca-se o trabalho de John Dewey (1929): “The Quest for Certainty” (A Busca por Certeza) (DEWEY, 1929). Em lugar de tratar a ciência como primária e a arte como secundária, Dewey considerou a ciência como sendo arte. Para ele, a tecnologia era uma *arte do pensamento experimental*.

As ideias de Dewey foram a semente do surgimento de uma nova árvore do conhecimento, por meio da qual o design cresceu gradualmente de uma atividade para uma profissão segmentada, para um campo de pesquisa técnica e para uma *arte neo liberal de cultura tecnológica*, a qual envolve integrações concretas do conhecimento que combinarão a teoria com a prática para novos propósitos produtivos.

Buchanan (1992) explica que o padrão que está por trás do pensamento do design é encontrado num rico e diversificado conjunto de alocações - sinais, coisas, ações e pensamentos. As alocações são as ferramentas através das quais o designer intuitivamente ou deliberadamente formata a situação de design, identificando a visão de todos os participantes, os temas que concernem a eles e a invenção que servirá como a hipótese de trabalho para a exploração e o desenvolvimento. Ao fazer isso o designer estabelece o princípio da relevância para o conhecimento das artes e das ciências, determinando como esse conhecimento pode ser útil para o pensamento do design. A hipótese de trabalho que conduzirá a um produto particular é estabelecida sobre este princípio, guiando os esforços dos designers para reunir todo o conhecimento disponível sobre o *como* o produto é finalmente planejado.

Segundo Buchanan (1992), o problema dos designers é conceber e planejar o que não existe. Esta é uma atividade inventiva, que exige criatividade. Uma vez que

o design seja realizado, a hipótese de trabalho pode converter-se num processo definido de design, o qual é em si um conhecimento que pode ser sistematizado, registrado e incorporado à base de conhecimento.

Herbert Simon captou este conceito, enxergando a possibilidade de estudar o mapa cognitivo do homem para resolver um problema. Postulando como “artificial” tudo o que for produzido ou inventado pelo homem, Simon propôs uma doutrina sobre o processo de design, a qual rotulou de “ciência do artificial” (SIMON, 1969; BUCHANAN, 1992; LACERDA et al. 2013).

Simon (1969) viu o problema da artificialidade como uma explicação da dificuldade que havia encontrado em preencher a engenharia e outras profissões com uma substância teórica distinta daquela das ciências que as suportam. A engenharia, a medicina, os negócios, a arquitetura e a pintura estão relacionadas não com o como as coisas são, mas como elas poderiam ser, logo, por meio do design. Simon vislumbrou a possibilidade de criar uma “ciência das ciências” do design. Por isso apontou a necessidade de criar-se um corpo de conhecimento rigoroso e validado (ciência) que se dedique a propor *como* construir artefatos que possuam certas propriedades desejadas – isto é, como projetá-los. Esta é a “ciência do projeto”, ou “design science” (LACERDA et al., 2013). A proposta de Simon foi amplamente aceita e a design science ganhou reconhecimento na comunidade científica (GREGOR; HEVNER, 2013).

A design science é uma ciência humanística de produção direcionada a entender a natureza, forma e usos dos produtos feitos pelo homem, em todas as maneiras, de forma genérica (BUCHANAN, 1992). No paradigma da design science, o conhecimento e a compreensão do domínio de um problema e sua solução são obtidos pela construção e a aplicação de um artefato projetado (HEVNER et al., 2004). O paradigma da ciência comportamental tem suas raízes nos métodos de pesquisa da ciência natural. Ele procura desenvolver e justificar teorias (ex.: princípios e leis) que explicam ou predizem fenômenos organizacionais e humanos envolvendo a análise, design, implementação, gerenciamento e uso. Enquanto as ciências naturais e sociais procuram entender a realidade, a design science busca *criar* coisas que servem para propósitos estabelecidos pelos seres humanos (PEFFERS et al., 2007).

Pefferers et al. (2007) argumentam que os paradigmas de pesquisa dominantes usados para produzir e publicar trabalhos eram mormente os da pesquisa tradicional

descritiva, emprestados das ciências sociais e naturais. Mas as disciplinas de engenharia já aceitavam o design como uma metodologia de pesquisa válida e valiosa, pois atribuem explicitamente valor em soluções incrementais para problemas aos quais sejam efetivamente aplicáveis. Ou seja, como projeto, o ato de criar uma solução explicitamente aplicável a um problema é um paradigma de pesquisa aceito em disciplinas como a engenharia (PEFFERS et al., 2007).

A DSR é o método que operacionaliza a construção do conhecimento na design science, pois inclui, além das atividades de construção e aplicação de novos artefatos, uma etapa de avaliação, o que robustece a pesquisa (COSTA et al., 2018; HEVNER et al., 2004). Assim, permite a extração de conclusões que se transformem em incrementos à base de conhecimento científico. Portanto dá o respaldo metodológico para as pesquisas que desenvolvam artefatos, os apliquem em um contexto organizacional (com ou sem a cooperação dos envolvidos) e os avaliem (LACERDA et al., 2013).

Desde a publicação do trabalho de Hevner et al. (2004), a DSR tem sido objeto de crescente atenção, sendo que agora é considerada como um método de pesquisa firmemente estabelecido, embora ainda em estágio de maturação (FISCHER, 2011).

Caracterização da DSR:

A DSR engloba um processo conduzido com rigor científico para projetar artefatos para resolver problemas observados, para fazer contribuições de pesquisa, para avaliar os projetos e para comunicar os resultados para audiências apropriadas (HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013; PEFFERS et al., 2007). Tais artefatos podem incluir construtos, modelos, métodos e instanciações (PEFFERS et al., 2007; LACERDA et al., 2013). March e Smith (1995) explicam cada um deles. Os construtos são conceitos que descrevem problemas e especificam soluções, e portanto definem os termos usados para descrever as atividades envolvidas. Os modelos representam situações como problema e solução. Na DSR não é necessário que eles sejam aderentes a verdade em todos os detalhes; contudo, ainda assim devem representar de forma útil a estrutura da realidade. Métodos são

um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa, os quais baseiam-se em um conjunto de construtos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Os métodos são criações típicas das pesquisas em *Design Science* e podem utilizar partes do modelo como entradas e ou traduzir um modelo ou representação para a resolução de um problema. As instanciações consistem-se na concretização de um artefato em seu ambiente, e operacionalizam construtos, modelos e métodos. Servem para demonstrar a viabilidade e a eficácia dos modelos e dos métodos que elas contemplam.

A teoria do design, base da DSR, é prescritiva, enquanto a da ciência comportamental é descritiva (GREGOR; HEVNER, 2013; LACERDA et al., 2013). Van Aken (2004), apresenta a lógica de uma heurística prescritiva da seguinte forma: “Se você quer atingir Y em uma situação Z, então você deve realizar a ação X”. Analogamente, uma Instanciação significaria dizer: Se é necessário atingir Y (Objetivo da Instanciação), em uma situação Z (Ambiente Externo), então você deverá utilizar X (Construto, Modelo ou Método – incluindo a forma de colocá-los em prática) (LACERDA et al, 2013).

Na DSR, as necessidades do negócio são abordadas e avaliadas dentro do contexto organizacional - estratégias, estrutura, cultura e processos de negócio existentes. Elas são contrastadas com a tecnologia, a infra-estrutura, as aplicações, as arquiteturas de comunicação e as capacidades de desenvolvimento existentes. Juntas, elas definem a necessidade do negócio, ou o “problema” percebido pelo pesquisador (HEVNER et al. 2004).

