



**PGDESIGN** | Programa de Pós-Graduação  
Mestrado | Doutorado



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Pablo Ermida Corrêa

**ARTEFATO DIGITAL DE APOIO À GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS NO  
PROCESSO DE DESIGN**

Tese de Doutorado

Porto Alegre  
2021

**PABLO ERMIDA CORRÊA**

**Artefato digital de apoio à geração de alternativas no processo de design**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Jorge Maldonado  
Carvalho Araújo

Porto Alegre

2021

### CIP - Catalogação na Publicação

Ermida Corrêa, Pablo  
ARTEFATO DIGITAL DE APOIO À GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS  
NO PROCESSO DE DESIGN / Pablo Ermida Corrêa. -- 2021.  
229 f.  
Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Coorientador: Paulo Jorge Maldonado Carvalho  
Araújo.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de  
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Design-by-Analogy. 2. Design Science Research.  
3. Reuso do Conhecimento. 4. Processo de  
Desenvolvimento de Produto. 5. Geração de  
Alternativas. I. Gonçalves Teixeira, Fábio, orient.  
II. Maldonado Carvalho Araújo, Paulo Jorge, coorient.  
III. Título.

**Pablo Ermida Corrêa**

**Artefato digital de apoio à geração de alternativas no processo de design**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Design, e aprovada em sua forma final pelo do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de novembro de 2021.

---

**Prof. Dr. Fábio Pinto da Silva**

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

**Banca Examinadora:**

---

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Programa de Pós-Graduação em Design – UFRGS

---

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Jorge Maldonado Carvalho Araújo

Programa de Pós-Graduação em Design – UFRGS

---

Prof. Dr. Marcelo Soares Pimenta

Instituto de Informática – UFRGS

---

Prof. Dr. Fernando Batista Bruno

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG) – UFRGS

---

Profa. Dra. Tânia Luisa Koltermann da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Design – UFRGS

---

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Design – UFRGS

## AGRADECIMENTOS

Aos meus ilustres orientadores Fábio Teixeira e Paulo Maldonado, agradeço a oportunidade, os ensinamentos e a grande amizade.

À professora Tânia Luisa Koltermann da Silva e ao professor Régio Pierre da Silva, por quem tenho grande admiração e amizade.

Aos professores membros da banca, pelas valiosas contribuições que enriqueceram o trabalho.

Aos colegas e amigos do Núcleo de Pesquisa Virtual Design da UFRGS (ViD), especialmente a Flora Detanico, Thais Arnold, Marina Storgatto, Fernanda Serrate e Fernando Bruno que contribuíram diretamente para o resultado deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade concedida.

À CAPES pelo apoio através das bolsas de pesquisa e doutorado sanduíche do Programa Ciência sem Fronteiras (CAPES/CNPq - Projetos nº 71/2013 - CSF-PVE).

Aos meus grandes amigos que considero minha família, são tantos que não posso contar, mas cada um sabe exatamente a grandeza dos laços construídos.

Não poderia deixar de citar a Celeste, a cã fiel que esteve pacientemente ao meu lado durante a produção das últimas páginas desta redação e linhas de código do *software*.

Dedico este título em especial à minha família, que me formou a partir de princípios e valores únicos, que acredito, compartilho e, por isso, sou muito grato.

À *mi tia* Marisa, que acompanhou com muito carinho e amor todas as etapas importantes da minha vida.

*In memoriam*, ao meu pai André, que pôde me ver entrar na faculdade y *mi abuelo* Emilio que pôde me ver sair formado dela. De algum lugar, espero que tenham acompanhado a continuação desta história.

À minha mãe Elena por tudo! Pelo amor, dedicação e apoio em absolutamente todos os momentos. *¡Te quiero, gracias!*

À minha parceira de vida Raquel, a quem amo e admiro, que embarcou comigo nessa jornada e me faz querer ser melhor a cada dia. *¡Juntos, vamos por más!*

## TRABALHOS PUBLICADOS DURANTE A PESQUISA

CORRÊA, P. E.; TEIXEIRA, F. G.; MALDONADO, P. **Design-by-Analogy: proposta para um modelo de ferramenta computacional de auxílio ao processo de design.** Design e Tecnologia, v. 7, n. 14, p. 30, 2017.

MALDONADO, P., FERRÃO, L., ERMIDA, P. 2017. **Inspædia: changing the landscape of cultural reflection and influence through user experience design.** In: Rebelo F., Soares M., eds. *Advances in Ergonomics in Design. AHFE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 588. Cham: Springer, 2018, pp. 462-468. doi: 10.1007/978-3-319-60582-1\_46.

MALDONADO, P., TEIXEIRA, F., DUARTE, J. P., CÂMARA, A., CORREIA, N., FERRÃO, L., ERMIDA, P., PASSOS, M. 2017. **Inspædia report: an inspired research itinerary.** In: Rebelo F., Soares M., eds. *Advances in Ergonomics in Design. AHFE 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 588. Cham: Springer, pp. 432-442. doi: 10.1007/978-3-319-60582-1\_43.

MALDONADO, PAULO., *et al.* 2016. **Inspædia: [almost] everything about simplicity, playfulness and inspiration.** In: Soares, M. et al., eds. *Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 486. Cham: Springer, pp. 231-243, DOI: 10.1007/978-3-319-41685-4\_21.

BOLAÑOS, A., CORREA, P., SOUZA, VINÍCIUS; DE ALMEIDA, C., SILVA, T. 2016. **Maleta gastronómica inclusiva un recurso de tecnología asistiva.** Rev. Incl. Vol. 3. Num. Especial, Enero-Marzo (2016), ISSN 0719-4706, pp. 89-96.

MALDONADO, P. ET AL. 2015. **Inspædia user experience design (UXD).** In: *Procedia Manufacturing, 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015)*, vol. 3. [Amsterdam]: Elsevier, pp. 6044–6051. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.727.