Uma vez definido o problema, a pesquisa é conduzida em duas fases complementares. A ciência comportamental aborda a pesquisa através do *desenvolvimento* e da *justificativa* de teorias que explicam ou predizem o fenômeno relacionado com a necessidade identificada. O design science a aborda através da *construção* e da *avaliação* de artefatos projetados para atender a necessidade. A meta da pesquisa comportamental é descobrir a “verdade”. A DSR busca a verdade sobre um fenômeno artificial, ou sobre o comportamento daquilo que é construído pelo homem. Sua meta é encontrar a *utilidade*. O postulado é que há verdade na utilidade (HEVNER et al., 2004). Em outras palavras, a DSR verifica “se é verdade que o artefato projetado resolve o problema”.

Uma questão que deve ser abordada na DSR é o diferenciá-la do design rotineiro praticado nas indústrias. A diferença está na natureza dos problemas e das soluções. O design rotineiro consiste-se na aplicação do conhecimento existente aos problemas organizacionais usando as melhores práticas existentes na base de conhecimento. Já a DSR aborda problemas importantes ainda não resolvidos e entrega uma contribuição para a base de conhecimento de soluções e de metodologias. Straub, Boudreau e Gefen (2004) afirmam que a contribuição para a base de conhecimento é vista como o critério mais importante para a publicação da pesquisa.

Para garantir que existam contribuições teóricas e práticas usando a DSR, March e Storey (2008) identificaram elementos específicos que devem ser considerados: (1) a formalização de um problema relevante; (2) o pesquisador deve demonstrar a falta de métodos adequados para resolver o problema ou da existência de soluções melhores; (3) a utilidade, a qualidade e a eficácia do artefato devem ser rigorosamente demonstradas por meio de métodos bem executados; (4) os artefatos desenvolvidos deveriam ser avaliados adequadamente em termos de sua utilidade e de sua viabilidade para demonstrar sua utilidade prática e acadêmica. A pesquisa deve prover contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos e apresentar base clara em fundamentos de metodologias de projeto (design); (5) deve ser baseada na aplicação de métodos rigorosos tanto na construção quanto na avaliação dos artefatos; (6) a busca por um artefato eficaz requer o uso de meios que estão disponíveis para atingir os propósitos desejados, enquanto satisfazendo as leis que governam o ambiente no qual o problema está sendo estudado; (7) a pesquisa deve ser apresentada para uma audiência mais orientada à tecnologia e outra mais orientada à gestão.

As contribuições da DSR são avaliadas quanto a aplicação à necessidade do negócio em um ambiente apropriado e a adição de conteúdo à base de conhecimento para pesquisas e práticas posteriores (HEVNER et al., 2004).

Segundo Gregor e Hevner (2013), a DSR pode trazer duas espécies de contribuição para o cabedal do conhecimento científico: a primeira é o próprio artefato, o qual é algo que tem ou pode ser transformado num objeto material existente ou feito artificialmente (construto, método, modelo e ou instanciação). A segunda contribuição é normalmente uma teoria nascente (ex.: sobre o projeto do

artefato), na qual construtos e declarações estão claramente definidos com descrições de conhecimentos num nível abstrato, mas não há uma explicação sobre porque o artefato funcionou, ou seja, o artefato não foi exaustivamente testado. Se o conhecimento estivesse maduro a este ponto, formalizar-se-ia uma *teoria*. A contribuição pode ser uma construção parcial de teoria, contudo ainda significativa e publicável, por ser “nova para o mundo” (porém construída a partir de ideias anteriores da literatura).

O desenvolvimento do artefato deve ser um processo de pesquisa que provém de teorias existentes na base de conhecimento para emergir com uma solução para um problema definido (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al, 2007). A base de conhecimento provê a matéria prima a partir da qual a pesquisa é realizada. Entende-se por base de conhecimento o ambiente no qual o pesquisador pode determinar quais teorias ou artefatos foram previamente usados ou desenvolvidos por pesquisadores (DRESCH, LACERDA e ANTUNES, 2015). O rigor na pesquisa é obtido por aplicar apropriadamente fundações ou metodologias existentes nas atividades de desenvolvimento, construção, justificação e avaliação dos artefatos construídos (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; HEVNER et al., 2004).

Na condução da criação do artefato na DSR, o conhecimento existente é utilizado, onde for apropriado; contudo, frequentemente ele é inexistente (MARKUS; MAJCHRZAK; GASSER, 2002). Assim, é característico da DSR apoiar-se na criatividade e pesquisa por “tentativa e erro”. E como os resultados da DSR são codificados na base de conhecimento, tornam-se as “melhores práticas” (HEVNER et al., 2004).

Avison e Pries-Heje (2005) apresentam alguns conceitos gerais que definem a contribuição de uma tese de doutorado. Eles mencionam que uma das formas de contribuição é o *desenvolver ou demonstrar um projeto novo ou melhorado de um artefato físico ou conceitual*. A contribuição pode ser demonstrada por raciocínio, prova de conceito, prova de valor adicionado ou prova de aceitação e uso (GREGOR; HEVNER, 2013). O objetivo geral desta tese está alinhado com esta forma. Como a DSR conduz o pesquisador no desenvolvimento das atividades de construção e de avaliação do artefato, ela é adequada para ser usada como método de pesquisa na presente tese, com o objetivo de prover a contribuição científica esperada.

Segundo Gregor e Hevner (2013), além da contribuição científica, a DSR deve fazer contribuições claras no ambiente de aplicação do mundo real para o qual o problema ou a oportunidade de pesquisa foram definidos. As contribuições da DSR podem ser: (i) Invenções, ou novas soluções para novos problemas; (ii) Melhoramentos, ou novas soluções para problemas conhecidos; (iii) Soluções conhecidas extendidas para novos problemas ou (iv) Projetos de rotina, ou soluções conhecidas para problemas conhecidos. Neste último caso, não há contribuição científica relevante. A classe de contribuição da presente pesquisa é a segunda (melhoramentos). Propõe-se uma solução nova (o PSS) para um problema conhecido (gerenciamento dos resíduos orgânicos sólidos por pequenos municípios brasileiros de modo a atender as diretrizes da PNRS).

Gregor e Hevner (2013) esclarecem que a contribuição científica na forma de melhoramento envolve a criação de melhores soluções na forma de produtos, processos, serviços, tecnologias ou ideias mais eficientes e efetivas, num contexto de aplicação conhecido, para o qual soluções de artefatos úteis não existam ou sejam sub-otimizadas. Neste caso, o desafio chave é demonstrar que a solução realmente avança para além do conhecimento prévio.

Os autores também esclarecem que, após descrever o design do melhoramento, o artefato deve ser avaliado para prover evidência convincente de seu avanço sobre as soluções atuais. Este pode ser na forma de melhora na eficiência, produtividade, qualidade, competitividade, fatia de mercado ou outras medidas, dependendo das metas da pesquisa.

Gregor e Hevner (2013) também explicam que, na DSR de melhoramento, os projetos contribuem para a base de conhecimento na forma de artefatos. Os autores ainda aclaram que frequentemente são construídas instanciações para avaliar o nível de melhoramento em relação às soluções existentes. Conforme for apropriado, artefatos gerais na forma de construtos, métodos, modelos e princípios de design são propostos como melhoramentos. Adicionalmente, pode ser formulada uma teoria de faixa intermediária. E as avaliações do artefato melhorado podem levar a contribuições à base de conhecimento na forma da expansão do entendimento de teorias já conhecidas ou no desenvolvimento de teorias comportamentais do artefato em uso.