## RESUMO

CORREA, P. E. **Artefato digital de apoio à geração de alternativas no processo de design**. 2021. 229 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um artefato digital baseado em um método Design-by-Analogy (DbA) para armazenar e reutilizar o conhecimento em design e apoiar, de forma sistemática, o projetista durante o processo de geração de alternativas no desenvolvimento de produtos. Para atingir este objetivo, a revisão de literatura fundamenta este trabalho acerca das particularidades do ambiente interno do artefato com relação às funcionalidades desejadas e o ambiente externo em que o artefato proposto deve operar, bem como o entendimento do papel do projetista, do seu processo criativo e dos recursos utilizados no contexto investigado. O método de pesquisa adotado foi o Design Science Research, metodologia científica de caráter prescritivo, que orienta o desenvolvimento de artefatos como um processo para a produção de conhecimentos científicos. Somado a isso, os métodos ágeis foram aplicados no processo de desenvolvimento do artefato digital através do framework Scrum e das técnicas de prototipação, personas e mapeamento das histórias de usuário. Durante o desenvolvimento, este trabalho contou com a contribuição de um grupo de especialistas, a partir de dois grupos focais, em atividades de definição e avaliação do artefato digital. A validação interna do artefato digital ocorreu através da verificação do cumprimento dos seus requisitos e de um questionário aplicado aos especialistas durante o segundo grupo focal. O resultado desta pesquisa gerou uma ferramenta digital que promove o reuso do conhecimento a partir das necessidades do usuário e das atividades da etapa de geração de alternativas do processo de design e, conseqüentemente, um novo artefato para o campo DbA.

**Palavras-chave:** Design-by-Analogy. Design Science Research. Reuso do Conhecimento. Processo de Desenvolvimento de Produto. Geração de Alternativas. Design e Tecnologia

## ABSTRACT

CORREA, P. E. **Digital artifact to support the generation of alternatives in the design process**. 2021. 229 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

This study aims to develop a digital artifact based on a Design-by-Analogy (DbA) method to store and reuse design knowledge and systematically support the designer during the concept generation process in product development. In order to achieve this goal, the study's literature review bases on the particularities of the internal environment of the artifact in relation to the desired functionalities and the external environment in which the proposed artifact must operate, as well as the understanding of the role of the designer, their creative process and the resources used in the investigated context. The research method adopted was Design Science Research, a scientific methodology of a prescriptive nature, which guides the development of artifacts as a means for the production of scientific knowledge. In addition to this method, agile methods were applied in the process of developing the digital artifact through the Scrum framework and techniques of prototyping, personas and mapping of user stories. During the development phase, this study had the contribution of group of experts, from two focus groups, in activities to define and evaluate the digital artifact. The internal validation of the digital artifact occurred through verification of compliance with its requirements and a questionnaire applied to experts during the second focus group. The research findings generated a digital tool that promotes knowledge reusability based on the user's needs and activities from the stage of concept generation in the design process and, consequently, a new artifact for the DbA field.

**Keywords:** Design-by-Analogy. Design Science Research. Knowledge Reuse. Product Development Process. Concept Generation. Design and Technology

*“Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.*

(Antoine-Laurent de Lavoisier)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de vida do projeto do produto.....	33
Figura 2: Estratégia para a resolução do problema.....	36
Figura 3: Atividades e dependências da etapa de Projeto Conceitual. ....	37
Figura 4: Caixa preta.....	39
Figura 5: Desdobramento da função global. ....	39
Figura 6: Ciclo iterativo da modelagem funcional.....	40
Figura 7: Função total do equipamento para limpeza de mexilhões. ....	40
Figura 8: Estrutura funcional do equipamento para limpeza de mexilhões. ....	41
Figura 9: Árvore funcional de um saca-rolhas. ....	42
Figura 10: Constituição de um princípio de solução.....	43
Figura 11: Portadores para o efeito físico da alavanca. ....	44
Figura 12: Matriz morfológica e a combinação de princípios de solução ....	48
Figura 13: Matriz morfológica (parcial) do equipamento para limpeza de mexilhões	49
Figura 14: Alternativas de solução para o processo de limpeza de mexilhões. ....	49
Figura 15: Analogia para criação da prensa móvel. ....	57
Figura 16: Design do nariz do trem-bala inspirado no bico do martim-pescador.....	58
Figura 17: Processo tradicional DbA.....	59
Figura 18: Comparação dos estudos de análises funcionais e a Functional Basis. ..	70
Figura 19: Modelagem Funcional de um descascador de frutas e vegetais.....	72
Figura 20: Representação UML. ....	76
Figura 21: Ciclo de vida do Scrum. ....	81
Figura 22: <i>Template</i> para Persona.....	82
Figura 23: Cartão para história de usuário. ....	84
Figura 24: Mapeamento das histórias de usuário.....	85
Figura 25: Tela inicial <i>Get Inspired</i> .....	88
Figura 26: Mapa de conteúdos relacionados. ....	89
Figura 27: Ficha do conteúdo.....	89
Figura 28: Formulário de inclusão de conteúdo. ....	90
Figura 29: Caracterização do artefato. ....	93
Figura 30: Desenho da Pesquisa ....	95
Figura 31: Interface Design Repository.....	112
Figura 32: Interface Idea-inspire.....	113

Figura 33: Interface Idea-Inspire 3.0. ....	114
Figura 34: Interface de busca AskNature. ....	115
Figura 35: Interface MEMIC. ....	117
Figura 36: Interface WTE. ....	118
Figura 37: Interface DANE. ....	119
Figura 38: Interface DRACULA. ....	120
Figura 39: Interface Patent Search.....	121
Figura 40: Interface Retriever.....	123
Figura 41: Interface TechNet.....	124
Figura 42: Interface InnoGPS.....	126
Figura 43: Interface de busca para o repositório BIOsign. ....	127
Figura 44: Relação entre o processo DbA e o artefato digital. ....	136
Figura 45: Requisitos iniciais do artefato.....	137
Figura 46: Fluxograma artefato para o método DbA. ....	142
Figura 47: Mapeamento das Histórias de Usuário do artefato. ....	146
Figura 48: Ontologia do artefato.....	152
Figura 49: Lista de projetos exemplo cadastrados. ....	158
Figura 50: Visualização das informações do projeto. ....	159
Figura 51: Inclusão da função global.....	160
Figura 52: Início da modelagem funcional.....	161
Figura 53: Inclusão de uma nova função. ....	162
Figura 54: Função parcial.....	163
Figura 55: Inclusão de função elementar. ....	164
Figura 56: Buscar princípios de solução. ....	165
Figura 57: Busca de princípios de solução.....	166
Figura 58: Seleção do princípio de solução.....	167
Figura 59: Modelagem funcional completa.....	168
Figura 60: Analogias do projeto.....	169
Figura 61: Seleção dos princípios de solução para a geração de alternativas.....	170
Figura 62: Pré-avaliação das alternativas. ....	171
Figura 63: Respostas para a questão 1 da avaliação do artefato. ....	174
Figura 64: Respostas para a questão 2 da avaliação do artefato. ....	175
Figura 65: Respostas para a questão 3 da avaliação do artefato. ....	176
Figura 66: Respostas para a questão 4 da avaliação do artefato. ....	178