APÊNDICE 4 - Relevância do trabalho de Hevner et. al (2004)

No domínio da DSR, onde a busca pelo termo “design science research” sem recorte de datas retorna 23500 resultados (GOOGLE SCHOLAR, 2020), o artigo de Hevner et al. (2004) acumula 12921 citações (GOOGLE SCHOLAR, 2020), o que mostra seu peso quase normativo na área. Numa amostra de 8 trabalhos sobre DSR posteriores a esta publicação, selecionados para análise prévia, obtida em consulta ao site do Google Scholar (GOOGLE SCHOLAR, 2020), 7 citam este trabalho (COLLATO et al., 2017; DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2019, 2015; GREGOR; HEVNER, 2013; LACERDA et al., 2013; PEFERS et al., 2007; PRAT; COMYN-WATTIAU; AKOKA, 2014).

APÊNDICE 5 - Alinhamento com as guias de Hevner et al. (2004)

O presente relaciona as guias propostas por Hevner et al. (2004) para a condução da DSR com os passos seguidos na condução desta pesquisa. Segundo os autores, a DSR requer:

- (i) a *criação de um artefato inovador e adequado para um domínio de problema específico;*
- (ii) *Este artefato deve ser útil para a solução do problema; portanto*
- (iii) *sua avaliação é crucial;*
- (iv) *O artefato deve ser inovador, resolvendo um problema ainda não solucionado;*
- (v) *O artefato deve ser rigorosamente definido, formalmente representado, coerente e internamente consistente;*
- (vi) *incorpora um processo de pesquisa no qual um espaço de problema é construído e um mecanismo colocado ou habilitado para construir uma solução efetiva;*
- (vii) *os resultados devem ser comunicados para uma audiência com conhecimento técnico na área do artefato (pesquisadores que irão estendê-lo e implementá-lo) e com conhecimento gerencial (pesquisadores que o estudarão no contexto e praticantes que decidirão se ele será implementado em suas organizações).*

(i) Design como um artefato

Hevner et al. (2004) argumentam que o artefato deve ser descrito ou representado de uma forma efetiva, que viabilize sua implementação e aplicação num domínio apropriado. Os autores apresentam o modelo de relacionamento de entidades de Chen (1976) como uma proposta de conjuntos de construtos para a representação da semântica dos dados. A descrição deve incluir os construtos, modelos e os métodos utilizados no seu desenvolvimento. Mas os autores ressaltam que os artefatos construídos na DSR raramente são sistemas completos

usados na prática. De acordo com Denning (1997) e Denning e Metcalfe (1997), eles são inovações que definem ideias, práticas, capacidades técnicas e produtos através dos quais a análise, design, implementação e uso dos sistemas de informação pode ser cumprida de forma efetiva e eficiente.

Os autores também asseveram que a instanciação do artefato demonstra sua adequação tanto para o processo de design quanto para o produto projetado. As instanciações produzidas podem ser na forma de ferramentas intelectuais de software para melhorar o processo de desenvolvimento de informação.

Nesta pesquisa, seguindo a proposta de Hevner et al., 2004, o artefato foi desenvolvido pelo uso de dois modelos reconhecidos pela comunidade científica, o Mapa do PSS, proposto por Costa et al. (2018) e o Service Blueprint para PSS proposto por Geum e Park (2011), adaptado para o contexto deste trabalho. Sua representação é apoiada pela linguagem considerada normativo de mercado para a representação de sistemas – a SysML (SysML), conforme é explicado na seção 3.3 deste trabalho.

Em linha com a informação dada pelos autores, não foi entregue um sistema no nível de detalhamento requerido para a implementação prática. Porém o mesmo é suficientemente detalhado para permitir a compreensão clara do sistema de atores, da rede de relacionamentos entre eles, dos valores associados aos mesmos e da sua respectiva natureza, de modo que suporte uma tarefa de posterior detalhamento visando a sua implementação num cenário real.

(ii) Relevância do problema

Segundo Hevner et al. (2004), a relevância é avaliada com respeito a comunidade que planeja, gerencia, projeta, implementa, opera e avalia o sistema objeto de análise, e as tecnologias que viabilizam seu desenvolvimento e implementação. Formalmente, um problema pode ser definido como as diferenças entre um estado futuro desejado e o estado atual de um sistema. A resolução do problema pode ser definida como um processo de pesquisa. Portanto, o ambiente impõe um critério objetivo e as limitações para um sistema. Empresas são entidades existentes num contexto econômico e social, as quais são orientadas por metas. A teoria econômica frequentemente apresenta as metas das empresas como estando relacionadas com a maximização do lucro. Portanto, problemas ou oportunidades de

negócio são frequentemente relacionados com o aumento das receitas ou o decréscimo de custos por meio de processos de negócio efetivos.

O caso desta pesquisa alinha-se com esta premissa, pois o objetivo está relacionado com a compatibilidade dos custos da solução proposta com o orçamento do município e com a atratividade econômica para o provedor do PSS. Por consequência, as métricas selecionadas para a avaliação do artefato estão fundadas na teoria econômica, são ligadas a valores econômicos e são de natureza quantitativa, conforme detalhado na seção 3.3.

(iii) Avaliação do Design

De acordo com Hevner et al. (2004), a utilidade, a qualidade e a eficácia de um artefato construído devem ser rigorosamente demonstradas via métodos de avaliação bem executados. A avaliação de um artefato requer a definição das métricas apropriadas e a possibilidade de obter e analisar os dados. Os artefatos podem ser avaliados em termos de funcionalidade, completeza, consistência, acuracidade, performance, confiabilidade, usabilidade, adequação a organização e outros atributos de qualidade relevantes.

Os autores ainda argumentam que, quando métodos analíticos são apropriados, os artefatos construídos podem ser avaliados matematicamente. Eles citam um exemplo da avaliação de uma base de dados distribuída, proposta por Johansson-Sködberg, Woodila e Çentikaya (2013), usando como critério o custo de operação. O ambiente de negócio estabelece os requisitos a partir dos quais a avaliação do artefato é realizada.

Para Hevner et al. (2004), um artefato é completo e efetivo quando satisfaz os requisitos e as limitações do problema. Os autores apresentam diversos métodos de avaliação existentes na base de conhecimento, classificando-os como Observacionais, Analíticos, Experimentais, Testes e Descritivos. A seleção dos mesmos deve corresponder com a natureza do artefato e com as métricas selecionadas. Os autores argumentam que métodos descritivos devem ser usados somente para artefatos especialmente inovadores para os quais outras formas de avaliação não é possível.

No caso desta pesquisa, métricas analíticas de avaliação, fundadas na teoria econômica, são apropriadas, utilizando-se da Análise Estática do PSS (HEVNER et

al., 2004; LACERDA et al., 2013), pelo critério lógico de viabilidade econômica para ambos atores: provedor e município.

Dada a natureza inovadora da solução proposta neste trabalho, ela também enquadra-se na classe de artefatos que podem ser analisados utilizando-se o método Descritivo. Portanto, usou-se o método do Argumento informado, proposto por vários autores (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013), o qual consiste-se no uso das informações extraídas da base de conhecimento para construir um argumento convincente sobre a utilidade do artefato. Dresch, Lacerda e Miguel (2015) aclaram que pode-se descrever as qualidades do artefato que cobrem as lacunas identificadas em trabalhos anteriores, respondendo a questão de pesquisa. Este argumento é apresentado na seção Resultados e Discussão, no capítulo 4 desta tese.

(iv) Contribuições de pesquisa

Hevner et al. (2004) afirmam que a DSR deve prover contribuições claras nas áreas do design do artefato, do conhecimento sobre a construção do artefato e ou do conhecimento sobre a avaliação do design (ex.: metodologias). Normalmente a contribuição da DSR é o próprio artefato, o qual viabiliza a solução de problemas ainda não resolvidos.

Os autores também esclarecem que o desenvolvimento criativo de construtos, modelos, métodos ou instanciações apropriadamente avaliados que estendam e aumentem as fundações existentes na base de conhecimento da design science é também uma contribuição importante. Formalismos de modelagem, ontologias, representações de soluções, de problemas e de algoritmos são exemplos. Também são fontes de contribuições o desenvolvimento criativo e o uso de métodos de avaliação.

No caso desta pesquisa, o PSS proposto consiste-se no artefato da DSR. Por consequência, ele (o artefato) é a contribuição principal da pesquisa. O método ideado para o projeto do PSS é uma contribuição adicional, cuja efetividade é avaliada conjuntamente com o artefato. Conforme Prat, Wattiau e Akoka (2014), o mesmo é considerado validado para o contexto de aplicação proposto na pesquisa caso se obtenha uma solução satisfatória por meio do artefato. O resultado da avaliação é apresentado na seção Resultados e Discussão, no capítulo 4 desta tese.

(v) Rigor da Pesquisa

O rigor refere-se a maneira na qual a pesquisa é conduzida. A DSR requer a aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção quanto na avaliação do artefato. Relativamente a atividade de construção na DSR, o rigor deve ser avaliado com respeito a aplicabilidade e a generalização do artefato (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; HEVNER et al., 2004), pois um excesso de ênfase na exigência de rigor pode diminuir a relevância da pesquisa.

O rigor é derivado do uso efetivo da base de conhecimento - fundações teóricas e metodologias de pesquisa. O sucesso advém da habilidade do pesquisador de selecionar técnicas apropriadas para desenvolver ou construir uma teoria ou artefato e de selecionar meios apropriados para justificar a teoria ou avaliar o artefato. Os pesquisadores de DSR devem constantemente abordar a adequação das suas métricas. A construção de métricas efetivas é uma parte importante da DSR. O principal objetivo é determinar quão bem o artefato funciona.

Para o caso desta pesquisa, o método para o desenvolvimento do artefato foi construído a partir de uma revisão sistemática, pela análise e integração indutiva e dedutiva das propostas da literatura, como realizado por Peffers et al., (2007) e Prat, Comyn-Wattiau e Akoka (2014), seguindo o procedimento de construção teórica proposto por Meredith (1993), como é detalhado na seção 3.3. Segundo Peffers et al. (2007), a validade das etapas de um método construído, resultantes de uma integração consensual, é intrínseca da sua natureza. E conforme Baskerville, Pries-Heje e Venable (2009) e Dresch, Lacerda e Miguel (2015), a validade dos passos integrantes de um método, as quais não sejam consensuais na literatura, é comprovada pela obtenção de uma solução satisfatória para o problema.

Para a avaliação da viabilidade do artefato construído nesta pesquisa, selecionou-se a prova lógica, como proposto por Simon (1996) e Peffers et al. (2007). Neste caso, o critério é: o custo mensal da solução para o município deve ser *menor que* (<) o seu orçamento mensal atual para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos; e a taxa interna de Retorno (TIR) do investimento, para o provedor, deve ser maior que (>) a taxa mínima de atratividade (TMA) determinada. As métricas estão baseadas na teoria econômica.

Selecionou-se também o método de avaliação funcional, utilizando-se o critério do Argumento informado (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013), descrevendo-se as qualidades do artefato que cobrem as lacunas identificadas em trabalhos anteriores, respondendo a questão de pesquisa. Este argumento é apresentado na seção Resultados e Discussão, no capítulo 4 desta tese.

(vi) Design como um processo de pesquisa

Segundo Hevner et al. (2004), a natureza do processo de design é iterativa, seguindo um ciclo de projeto / teste. A abstração e a representação apropriada de meios, fins e leis são componentes cruciais para a DSR. Meios são um conjunto de ações e recursos disponíveis para construir uma solução. Fins representam as metas e as limitações da solução. Leis são forças incontroláveis no ambiente. Contudo, dado ao fato de muitos problemas constituírem *wicked problems*, pode não ser possível determinar os meios, fins ou leis. Conforme definido por Rittel, na década de 60, o termo *wicked problems* corresponde a “uma classe de problemas sociais insuficientemente formulados, onde a informação é confusa, existem muitos clientes e tomadores de decisão com valores conflitantes e as ramificações do sistema como um todo são confusas” (BUCHANAN, 1992). Em tais situações, busca-se por soluções satisfatórias, sem especificar explicitamente todas as soluções possíveis. Nestes casos, embora sua construção seja baseada na teoria pregressa e no conhecimento de design existente, pode ou não ficar inteiramente claro porque ele funciona ou a extensão da sua possibilidade de generalização. Neste caso, segundo Meehl (1986), o conhecimento gerado se qualifica como “conhecimento credenciável”.

Concluiu-se que o problema de pesquisa é um “wicked problem”, pois deve-se conciliar visões conflitantes de atores diversos. Enquanto, para o município, quanto menor o custo da solução, *melhor*, para o provedor, a lógica é inversa. Há ainda as restrições legais que precisam ser observadas (da PNRS). Portanto, seguindo a orientação da literatura, buscou-se obter uma solução satisfatória (não otimizada). Nesta pesquisa havia a perspectiva de gerar-se também conhecimento credenciável: a aplicação possível do artefato para outros municípios além do selecionado para a

avaliação. Esta questão é abordada em detalhes na seção Resultados e Discussão, no capítulo 4 desta tese.

(vii) Comunicação

Uma audiência orientada para a tecnologia precisa de detalhes num nível suficiente para viabilizar a implementação do artefato e usá-lo num contexto organizacional. Outra, orientada para o gerenciamento, precisa de detalhes em nível suficiente para entender qual o conhecimento e os recursos necessários para aplicar o artefato. A ênfase deve ser dada na importância do problema, na novidade e na efetividade da abordagem da solução provida pelo artefato. Pode ser necessário descrever o artefato com algum nível de detalhe e apresentá-lo em apêndices concisos e bem organizados para possibilitá-los apreciar a sua natureza e entender a sua aplicação.

É importante que a audiência entenda os processos pelos quais o artefato foi construído e avaliado. Isso estabelece a repetibilidade do projeto de pesquisa e constrói a base de conhecimento para posteriores extensões da pesquisa.

A comunicação formal dos resultados desta pesquisa se dá por meio da presente tese. Partes da pesquisa também foram comunicadas - na forma de publicação de artigo científico numa Revista de impacto na comunidade científica, no domínio relacionado ao escopo do trabalho - Waste Management (CARVALHO et al., 2020), de um capítulo do livro “Passando a Limpo a Gestão Pública: arte, coragem, loucura” (CARVALHO et al., 2020) e nas contribuições encaminhadas à Consulta Pública do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), aberta pelo Governo Federal – Ministério do Meio Ambiente, inclusas no Apêndice 9 desta tese.

Seguindo as proposições para a apresentação do artefato de Hevner et al. (2004), e Gregor e Hevner (2013), foi entregue uma *descrição informal, em linguagem natural, do design do artefato (o PSS)*, no capítulo 4 (Resultados). Esta foi apoiada por uma representação formal pelo método Service Blueprint para PSS modificado, pelo Mapa Organizacional do PSS, proposto por Costa et al. (2018), contendo a representação dos atores e dos fluxos de recursos e materiais, e pelos 9 diagramas da SysML, conforme detalhado na seção 3.3. Foram também apresentados os resultados da avaliação do artefato segundo as métricas

estabelecidas, oriundas da teoria econômica, utilizando os métodos selecionados (TMA e VPL), no capítulo 4.