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Métodos e ferramentas para busca de solução.....	45
Quadro 2: Uso de analogias na geração de conceitos.....	47
Quadro 3: Comparativo XP e Scrum.....	80
Quadro 4: Publicações relacionadas ao projeto Inspædia. ....	91
Quadro 5: Perguntas de pesquisa.....	107
Quadro 6: Termos de busca.....	107
Quadro 7: <i>String</i> de busca.....	108
Quadro 8: Critérios de inclusão.....	108
Quadro 9: Critérios de exclusão.....	108
Quadro 10: Critérios de qualidade.....	109
Quadro 11: Resultado dos estudos selecionados. ....	110
Quadro 12: Artefatos revisados.....	133
Quadro 13: Contribuições dos participantes.....	139
Quadro 14: Personas do artefato digital.....	143
Quadro 15: Alcance da ontologia. ....	147
Quadro 16: Perguntas de competência da ontologia. ....	148
Quadro 17: Lista de termos da ontologia. ....	149
Quadro 18: Lista de classes da ontologia, seus relacionamentos e propriedades..	150
Quadro 19: Justificativa e nota dos participantes para a questão 1. ....	174
Quadro 20: Justificativa e nota dos participantes para a questão 2. ....	176
Quadro 21: Justificativa e nota dos participantes para a questão 3. ....	177
Quadro 22: Justificativa e nota dos participantes para a questão 4. ....	179
Quadro 23: Respostas para a questão aberta opcional. ....	180

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1 Contextualização do tema	17
1.2 Delimitação do tema	23
1.3 Problema e hipótese de pesquisa	24
1.4 Objetivos	25
1.5 Justificativa	25
1.6 Estrutura da tese	27
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>29</b>
2.1 Processo de Design	30
2.1.1 Modelo de processo de desenvolvimento de produto	31
2.1.2 Geração de alternativas no projeto conceitual	35
2.1.3 Modelagem funcional do produto	38
2.1.4 Procura e identificação de princípios de solução	43
2.1.5 Desenvolver as alternativas de solução	48
2.2 Design, Inovação e Criatividade	50
2.2.1 O pensamento e o processo criativo no design	53
2.2.2 Design-by-Analogy	56
2.3 Reuso do conhecimento em Design	61
2.3.1 Bases de conhecimento	64
2.3.2 Functional Basis	67
2.3.3 Modelagem de uma ontologia	73
2.4 Processo de desenvolvimento de <i>software</i>	77
2.4.1 Personas	81
2.4.2 Histórias de Usuário	83
2.5 Projeto de pesquisa Inspædia	86
<b>3 METODOLOGIA DE PESQUISA</b>	<b>93</b>
3.1 Identificação do problema	96
3.2 Conscientização do problema	96
3.3 Revisão sistemática da literatura	96
3.4 Identificação dos artefatos e configurações das classes de problemas	97
3.5 Proposição de artefatos para resolver o problema específico	98
3.6 Projeto do artefato	100
3.7 Desenvolvimento do artefato	102
3.8 Avaliação do artefato	102
3.9 Explicitação das aprendizagens	104

3.10 Conclusões .....	104
3.11 Generalização para uma classe de problemas .....	105
3.12 Comunicação dos resultados .....	105
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>106</b>
4.1 Revisão Sistemática da Literatura .....	106
4.2 Identificação dos artefatos e configuração da classe de problemas .....	110
4.2.1 IDEAL (1996) e KITRIC2 (1997) .....	111
4.2.2 Design Repository (2005) .....	112
4.2.3 Idea-Inspire (2005, 2017) .....	113
4.2.4 AskNature (2008) .....	115
4.2.5 MEMIC (2008) .....	116
4.2.6 WordTree Express (2011).....	117
4.2.7 DANE (2012) .....	119
4.2.8 DRACULA (2014) .....	120
4.2.9 Patent Search (2014).....	121
4.2.10 Retriever (2018).....	122
4.2.11 TechNet (2020).....	123
4.2.12 InnoGPS (2021).....	125
4.2.13 BIOsign (2021) .....	126
4.3 Análise dos artefatos revisados .....	128
4.4 Proposição do artefato para resolver o problema específico .....	134
4.4.1 Grupo Focal.....	138
4.5 Projeto do artefato .....	140
4.5.1 Personas .....	143
4.5.2 Histórias de Usuário e <i>Backlog</i> do Produto.....	144
4.5.3 Ontologia .....	147
4.5.4 Base de conhecimento .....	153
4.5.5 Tecnologias utilizadas no artefato.....	153
4.6 Desenvolvimento do artefato .....	154
4.6.1 Release 1 .....	155
4.6.2 Release 2 .....	156
4.6.3 Release 3 .....	157
4.6.4 O artefato digital e o método DbA.....	157
4.7 Avaliação do artefato.....	171
4.7.1 Validação interna.....	172
4.7.2 Grupo focal.....	172
<b>5 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS.....</b>	<b>182</b>

5.1	Artefatos de desenvolvimento de software .....	182
5.2	Discussão dos resultados.....	183
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>185</b>
6.1	Conclusões .....	185
6.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	189
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>192</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>202</b>
	Apêndice A .....	202
	Apêndice B .....	204
	Apêndice C .....	205
	Apêndice D .....	206
	Apêndice E .....	208
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>214</b>
	Anexo A .....	214
	Anexo B .....	220
	Anexo C .....	224

# 1 INTRODUÇÃO

A atividade de desenvolvimento de novos produtos em organizações pode ser observada a partir de diferentes perspectivas, tais como: a maturidade de gestão da organização, a seleção e integração de metodologias e, essencialmente, a multidisciplinariedade e a capacidade de geração de ideias das equipes para solucionar os problemas de projeto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A sistematização do processo de desenvolvimento de produto auxilia na organização e condução das etapas e atividades previstas. Neste contexto, a etapa conceitual é o momento no qual as tarefas de criação são mais intensas para as equipes de projeto, que contam com técnicas e ferramentas de apoio na busca de soluções para o problema de projeto.

O reaproveitamento de experiências anteriores é reconhecido pela indústria e pesquisadores como um recurso efetivo na busca de soluções, especialmente em atividades de criação no processo de design (GUNDUZ; YETISIR, 2016).

A complexidade das atividades que envolve o processo criativo apresenta inúmeros desafios e, conseqüentemente, oportunidades para propor novas formas de contribuir para o progresso da etapa conceitual. É a partir desta temática que se insere esta investigação e é desenvolvida esta pesquisa.

Diante disso, este capítulo apresenta a contextualização do tema e justificativa da pesquisa, bem como o problema identificado e a hipótese para sua resposta. A seguir, são descritos o objetivo geral e específicos deste trabalho. Por fim, é apresentada a estrutura da tese.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A concepção de artefatos é uma atividade inerente ao ser humano. Independente do seu contexto ou época, sucessivamente as pessoas constroem ferramentas ou outros artefatos para atender às suas próprias necessidades. De forma simplificada, o princípio básico do processo do desenvolvimento de produtos - estruturado ou não - consiste na busca de soluções para resolver um problema observado que, na maioria das vezes, é solucionado através da construção e posterior uso de uma ferramenta (CROSS, 2000).

A evolução deste processo ocorre à medida que os propósitos mudam e as pessoas refletem sobre os produtos, gerando refinamentos que promovem melhorias nos modelos existentes ou, às vezes, a concepção de produtos inéditos. O mundo é, portanto, repleto de ferramentas, utensílios, máquinas, edificações, móveis, roupas e muitos outros objetos que os seres humanos aparentemente precisam ou querem, a fim de melhorar sua qualidade de vida (CROSS, 2000).

Entretanto, a partir do ano de 1950, como consequência do período pós-guerra, a aceleração da indústria dos países europeus mais desenvolvidos intensificou seu crescimento, modificando de maneira drástica os modelos sociais e econômicos da época. Neste momento, surgem as primeiras metodologias de design que buscavam a adequação do projeto de produto ao processo industrial. Esta nova perspectiva obrigou os projetistas a adaptarem as práticas tradicionais baseadas na intuição e experiência por uma abordagem científica e sistematizada e, a partir deste novo modelo, buscar integração à indústria (BÜRDEK, 2002).

O design de novos produtos está diretamente relacionado ao crescimento econômico de qualquer organização e é fundamental para o seu sucesso. A pressão imposta pela alta competitividade industrial globalizada e a exigência cada vez maior dos seus consumidores obriga as organizações a responderem às necessidades de mercado com maior agilidade e alta produtividade através do desenvolvimento dos seus produtos. Além disso, o gerenciamento de equipes multidisciplinares, os avanços tecnológicos, a diminuição do ciclo de vida dos produtos e a responsabilidade ambiental são fatores que obrigam as empresas a reverem e a aprimorarem constantemente os seus processos de desenvolvimento de produto (LÖBACH, 2001; ROMEIRO FILHO, 2010).

Todas estas características configuram um ambiente extremamente complexo que deve ser gerenciado pelas organizações. Desta forma, a utilização de métodos intuitivos ou não estruturados de projeto não são mais suportados pelo mercado, que exige o emprego de uma metodologia que permita a aplicação de novos procedimentos para desenvolvimento de produtos (ROMEIRO FILHO, 2010). Estas metodologias surgem para organizar e sistematizar as inúmeras fases e atividades que ocorrem durante o processo de design de produto. A evolução desta abordagem sistemática pode ser observada através de inúmeras propostas existentes na literatura, que a partir do modelo de Pahl e Beitz (1996) deu origem a diversos estudos

(HUNDAL, 1990; ROZENFELD *et al.*, 2006; ULLMAN, 2010; ULRICH; EPPINGER, 2015), entre outros, a partir da segunda metade do século XX.

O processo de design, segundo os autores supracitados e adotado neste estudo, inicia através da identificação de um conjunto de requisitos de usuário para definir um problema de projeto. A partir da busca de soluções para o problema, é gerado um número de alternativas que atendem aos requisitos pré-definidos. As alternativas são avaliadas e selecionadas de acordo com determinado grupo de critérios. Conseqüentemente, o melhor conceito é selecionado, desenvolvido e produzido, tendo como resultado um artefato que, obrigatoriamente, deve atender aos requisitos de projeto. Posteriormente à etapa de concepção do produto são planejadas e realizadas diversas atividades que compreendem: o lançamento, o acompanhamento da produção e manutenção, até a reutilização dos materiais que o constituem e a futura descontinuação do produto do mercado.

Durante o ciclo de desenvolvimento do produto, a fase de geração de alternativas envolve atividades nas quais o processo criativo é mais intenso, onde a equipe de projeto deve procurar e encontrar soluções para o design de produto que atendam a todas as especificações de projeto (BAXTER, 2011). É um momento crítico para o sucesso do produto, onde o acesso ao conhecimento de design gerado e a experiência prévia dos projetistas são as bases para a construção do seu processo criativo. A procura de soluções para o problema de design exige dos indivíduos a relação de ideias, conhecimentos e habilidades técnicas. O resultado deste processo tem conseqüências diretas nos aspectos econômicos, sociais e ecológicos do produto desenvolvido (PAHL; BEITZ, 1988).

A responsabilidade atribuída às equipes neste momento e a dificuldade na execução de tarefas que envolvem o uso da criatividade, somados à pressão do tempo, pode contribuir para que a equipe não consiga gerar um número suficiente de alternativas que atendam aos requisitos do produto (BRYANT, 2007).

Além disso, durante esta etapa, o processo cognitivo do indivíduo, muitas vezes, pode ser bloqueado por um fenômeno inconsciente conhecido como fixação de ideias (*design fixation*) (JANSSON; SMITH, 1991). O sucesso de experiências anteriores e a adaptação de soluções antigas para o mesmo problema, fortalecem os efeitos da fixação de ideias e, como resultado, as soluções nascem de conceitos pré-

concebidos, com características de forma e função de projetos já existentes (LUCERO, 2014).

Para superar estas barreiras, a estratégia e a experiência das equipes de projeto em decompor o problema de design são fundamentais para facilitar sua compreensão e resolução. Também, o uso combinado de métodos e técnicas, além das ferramentas disponíveis, são recursos essenciais para os projetistas durante a execução das atividades previstas (ULLMAN, 2010).

A aplicação do conhecimento existente para solucionar problemas de projeto é uma abordagem amplamente utilizada para auxiliar na tomada de decisão e que, quando bem-sucedida, pode gerar novos conhecimentos e, em alguns casos, inovação através do seu produto (BAXTER, 2011).

A utilização de analogias como estratégia para o reuso do conhecimento deu origem ao conceito Design-by-Analogy (DbA), um campo de estudo em expansão e explorado para o estímulo à geração de alternativas e a mitigação dos efeitos repetitivos da fixação de ideias durante a busca por soluções na etapa conceitual (CHAKRABARTI *et al.*, 2011; FU *et al.*, 2014; JIANG *et al.*, 2021; LINSEY, 2007).

O uso de analogias pode ser observado tanto para exemplificar o raciocínio construído para chegar a uma determinada ideia, quanto para apresentar as ideias e soluções para os problemas de design. Fazer analogias é criar associações e relações entre determinados termos semelhantes que possam inspirar a criação de algo novo (LINSEY; TEXAS; MARKMAN, 2008).