APÊNDICE 6 - Seleção do método para a condução da DSR

Dresch, Lacerda e Miguel (2015) elencaram várias propostas de métodos de condução de uma DSR consideradas relevantes na comunidade acadêmica, as quais são apresentadas na Tabela A6.1. Analisou-se o impacto de cada uma delas na comunidade, considerando o número de citações de cada uma encontrado no Google Scholar, o qual foi inscrito na coluna da direita.

Tabela A6.1 - Impacto das propostas de método para a condução do DSR

Propostas de métodos para a condução da DSR	Citações google
Takeda, Veerkamp e Yoshikawa (1990)	742
Eekels e Roozenburg (1991)	180
Nunamaker, Chen e Purdin (1991)	1648
Walls, Wyidmeyer e Sawy (1992)	1683
Van Aken (2004)	1590
Vaishnavi e Kuechler (2011)	não informado - web page
Cole et al. (2005)	382
Manson (2006)	175
Peppers et al. (2007)	5374
Gregor e Jones (2007)	1628
Baskerville, Pries-Heje e Venable (2009)	244
Alturki, Gable e Bandaraw (2011)	70

Fonte: Construído a partir de Dresch, Lacerda e Miguel (2015).

A proposta de Peppers et al. (2007) acumula 5374 citações, quase o triplo do número da proposta na segunda posição, de Walls, Wyidmeyer e Sawy (1992). Salienta-se que a primeira é cerca de 15 anos mais recente que a segunda. Teve, portanto, muito menos tempo para obter reconhecimento.

O grande impacto da publicação de Peppers et al. (2007) a credencia como referência. Assim, o método selecionado para a condução da pesquisa foi o proposto em seu trabalho - o Design Science Research Methodology (DSRM).

APÊNDICE 7 - Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(continua)

	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGE	
LISTA DE PRESENÇA	
Data: 18.06.2019	
Pauta da reunião: Sessão criativa com o objetivo de definir os critérios para a escolha do município alvo para o projeto do PSS.	
Participante	Assinatura
Anderson Catapan	
Caroline da Rocha Franco	
Jairo Pablo Alves de Carvalho	
Nilcéia Perez Ribeiro	

APÊNDICE 7 – Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(continua)



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGEM

Ata de reunião da equipe de projeto do PSS, realizada em 18.06.2019.

As treze horas e vinte minutos do dia dezoito de junho de 2019, reuniram-se, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Curitiba - Centro, os membros da equipe de projeto do PSS. Após a abertura da reunião, o Prof. Anderson Catapan, atuando como facilitador da reunião de sessão criativa, sugeriu que os participantes sugerissem ideias para a definição dos critérios para a escolha do município alvo da solução PSS a ser ideada. As ideias foram formuladas com base na experiência dos participantes e na consulta a bases de dados de notícias sobre o gerenciamento de resíduos sólidos realizada durante a reunião. Foram registradas as propostas em um notebook e votadas, sendo que definiu-se:

- Buscar dados estatísticos dos municípios brasileiros no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
- Selecionar o que fosse representativo do maior número de casos, segundo os critérios de densidade populacional e área territorial, considerando que o que mais afeta o gerenciamento de resíduos sólidos é o custo de transporte, e cujo levantamento de dados fosse viável, considerados os critérios de porte do município, distância geográfica e consequente possibilidade de realização de levantamento de informações no local. Também será considerado como critério o PIB per capita.

Uma vez estando todos de acordo com as decisões tomadas, encerrou-se a reunião. Participaram da reunião: Anderson Catapan, Caroline da Rocha Franco, Jairo Pablo Alves de Carvalho e Nilcéia Perez Ribeiro.

APÊNDICE 7 – Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(continua)



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGEM

LISTA DE PRESENÇA

Data: 02.07.2019

Pauta da reunião: Definição do município alvo para o projeto de PSS, das informações do macro e micro-ambientes de negócios a serem levantadas e dos meios para a sua obtenção.

Participante	Assinatura
Anderson Catapan	
Caroline da Rocha Franco	
Jairo Pablo Alves de Carvalho	
Nilcéia Perez Ribeiro	

APÊNDICE 7 – Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(continua)



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGEM

Ata de reunião da equipe de projeto do PSS, realizada em 02.07.2019.

As treze horas e vinte minutos do dia dois de julho de 2019, reuniram-se, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Curitiba - Centro, os membros da equipe de projeto do PSS. Após a abertura da reunião, os participantes apresentaram as informações de dados estatísticos coletadas definidas na reunião anterior e analisaram-nas segundo os critérios definidos, sendo escolhido o município de Porto Amazonas, no Estado do Paraná como alvo (cliente) para o projeto do PSS. Seu PIB per capita é de R\$20,3 mil, abaixo da média nacional, de R\$29,3 mil (IBGE, 2015). Sua densidade populacional, de 24,19 habitantes / km², é superior à de 52% dos municípios brasileiros (está na posição 2770, da menor para a maior). Sua área territorial, de 186,6 km², é inferior à de 78% dos municípios. Portanto, os resultados obtidos pela avaliação do cenário de Porto Amazonas seriam indicativos de viabilidade potencial para municípios com menor densidade populacional e maior área territorial.

Em seguida, foram coletadas ideias sobre quais critérios deveriam ser avaliados para o levantamento do macro e do micro-ambiente de negócios do município, com base na experiência da equipe de projeto. Definiu-se por realizar consultas nas bases de dados disponíveis na internet das leis federais, estaduais e municipais e regulamentações de órgãos normativos reguladores da matéria com impactos para Porto Amazonas, e realizar entrevistas, apoiadas por questionários estruturados, com os gestores da área de gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos do município.

Foi construída uma proposta de questionário com base na experiência dos participantes e também foram distribuídas as atividades. O participante Jairo Pablo Alves de Carvalho ficou com o encargo de líder de projeto do PSS e a cargo de validar o questionário em entrevista prévia e agendar e conduzir as entrevistas com os gestores do município. Coube às participantes Nilcéia Perez Ribeiro e Caroline da Rocha Franco o levantamento das informações do ambiente regulatório, político e econômico nas bases de dados disponíveis na internet, e ao prof. Catapan auxiliar na definição dos critérios de restrição de projeto após o levantamento dos dados.

Uma vez estando todos de acordo com as decisões tomadas, encerrou-se a reunião. Participaram da reunião: Anderson Catapan, Caroline da Rocha Franco, Jairo Pablo Alves de Carvalho e Nilcéia Perez Ribeiro.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGEM

LISTA DE PRESENÇA

Data: 13.08.2019

Pauta da reunião: Compilação dos dados e informações coletados através das entrevistas com os gestores do município e das consultas as bases de dados, definição e análise dos pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças (SWOT) e sessão criativa para a proposição do modelo de negócio do PSS.

Participante	Assinatura
Anderson Catapan	
Caroline da Rocha Franco	
Jairo Pablo Alves de Carvalho	
Nilcéia Perez Ribeiro	

APÊNDICE 7 – Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(continua)



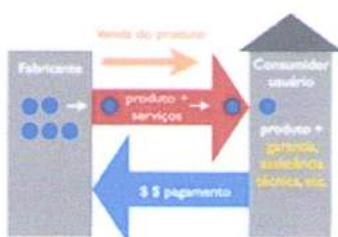
Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGEM

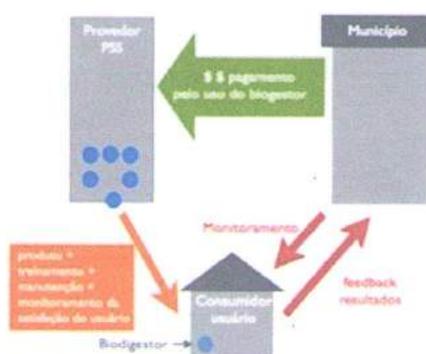
Ata de reunião da equipe de projeto do PSS, realizada em 13.08.2019

As treze horas e vinte minutos do dia treze de agosto de 2019, reuniram-se, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Curitiba - Centro, os membros da equipe de projeto do PSS. Após a abertura da reunião, os participantes apresentaram as informações coletadas através das entrevistas e das consultas as bases de dados. Em seguida, foram compiladas as informações consideradas relevantes para o projeto, foi preenchida a matriz de forças, fraquezas, ameaças e oportunidades do cliente (SWOT) e realizada uma seção criativa, para se propor alternativas de modelos de negócio que satisfaçam as restrições encontradas. Mapeou-se o modelo tradicional e colheu-se as ideias para a proposição de modelos alternativos de cenários de PSS. Após a análise da matriz SWOT e do cenário regulatório, os membros da equipe propuseram apenas uma proposta de modelo geral, esboçada no Mapa Organizacional do PSS a seguir:

Modelo de negócio tradicional:



Modelo proposto - PSS:



APÊNDICE 7 – Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(continua)

Definiu-se também, como atividades futuras: (i) pesquisar as opções de biodigestores de pequeno porte disponíveis no mercado, coletando informações sobre preço, suporte técnico disponibilizado pela fábrica, resistência ao tempo, facilidade de uso e adaptação para alimentação dos fogões movidos a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), que é o tradicional gás de cozinha; (ii) levantar custos de itens de suporte e infra-estrutura cuja necessidade foi identificada, como caminhão de transporte de resíduos fertilizantes produzidos pelos biodigestores, mão de obra, dentre outros; (iii) elaborar planilha com modelo econômico de custos associados a produto, treinamento e manutenção para realizar modelagem econômica prévia de cenários alternativos; (iv) realizar o mapeamento de todas as vias públicas do município de Porto Amazonas para apurar custos logísticos do provedor na entrega da solução.

Uma vez estando todos de acordo com as decisões tomadas, dividiram-se as tarefas e encerrou-se a reunião. Participaram da reunião: Anderson Catapan, Caroline da Rocha Franco, Jairo Pablo Alves de Carvalho e Nilcéia Perez Ribeiro.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGEM

LISTA DE PRESENÇA

Data: 27.08.2019

Pauta da reunião: Analisar as informações coletadas e sessão criativa para realizar as sub-etapas de projeto do produto, da infra-estrutura e da rede de atores do PSS, considerando as restrições levantadas.

Participante	Assinatura
Anderson Catapan	
Caroline da Rocha Franco	
Jairo Pablo Alves de Carvalho	
Nilcéia Perez Ribeiro	

APÊNDICE 7 – Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(continua)



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura - PPGEM

Ata de reunião da equipe de projeto do PSS, realizada em 27.08.2019.

As treze horas e vinte minutos do vinte e sete de agosto de 2019, reuniram-se, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Curitiba - Centro, os membros da equipe de projeto do PSS. Após a abertura da reunião, foram apresentadas as informações sobre as opções de fabricantes de biodigestores disponíveis no mercado; as exigências para a instalação, colocação em operação e manutenção dos biodigestores, os custos dos ativos de infra-estrutura identificados e cotados. Analisando-se as opções dos biodigestores segundo os critérios de durabilidade, fornecimento de serviços de suporte operacional e custo, selecionou-se o produto do fabricante BGS, de Curitiba, por ser tecnicamente equivalente aos demais, possuir menor custo, e ser acompanhado de todos os acessórios necessários para um correto funcionamento.

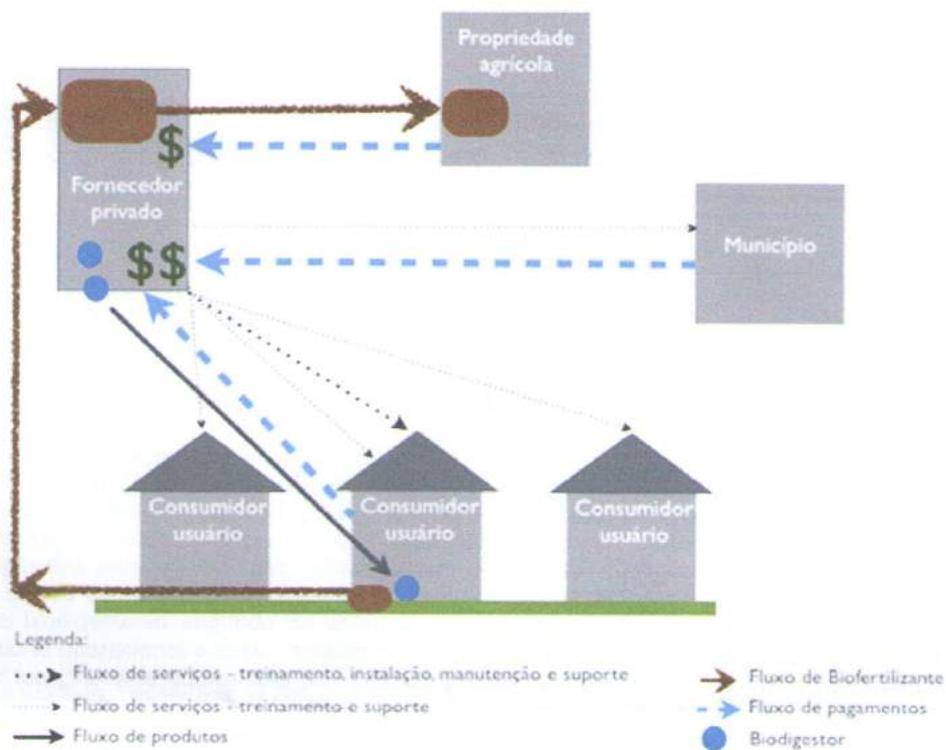
Em seguida, analisou-se diferentes cenários de uso considerando as variações de produto do fabricante, e definiu-se pelo uso de um biodigestor de 1m³, pelos critérios de exigência de menor espaço para instalação, podendo ser instalado dentro do terreno de casas dos usuários, bem como de instalações comerciais e industriais, e pelo fato de que este, sendo a menor versão do produto, já é capaz de processar o volume de lixo orgânico produzido por três residências.

Então, identificou-se os ativos de infra-estrutura necessários para dar suporte ao provimento dos serviços e esboçou-se o mapa organizacional do PSS. Durante os trabalhos, foi levantada a possibilidade de o provedor obter receita de duas fontes adicionais, (i) venda do biofertilizante para produtores locais e (ii) venda do biogás para a unidade consumidora que hospedar o biodigestor. Comparando a hipótese com as restrições de projeto, a ideia foi aprovada, posto que contribui para o PSS atendê-las. Retomou-se então para o projeto de serviços, atualizando o portfólio, e avançando novamente até o projeto de infra-estrutura, acrescentando na lista de ativos um caminhão tipo limpa-fossa para a coleta e um tanque para o armazenamento do bio-fertilizante, além de custos associados a coleta, manutenção e venda do mesmo. Também cresceram-se os custos de leitura dos medidores de vazão, emissão de fatura mensal de consumo de biogás contra os usuários consumidores e realização de serviços de cobrança.

Com base no projeto realizado, foi desenhado o Mapa Organizacional do PSS a seguir:

APÊNDICE 7 – Atas e listas de presença das reuniões da equipe

(conclusão)



Devido a indisponibilidade de tempo de todos os participantes para a realização de novas reuniões presenciais, e ao fato de que as etapas de avaliação e redação formal dos resultados encontrados não exigem o encontro presencial definiu-se que elas seriam conduzidas por meio de trabalho remoto e atualização das informações por e-mail.