Exemplos de produtos inovadores, baseados em analogias, podem ser encontrados na indústria e na literatura. As analogias com a natureza, área de estudo da Biomimética e a Biônica, são uma fonte extensa inspiradora para a geração de soluções, como por exemplo, a nadadeira pé de pato (inspirado nas patas de aves aquáticas) ou o Velcro (inspirado nas sementes da planta *Arctium*). Também, as analogias podem ocorrer a partir de artefatos já existentes, onde as relações entre domínios próximos podem ser mais óbvias e efetivas. No entanto, à medida em que essa distância aumenta, maior tende a ser o grau de inovação do produto gerado (LINSEY, 2007).

A literatura apresenta estudos que deram origem a diversos métodos baseados em DbA, a maioria destes aplicáveis a partir da implementação de uma ferramenta

computacional. Estas ferramentas auxiliam as equipes de projeto na execução de várias tarefas de design, tais como: geração de ideias, buscas em bases de dados, modelagens de projeto, simulações, entre outras. Considerando este universo, foi constatada a efetividade destas ferramentas, principalmente no apoio às atividades que envolvem a criação no processo de design (BRYANT, 2007; MORENO *et al.*, 2014).

As particularidades presentes nas atividades que envolvem o pensamento e o processo criativo, durante a etapa conceitual, estão entre os desafios para o desenvolvimento de ferramentas que atendam as necessidades durante a resolução dos problemas de projeto e que não prejudiquem a liberdade de criação do indivíduo (BRYANT, 2007; MORENO *et al.*, 2014).

Outro desafio importante está relacionado com o acesso ao conhecimento gerado. À medida que o desenvolvimento de produtos se torna mais complexo, maiores são as possibilidades de representação das informações de projeto em diferentes níveis de abstração, estrutura e contexto. Para que ocorra o reuso do conhecimento, estas ferramentas devem ser capazes de recuperar a informação relevante de forma ágil para o projetista (SZYKMAN *et al.*, 2000).

Para o desenvolvimento de tais ferramentas é necessário compreender as questões sobre a organização e a representação do conhecimento no domínio explorado, temas centrais para promover o seu reuso (CURRÁS, 1993). Em meio digital, a partir dos estudos em Inteligência Artificial (IA), as ontologias se encarregam destas necessidades através da criação de modelos para estruturar o conhecimento em sistemas computacionais (GRUBER, 1993).

Na etapa conceitual do processo de desenvolvimento de produto (PDP), por exemplo, o estilo particular de cada indivíduo para comunicar suas soluções pode gerar ambiguidade no momento de armazenar a informação, dificultando o acesso ao conhecimento gerado. Portanto, a definição de uma ontologia que oriente a construção de uma nova ferramenta considerando a proposta de reuso do conhecimento é essencial para atender ao propósito destes instrumentos (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005).

Além disso, o desenvolvimento de técnicas estruturadas para representar as informações de design – função, estrutura, comportamento, desempenho, etc. – que

decorrem da sistematização das metodologias de design no PDP colabora para a elaboração destes modelos aplicáveis a uma ferramenta computacional. Isto porque tal sistematização vai ao encontro do funcionamento dos modelos computacionais, o que facilita sua transferência, permitindo o processamento das informações pela máquina (PAHL; BEITZ, 1988; SZYKMAN; SRIRAM, 2006). Neste sentido, as técnicas e ferramentas existentes para o processo de design podem ser reaproveitadas e potencializadas através da tecnologia gerando instrumentos robustos para apoiar as equipes de projeto.

Cabe ressaltar que apesar da presente pesquisa focar em uma etapa específica do PDP, a visão global do processo é fundamental para a compreensão do fluxo de informações de cada etapa e suas dependências. Considerando o desenvolvimento de uma nova ferramenta que atende parte deste processo, as informações de projeto geradas em fases anteriores poderiam servir de entrada para este sistema. Da mesma forma, as informações geradas por tal ferramenta também poderiam formar a entrada para um novo sistema que atenda as etapas seguintes do PDP.

Alinhado a esta visão, o projeto Virtus (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010), desenvolvido no âmbito do grupo de pesquisa PGDesign-UFRGS, apresenta a proposta de um sistema online projetado para agrupar ferramentas de auxílio à tomada de decisão de projeto no PDP. O Virtus tem o objetivo de armazenar o acompanhamento do projeto ao longo de todas as etapas de modo colaborativo, a partir das atividades das equipes de projeto em ferramentas desenvolvidas para o seu ecossistema. A partir disso, pretende colaborar tanto na qualidade do processo de projeto e no PDP, quanto na qualidade do produto final.

Ainda no contexto do grupo de pesquisa do PGDesign-UFRGS, é relevante destacar o trabalho de Detanico (2021), que gerou um método e repositório denominados BIOSign, aplicados para estimular e facilitar o uso dos princípios de solução da natureza na concepção de novos produtos. A proximidade dos temas proporcionou o auxílio mútuo e a troca de conhecimento entre os autores durante suas pesquisas.

Durante o período de investigação, o autor deste trabalho participou das atividades do projeto de pesquisa Inspædia, estudo vinculado ao doutorado sanduíche realizado pelo autor, entre os anos de 2015 e 2016, na Universidade Lusíada, em Lisboa, Portugal. Na ocasião, o trabalho desenvolvido deu continuidade ao estudo de

Maldonado (2012), coorientador deste trabalho, através da operacionalização do protótipo idealizado em sua tese de doutorado. Em relação a presente pesquisa, a proximidade entre os temas contribuiu de forma mútua para o avanço de ambos os estudos, tanto no aspecto teórico, envolvendo assuntos sobre o processo criativo e analógico no design, quanto prático, na sistematização das técnicas de criatividade para a geração de ferramentas computacionais que apoiem o processo de design. O projeto Inspaedia e os seus benefícios para este estudo são apresentados no decorrer deste trabalho.

Diante desta contextualização, o desenvolvimento de ferramentas de apoio ao processo de design apresenta um campo em constante evolução. Especificamente, na etapa conceitual, o campo DbA se destaca através de seus estudos que demonstram a contribuição para a melhoria efetiva na geração de novas soluções no PDP. É um campo relativamente recente e oferece oportunidades para implementação de novas ferramentas a partir de suas estratégias, dos métodos e ferramentas já construídos nessa área (JIANG *et al.*, 2021).

## **1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA**

Esta investigação aborda o processo de desenvolvimento de produto, mais especificamente, a etapa conceitual durante a geração de alternativas. Entre os modelos de referência existentes para o PDP, o modelo de Rozenfeld *et al.* (2006) é utilizado para demarcar o ambiente de intervenção. O recorte de pesquisa compreende as seguintes atividades da geração de alternativas do produto: (i) modelar funcionalmente; (ii) desenvolver princípios de solução para as funções; e (iii) desenvolver as alternativas de solução. Neste contexto, com enfoque nos recursos disponíveis utilizados pelas equipes de projeto para apoiar a execução das atividades previstas.

Estas atividades, por sua vez, estão associadas ao uso da criatividade das equipes. Logo, para esta pesquisa é relevante compreender como o processo criativo dos indivíduos é estimulado para contribuir de forma positiva para o contexto investigado. Cabe salientar que esta pesquisa não pretende avaliar a influência deste trabalho nos impactos relacionados ao processo criativo.

O reuso do conhecimento apoiado por recursos computacionais pressupõe o emprego de conceitos específicos das áreas das Ciências da Informação e

Computação para orientar como construir ferramentas que atendam a estas características. No caso deste estudo, devem apoiar as etapas de proposição, projeto, desenvolvimento e avaliação da ferramenta proposta.

Por fim, a ferramenta gerada por este estudo pretende atender a projetos que produzem um artefato físico, independente do seu grau de complexidade. Além disso, não deve ser avaliado o nível de inovação dos produtos gerados a partir da integração desta ferramenta ao processo de projeto. No entanto, os conceitos de DbA aplicados na sua concepção sugerem a possibilidade de contribuição ao estímulo na geração de produtos inovadores.

A partir da delimitação deste estudo, esta investigação pretende explorar a lacuna observada para contribuir na geração de novas ferramentas digitais de projeto que apoiem a etapa conceitual do PDP.

No contexto do projeto Virtus (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010), a presente pesquisa deve considerar a arquitetura do sistema e tecnologias adotadas para a futura integração dos ambientes. Portanto, para o escopo deste trabalho, a ferramenta funcionará de forma independente, mas compatível para integração ao sistema Virtus como um módulo de apoio à etapa conceitual do PDP.

Diante disso, a seguir, é definido o problema de pesquisa desta investigação e a hipótese para sua resposta.

### **1.3 PROBLEMA E HIPÓTESE DE PESQUISA**

O problema de pesquisa definido para este trabalho é:

**Como o conhecimento gerado no processo de design pode contribuir para a etapa de geração de alternativas no desenvolvimento de produtos?**

A hipótese formulada para responder o problema de pesquisa é a seguinte:

**O conhecimento gerado no processo de design pode ser armazenado, recuperado e reutilizado, por meio de um artefato digital que integre estas funcionalidades junto a uma interface gráfica de usuário, tendo por base o DbA, contribuindo para a etapa de geração de alternativas no desenvolvimento de produtos.**

## 1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é propor um artefato digital para o processo de design como instrumento de auxílio para as equipes de projeto na busca por soluções na etapa de geração de alternativas.

Para que se verifique o cumprimento do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i. compreender o processo de desenvolvimento de produto com ênfase na etapa conceitual, mais especificamente na geração de alternativas para o problema de projeto, ambiente de intervenção desta pesquisa;
- ii. identificar os artefatos similares existentes para o auxílio ao processo de projeto durante as atividades realizadas na etapa de geração de alternativas, a fim de coletar requisitos para o artefato digital proposto;
- iii. elaborar um método de reuso de conhecimento baseado em DbA para o artefato digital;
- iv. projetar e desenvolver o artefato digital para operacionalizar o método de reuso do conhecimento proposto;
- v. avaliar o artefato digital para apoiar as atividades previstas na fase de geração de alternativas.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O processo de design, especificamente a etapa conceitual do PDP, na fase de geração de alternativas, é uma área com potencial para o desenvolvimento de novas ferramentas que auxiliem as equipes de projeto na execução das atividades previstas.

As atividades da etapa de geração de alternativas se caracterizam pelo intenso uso da criatividade e são decisivas para o resultado do PDP, pois as tomadas de decisões de design em estágios iniciais do projeto têm alto impacto no desenvolvimento do produto (BAXTER, 2011).

A maior dificuldade para as equipes de projeto neste processo é liberar a mente para alcançar conceitos originais. Desta forma, os projetistas, especialmente aqueles com menos experiência, frequentemente, têm dificuldades em explorar um número suficiente de alternativas, antes de encontrar a solução com maior potencial (BRYANT, 2007).

Considerando este cenário, a ferramenta proposta neste estudo pretende ser um recurso para apoiar as equipes nesta tarefa que é considerada crítica para o PDP.

Para isso, o acesso ao conhecimento em design é essencial nas tarefas realizadas e nos métodos aplicados durante a geração de alternativas para a resolução do problema. O reaproveitamento de experiências anteriores é reconhecido pela indústria e por pesquisadores como um fator decisivo para uma ágil e efetiva tomada de decisão durante o processo de design (GUNDUZ; YETISIR, 2016).

Além disso, a agilidade e presteza necessárias para encontrar o que se busca, em meio a tanta informação disponível, torna a tarefa onerosa de ser realizada sem o apoio da tecnologia.

As pesquisas desenvolvidas para o apoio ao processo de design apresentam ferramentas existentes para as diversas etapas do PDP (BRYANT, 2007; STRAWBRIDGE; MCADAMS; STONE, 2002). O avanço da tecnologia constantemente amplia as possibilidades para explorar o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais inteligentes, suportadas por recursos computacionais, que podem impulsionar os processos de inovação no desenvolvimento de produtos.

No entanto, considerando este universo, a etapa de geração de alternativas, conta com poucas ferramentas de apoio. Neste contexto, o desenvolvimento destes instrumentos é uma atividade complexa, porque muitos dos procedimentos envolvidos para a resolução dos problemas são estabelecidos através do processo cognitivo do indivíduo. Ademais, as estratégias sugeridas de apoio às atividades previstas recorrem ao acesso do conhecimento já existente. Para as ferramentas computacionais, o maior desafio consiste no desenvolvimento de *softwares* inteligentes, capazes de lidar com o conhecimento e que atuem em conjunto com os processos de cognição humana na resolução de problemas (BRYANT, 2007; LUCERO, 2014).

A partir destas motivações que surgiu o campo DbA, que explora todos estes elementos para produzir ferramentas computacionais capazes de reutilizar o conhecimento gerado para a criação de novas soluções utilizando a analogia como estratégia na busca por soluções inovadoras.

É uma área de pesquisa recente e em plena atividade na produção de estudos científicos. Sua evolução indica crescimento no número de publicações e ferramentas

geradas. É um campo com inúmeras possibilidades ainda não exploradas e com uma forte tendência na inclusão de técnicas de IA para elevar a contribuição nas atividades de criação e nos processos de inovação (JIANG *et al.*, 2021).