Uma vez estando todos de acordo com as decisões tomadas, encerrou-se a reunião.

Participaram da reunião: Anderson Catapan, Caroline da Rocha Franco, Jairo Pablo Alves de Carvalho e Nilcéia Perez Ribeiro.

APÊNDICE 8 - Questionário utilizado para a coleta de dados

(continua)

Questionário estruturado:

Data:

Respondente: _____ Órgão: _____ Cargo: _____

1. Existe coleta seletiva no município (lixo orgânico e lixo reciclável)?
2. Qual a periodicidade da coleta do lixo orgânico (frequência semanal / mensal)?
3. Qual é a destinação dada ao lixo orgânico doméstico?
4. Quem é responsável pela coleta?
5. Quem custeia as despesas com coleta de lixo orgânico do município? Qual o valor aproximado pago para o transporte? Quantos quilômetros o caminhão de coleta faz com um litro de combustível?
6. Quem custeia as despesas com o tratamento do lixo (manutenção do lixão, aterro, compostagem e outros)?
7. Quantos funcionários são utilizados nas atividades de coleta e tratamento do lixo? Qual o salário aproximado?
8. Quantos domicílios o município possui? Quantos são atendidos pela coleta do lixo? Como?
9. Quantos domicílios localizam-se na região rural? E na urbana?
11. Qual o volume/massa de lixo orgânico coletado (por semana / mês):
12. O município possui algum plano de gerenciamento de resíduos sólidos implantado ou em estudo?
13. Quais as dificuldades atuais encontradas no gerenciamento do lixo orgânico? (falta de recursos, de mão de obra, problemas com provedores terceirizados - transportadores, aterro, etc.)?

APÊNDICE 8 – Questionário utilizado para a coleta de dados

(conclusão)

14. Há produção agrícola no município? De quais produtos? Qual é a área de plantio aproximada?
15. Existe programa de horta comunitária? Qual a área plantada?
16. A prefeitura possui equipe hábil para manutenção civil e / ou hidráulica (esgoto) urbana própria? Quantas pessoas? E área de depósito e manutenção de equipamentos?
17. Qual a distância até o aterro?
18. O convênio atual relativo ao aterro sanitário atende a contento o município?
19. Há dificuldades orçamentárias? Ou os pagamentos são feitos em dia?
20. Qual é a flexibilidade para inovações da gestão atual? Os funcionários participam de treinamentos / cursos?
21. A prefeitura tem telefone para reclamações, ou ouvidoria?
22. Existiria disposição da prefeitura para teste de novas tecnologias, sem custo?
22. Existem problemas para implantar novos projetos devido a interesses políticos?

APÊNDICE 9 - Contribuições enviadas para o PLANARES

Seguem abaixo as contribuições enviadas para a Consulta Pública do PLANARES, aberta até o dia 31.09.2020. Foram sugeridos acréscimos ao texto de quatro itens, os quais seguem grifados.

Contribuição 1:

Ítem 4.3.4 - Aumento da Reciclagem dos resíduos sólidos

Página 158

Parágrafo 8

Texto:

Estratégia 52: Capacitar e apoiar municípios a implementar projetos de compostagem e digestão anaeróbia de resíduos orgânicos oriundos de grandes geradores como supermercados, sacolões, feiras livres, restaurantes, hotéis e similares, **bem como projetos de digestão anaeróbia de pequenos geradores, por meio de biodigestores domiciliares, em sistemas de economia distribuída.**

Justificativa:

Os biodigestores domiciliares de pequeno porte podem ser instalados em domicílios, principalmente de municípios pequenos, e são uma alternativa de baixo custo, que pode contribuir efetivamente para o tratamento do resíduo gerado na fonte, diminuindo o volume encaminhado para a destinação final e reduzindo a necessidade de coleta. Recentemente publicamos, pelo nosso grupo de pesquisa da UTFPR-PR, na Revista Internacional Waste Management, artigo sobre a avaliação de um Sistema de Produto-Serviço (PSS) baseado em biodigestores domiciliares,

para possibilitar pequenos municípios, com orçamento reduzido, a cumprirem com as exigências da PNRS, eliminando a coleta de resíduos orgânicos. O estudo feito considerando o cenário do município de Porto Amazonas-PR, mostrou que o PSS é economicamente sustentável, permitindo a redução de até 20% nos gastos mensais do município com o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos e ainda apresentando um retorno para o provedor de 9,6% ao ano. Num cenário onde mantêm-se os gastos atuais do município, o retorno para o provedor é estimado em 14,82% ao ano. Adicionalmente, o PSS possibilita aos cidadãos que hospedarem os biodigestores em seus lares a redução de 40% nos custos com gás de cozinha. No contexto da avaliação do PSS proposto, o cenário de Porto Amazonas é representativo de municípios contidos na interseção de dois grupos: 52% dos municípios brasileiros com menor densidade populacional e 78% dos municípios com maior área territorial. O artigo publicado pode ser acessado pelo link: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.022>

Cabe ressaltar que Sistemas Produto Serviço foram incentivados no contexto de discussão do PLANARES (versão 2012).

O artigo é apenas mais um exemplo de iniciativas utilizando biodigestores domiciliares em sistemas distribuídos para mitigar o problema da destinação incorreta de resíduos orgânicos em municípios de países pobres e em desenvolvimento. Há mais de 30 milhões de biodigestores domiciliares instalados na Ásia e África, especialmente na China e Índia. Cito os artigos abaixo com iniciativas na mesma linha, em cidades destes continentes:

CLEMENS, H.; BAILIS, R.; NYAMBANE, A.; NDUNG, V. Energy for Sustainable Development Africa Biogas Partnership Program: A review of clean cooking implementation through market development in East Africa. *Energy for Sustainable Development*, Amsterdam, Holanda, v. 46, p. 23–31, out. 2018.

LWIZA, F.; MUGISHA, J.; WALEKHWA, P.; SMITH, J.; BALANA, B. Dis-adoption of Household Biogas technologies in Central Uganda. *Energy for Sustainable Development*, Amsterdam, Holanda, v. 37, p. 124–132, abr. 2017.

ORSKOV, E. R.; YONGABI, K.; SUBEDI, M.; SMITH, J. Overview of holistic application of biogas for small scale farmers in Sub-Saharan Africa. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, Holanda, v. 70, p. 4–16, nov. 2014.

ORTIZ, W.; TERRAPON-PFA, J.; DIENST, C. Understanding the diffusion of domestic biogas technologies. Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries. *Renweable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, Holanda, v. 74, p. 1287-1299, jul. 2017.

SMITH, M. T.; SCHROENN, J.; BLIGNAUT, J. N. The financial and economic feasibility of rural household biodigesters for poor communities in South Africa. *Waste Management*, Amsterdam, Holanda, v. 34, n. 2, p. 352–362, fev. 2014.

Contribuição 2:

Ítem 4.3.4 - Aumento da Reciclagem dos resíduos sólidos

Página 158

Parágrafo 9

Texto:

Estratégia 53: Elaborar guias práticos com orientações técnicas para a implantação de unidades de compostagem **e de biodigestão anaeróbia** em municípios com população inferior a 50.000 habitantes e em municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento, instituídas por lei complementar, bem como em áreas de especial interesse turístico.