Diante do cenário exposto e alinhado com os objetivos do campo de pesquisa DbA, este trabalho contribui para promover o avanço nesta área a partir do seu conhecimento gerado e, de forma prática, do seu artefato digital. Também, através das informações de projeto geradas para o desenvolvimento do seu artefato, pode auxiliar outros pesquisadores com necessidades semelhantes.

Para o processo de design, a presente pesquisa contribui com a possibilidade de acréscimo de um novo recurso para apoiar as atividades de geração de alternativas do PDP. O artefato digital gerado poderia ser aplicado no contexto acadêmico como ferramenta de auxílio para o ensino projetual. Também, na indústria, em diversos segmentos, apoiando os projetistas na etapa conceitual durante o ciclo de desenvolvimento de produtos.

Para a possibilidade de novos estudos, esta pesquisa permite explorar oportunidades geradas por este trabalho, como por exemplo, as avaliações do estímulo ao processo criativo dos usuários, a qualidade das soluções geradas e o grau de inovação obtido a partir do uso do artefato digital.

No contexto dos estudos gerados pelo grupo de pesquisa do PGDesign, este trabalho converge no sentido de contribuir tanto para os objetivos do projeto Virtus (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010), quanto para o avanço de ferramentas similares como a BIOSign (DETANICO, 2021). O artefato gerado por esta tese, apesar de independente, futuramente pode se tornar um módulo do sistema Virtus e ainda se integrar ao BIOSign. Estas possibilidades permitem o avanço e a continuidade destes estudos para a produção de novas pesquisas no contexto do PDP.

## 1.6 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está organizada em seis capítulos, descritos a seguir.

O **capítulo 1** descreve a contextualização e delimitação do tema, o problema de pesquisa, seguido da hipótese formulada, os objetivos da tese e sua justificativa.

O **capítulo 2** corresponde à fundamentação teórica e reúne a revisão dos temas necessários para atingir aos objetivos propostos.

No **capítulo 3**, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para a condução desta pesquisa.

O **capítulo 4** apresenta a análise dos resultados obtidos durante o processo de pesquisa para atingir os objetivos da tese.

No **capítulo 5**, a explicitação das aprendizagens registra o conhecimento gerado no campo investigado a partir dos resultados obtidos.

Por fim, o **capítulo 6**, apresenta as considerações finais e as oportunidades de trabalhos futuros identificados no decorrer desta pesquisa.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este estudo possui uma característica transdisciplinar<sup>1</sup> envolvendo conhecimentos das áreas do Design, das Ciências da Informação e Computação. A interseção das três disciplinas forma a base teórica necessária para atingir os objetivos estabelecidos.

A primeira área do conhecimento revisada é o Design, que fornece as particularidades do ambiente em que a ferramenta proposta deve ser aplicada, ou seja, esclarece as questões relacionadas ao processo de design, focado na geração de alternativas na fase de projeto conceitual. Também, procura o entendimento do papel do projetista, do seu processo criativo e das técnicas e ferramentas utilizadas na busca por soluções para os problemas de projeto.

Para a construção de novas ferramentas que promovam o reuso do conhecimento em design, os campos da Ciência da Informação em conjunto com a Ciência da Computação contribuem com os estudos referentes aos esquemas de classificação, indexação e recuperação da informação em meio digital. Na área computacional, este campo é explorado especificamente pela Inteligência Artificial (IA), através das ontologias que possibilitam a organização e representação do conhecimento para a construção de sistemas e bases de dados apropriados.

Além disso, o levantamento do estado da arte das ferramentas existentes no contexto investigado, serve como referência para identificar de que modo estas ferramentas colaboram para o processo e quais as limitações e as necessidades que ainda não foram contempladas com o objetivo de dar continuidade aos estudos e contribuir para esta área.

Do ponto de vista da Engenharia de *Software*, área fundamentada na Ciência da Computação, a revisão contribui com o estudo das metodologias, ferramentas e técnicas de desenvolvimento de *software* para guiar o projeto e desenvolvimento do artefato digital deste estudo.

---

<sup>1</sup> o Artigo 3 da *Carta da transdisciplinaridade* "a Transdisciplinaridade é complementar da aproximação disciplinar; ela faz emergir da confrontação das disciplinas novos dados que as articulam entre si e que nos dão uma nova visão da natureza e da realidade." (CALL *et al.*, 2000)

A seguir, é descrito o primeiro item desta fundamentação, que apresenta o ambiente em que o problema de pesquisa está inserido: o processo de design.

## 2.1 PROCESSO DE DESIGN

O processo de design, apoiado por metodologias sistematizadas que conduzem o seu progresso, é uma abordagem relativamente recente. Somente a partir o século XIX, com o avanço da revolução industrial, o design ou design industrial passou por uma transformação, onde a divisão do trabalho entre projeto e execução se torna mais clara, dando origem aos primeiros modelos que sistematizam o processo de design. Esta nova organização faz com que o trabalho, antes responsabilidade de uma única pessoa, possa ser dividido e executado por diferentes membros de uma equipe. Também, o crescimento e desenvolvimento da indústria e da concorrência de mercado iniciou uma procura constante das fábricas pelo aprimoramento dos seus processos de desenvolvimento de produtos com o objetivo de acelerar e, conseqüentemente, reduzir os custos de produção (BÜRDEK, 2002).

A divisão do trabalho está na origem de novos processos de produção (SMITH, 1983). O design revê e amplia sua definição, tornando-se uma atividade projetual que integra um processo de design ou de desenvolvimento de produto. A principal contribuição neste período é a melhoria da qualidade de uso e estética de um produto, associados aos requisitos técnicos-funcionais que atendam as restrições de âmbito econômico (BONSIEPE, 1984).

A organização *International Council of Societies of Industrial Design* (ICSID), apresenta uma definição de design e acrescenta algumas questões relevantes que vão para além da produção do artefato projetado, considerando também os seus impactos sociais, econômicos e ambientais.

O Desenho Industrial é um processo estratégico de resolução de problemas que impulsiona a inovação, constrói o sucesso do negócio, e busca uma melhor qualidade de vida através de produtos inovadores, sistemas, serviços e experiências. [...] É uma atividade transdisciplinar que aproveita a criatividade para resolver problemas e co-criar soluções com a intenção de desenvolver um produto, sistema, serviço ou uma experiência de negócio, melhor. [...] Faz a ligação entre a inovação, tecnologia, pesquisa, negócios e clientes para fornecer novo valor e vantagem competitiva através das esferas econômicas, sociais e ambientais (ICSID, 2016).