Justificativa:

Os biodigestores domiciliares de pequeno porte são uma alternativa de baixo custo para o tratamento dos resíduos orgânicos gerados na fonte, acessível aos pequenos municípios. Recentemente publicamos, pelo nosso grupo de pesquisa da UTFPR-PR, em Revista Internacional de grande impacto no setor - Waste Management - artigo sobre a avaliação de um Sistema de Produto-Serviço (PSS) baseado em biodigestores domiciliares, para possibilitar pequenos municípios, com orçamento reduzido, a cumprirem com as exigências da PNRS, eliminando a coleta de resíduos orgânicos. O estudo feito considerando o cenário do município de Porto Amazonas-PR, mostrou que o PSS é economicamente sustentável, permitindo a redução de até 20% nos gastos mensais do município com o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos e ainda apresentando um retorno para o provedor de 9,6% ao ano. Num cenário onde mantém-se os gastos atuais do município, o retorno para o provedor é estimado em 14,82% ao ano. Adicionalmente, o PSS possibilita aos cidadãos que hospedarem os biodigestores em seus lares a redução de 40% nos custos com gás de cozinha. No contexto da avaliação do PSS proposto, o cenário de Porto Amazonas é representativo de municípios contidos na interseção de dois grupos: 52% dos municípios brasileiros com menor densidade populacional e 78% dos municípios com maior área territorial. O artigo publicado por ser acessado pelo link: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.022>

Cabe ressaltar que Sistemas Produto Serviço foram incentivados no contexto de discussão do PLANARES (versão 2012).

O artigo é apenas mais um exemplo de iniciativas utilizando biodigestores domiciliares em sistemas distribuídos para mitigar o problema da destinação incorreta de resíduos orgânicos em municípios de países pobres e em desenvolvimento. Há mais de 30 milhões de biodigestores domiciliares instalados na Ásia e África, especialmente na China e Índia. Cito os artigos abaixo com iniciativas na mesma linha, em cidades destes continentes:

CLEMENS, H.; BAILIS, R.; NYAMBANE, A.; NDUNG, V. Energy for Sustainable Development Africa Biogas Partnership Program: A review of clean cooking implementation through market development in East Africa. Energy for Sustainable Development, Amsterdam, Holanda, v. 46, p. 23–31, out. 2018.

LWIZA, F.; MUGISHA, J.; WALEKHWA, P.; SMITH, J.; BALANA, B. Dis-adoption of Household Biogas technologies in Central Uganda. *Energy for Sustainable Development*, Amsterdam, Holanda, v. 37, p. 124–132, abr. 2017.

ORSKOV, E. R.; YONGABI, K.; SUBEDI, M.; SMITH, J. Overview of holistic application of biogas for small scale farmers in Sub-Saharan Africa. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, Holanda, v. 70, p. 4–16, nov. 2014.

ORTIZ, W.; TERRAPON-PFA, J.; DIENST, C. Understanding the diffusion of domestic biogas technologies. Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, Holanda, v. 74, p. 1287-1299, jul. 2017.

SMITH, M. T.; SCHROENN, J.; BLIGNAUT, J. N. The financial and economic feasibility of rural household biodigesters for poor communities in South Africa. *Waste Management*, Amsterdam, Holanda, v. 34, n. 2, p. 352–362, fev. 2014.

Contribuição 3:

Ítem 4.3.4 - Aumento da Reciclagem dos resíduos sólidos

Página 158

Parágrafo 10

Texto:

Estratégia 54: Incentivar procedimento simplificado para a instalação de unidades de compostagem **e de biodigestão anaeróbia de porte domiciliar.**

Justificativa:

Os biodigestores domiciliares de pequeno porte são uma alternativa de baixo custo para o tratamento dos resíduos orgânicos gerados na fonte, acessível aos cidadãos e a administração de pequenos municípios. Recentemente publicamos, pelo nosso grupo de pesquisa da UTFPR-PR, em Revista Internacional de grande impacto no setor - Waste Management - artigo sobre a avaliação de um Sistema de Produto-Serviço (PSS) baseado em biodigestores domiciliares, para possibilitar pequenos municípios, com orçamento reduzido, a cumprirem com as exigências da PNRS, eliminando a coleta de resíduos orgânicos. O estudo feito considerando o cenário do município de Porto Amazonas-PR, mostrou que o PSS é economicamente sustentável, permitindo a redução de até 20% nos gastos mensais do município com o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos e ainda apresentando um retorno para o provedor de 9,6% ao ano. Num cenário onde mantém-se os gastos atuais do município, o retorno para o provedor é estimado em 14,82% ao ano. Adicionalmente, o PSS possibilita aos cidadãos que hospedarem os biodigestores em seus lares a redução de 40% nos custos com gás de cozinha. No contexto da avaliação do PSS proposto, o cenário de Porto Amazonas é representativo de municípios contidos na interseção de dois grupos: 52% dos municípios brasileiros com menor densidade populacional e 78% dos municípios com maior área territorial. O artigo publicado por ser acessado pelo link: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.022>

Cabe ressaltar que Sistemas Produto Serviço foram incentivados no contexto de discussão do PLANARES (versão 2012).

O artigo é apenas mais um exemplo de iniciativas utilizando biodigestores domiciliares em sistemas distribuídos para mitigar o problema da destinação incorreta de resíduos orgânicos em municípios de países pobres e em desenvolvimento. Há mais de 30 milhões de biodigestores domiciliares instalados na Ásia e África, especialmente na China e Índia. Cito os artigos abaixo com iniciativas na mesma linha, em cidades destes continentes:

CLEMENS, H.; BAILIS, R.; NYAMBANE, A.; NDUNG, V. Energy for Sustainable Development Africa Biogas Partnership Program: A review of clean cooking

implementation through market development in East Africa. *Energy for Sustainable Development*, Amsterdam, Holanda, v. 46, p. 23–31, out. 2018.

LWIZA, F.; MUGISHA, J.; WALEKHWA, P.; SMITH, J.; BALANA, B. Dis-adoption of Household Biogas technologies in Central Uganda. *Energy for Sustainable Development*, Amsterdam, Holanda, v. 37, p. 124–132, abr. 2017.

ORSKOV, E. R.; YONGABI, K.; SUBEDI, M.; SMITH, J. Overview of holistic application of biogas for small scale farmers in Sub-Saharan Africa. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, Holanda, v. 70, p. 4–16, nov. 2014.

ORTIZ, W.; TERRAPON-PFA, J.; DIENST, C. Understanding the diffusion of domestic biogas technologies. Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries. *Renweable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, Holanda, v. 74, p. 1287-1299, jul. 2017.

SMITH, M. T.; SCHROENN, J.; BLIGNAUT, J. N. The financial and economic feasibility of rural household biodigesters for poor communities in South Africa. *Waste Management*, Amsterdam, Holanda, v. 34, n. 2, p. 352–362, fev. 2014.

Contribuição 4:

Ítem 4.10 - DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DE RESÍDUOS AGROSSILVOPASTORIS (RASP)

Página 162

Parágrafo 9

Texto:

Elaborar, em parceria com o setor produtivo, estudo de viabilidade técnico-econômica do aproveitamento energético, compostagem **e biodigestão anaeróbia** *in loco* das diversas tipologias de RASP para diversas escalas de unidades de produção agrícola.

Justificativa:

A biodigestão anaeróbia é uma tecnologia reconhecida como viável, no âmbito do PLANARES e no cenário brasileiro, para tratamento desta classe de resíduos, sendo inclusive incentivada em outras seções do mesmo. Assim soa natural a necessidade de inclusão da mesma neste parágrafo. Sua inclusão certamente fomentará a ampliação do uso desta tecnologia no Brasil, contribuindo para alcançar-se as metas de reciclagem e aproveitamento dos resíduos propostas no âmbito do PLANARES.