Porém, nem sempre o processo de desenvolvimento de novos produtos se traduz em êxito comercial. De acordo com Baxter (2011, p. 18), “de cada 10 ideias sobre novos produtos, 3 serão desenvolvidas, entre 1 e 3 serão lançadas no mercado e apenas 1 será lucrativa”. A partir destes dados, de modo geral, apenas 10% dos produtos acabam conquistando o sucesso planejado. Para Baxter (2011), a dificuldade de lançar um produto com sucesso está ligada a uma série de questões relacionadas a orientação de mercado, planejamento do produto e fatores internos da empresa.

No contexto desta pesquisa, as fases iniciais onde ocorre a geração de soluções para o problema de projeto, são decisivas para o sucesso do produto. Cada vez mais, os avanços tecnológicos permitem a construção de ferramentas, que associadas às técnicas de criatividade, facilitam a geração de inúmeras ideias em um curto espaço de tempo. Novas tecnologias, principalmente *softwares* de apoio ao PDP são construídos para reduzir o tempo de desenvolvimento e lançamento de novos produtos (BAXTER, 2011).

Este item, portanto, tem o objetivo de compreender o domínio em que a ferramenta proposta deve ser construída: a geração de alternativas no processo de desenvolvimento de produto. Nesta etapa, importa compreender as atividades que devem ser realizadas pelos projetistas e quais estratégias e técnicas são utilizadas na busca por soluções para as questões de projeto.

### **2.1.1 Modelo de processo de desenvolvimento de produto**

O produto é o resultado de um projeto, geralmente desenvolvido por uma organização, que visa atender às necessidades dos seus consumidores ou, em alternativa, às oportunidades de um mercado específico. O PDP vai para além do projeto do artefato. Consiste no processo que se inicia com a ideia ou hipóteses de ideia e que termina com a reutilização dos materiais que constituem o artefato e, assim, se completa o ciclo de vida do produto (ULRICH; EPPINGER, 2015).

O período da globalização dos mercados contribuiu para a criação de um cenário altamente competitivo para empresas, à escala global, independentemente da sua dimensão ou das especificidades do mercado em que atuam. Este cenário, propício à procura de inovação no desenvolvimento de novos produtos, passou a ser um determinante para o sucesso das organizações (BAXTER, 2011).

Se por um lado o avanço tecnológico oferece inúmeras aplicações na indústria para o desenvolvimento de novos produtos, por outro, aumenta a complexidade dos fatores técnicos tendo em consideração as diferentes configurações que um novo produto pode incorporar, o que exige uma forte integração de diferentes áreas do conhecimento. Para alcançar este desígnio, as organizações investem cada vez mais em equipes multidisciplinares, capazes de encontrar soluções inovadoras para a concepção de novos produtos (FORCELLINI, 2002).

A aceleração da produção industrial motivada pela exigente procura de novidade, por parte dos utilizadores, tornou o ciclo de vida dos produtos cada vez menor, exigindo das organizações inteligência e agilidade para colocar, rapidamente, novos produtos no mercado, no sentido de dar resposta às suas necessidades e antecipar às ações de seus concorrentes. Os custos envolvidos na produção de novos produtos têm de ser economicamente viáveis, ou seja, deverão estar de acordo com às expectativas de investimento dos consumidores para garantir o lucro desejável e necessário à sobrevivência da organização. A qualidade do produto, do ponto de vista do consumidor, cada vez mais exigente, deve atender aos seus requisitos e aspirações (expressas ou não), sendo que as falhas são pouco toleradas pelo mercado e podem provocar o seu fracasso (FORCELLINI, 2002).

Para que um produto seja considerado bem-sucedido, o planejamento e a sistematização na execução do projeto são essenciais para que o processo de desenvolvimento de produto (PDP) ocorra de forma efetiva e eficiente (FORCELLINI, 2002). Para tornar esta tarefa menos complexa, as práticas de gerenciamento e as metodologias de projeto existentes fornecem suporte ao PDP na subdivisão do mesmo em etapas e na integração das diversas áreas envolvidas, tornando o processo visível e, conseqüentemente, facilitando a sua gestão e controle.

Para se manter no mercado, as organizações precisam ter resultados positivos e constantes com o seu portfólio de produtos. É a partir do desempenho do PDP adotado que uma organização evidencia ser capaz de se renovar e de ampliar as suas potencialidades no seu nicho de mercado, seja através do lançamento de novos produtos ou de alterações em um produto existente (*redesign*) (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O PDP é uma atividade complexa e multidisciplinar que requer o envolvimento de diversos setores de uma organização. Entre as principais áreas envolvidas neste

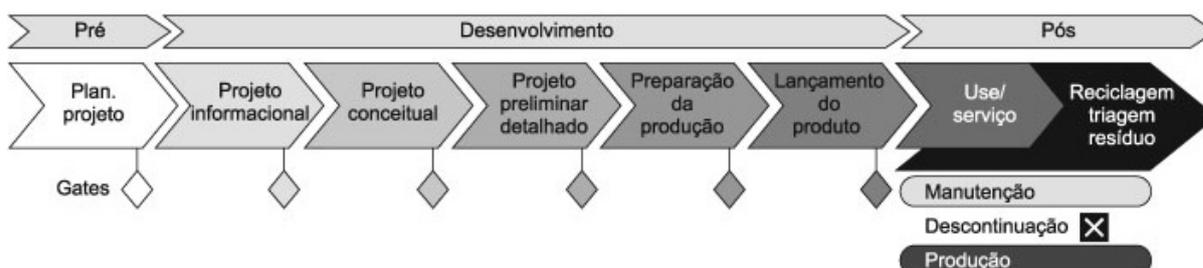
processo estão: o marketing, o design e a produção. O marketing estabelece o elo de ligação entre a empresa e os consumidores, analisando e atuando nas questões de mercado para identificar as necessidades e as oportunidades. A área de design atua na definição das funções do produto para que este incorpore nos requisitos do projeto as aspirações e os desejos dos utilizadores. Partindo das definições e especificações de design, a produção é responsável por operacionalizar as condições necessárias para transformar uma ideia e conceito em um produto (ULRICH; EPPINGER, 2015).

O PDP é tema de diversos estudos, tendo dado origem a diferentes modelos e abordagens adotados para auxiliar na sua operacionalidade. Na visão de uma série de autores (PAHL; BEITZ, 1988; ULLMAN, 2010; ULRICH; EPPINGER, 2015) e como definição utilizada nesta pesquisa, o PDP consiste em um conjunto de atividades subdivididas em etapas, que reunidas, abrangem o ciclo de vida de um produto.

De acordo com Pahl e Beitz (1996), a subdivisão do PDP em etapas é um modo de diminuir a sua complexidade, permitindo estabelecer pontos de verificação e controle (*Gates*) que ajudam a monitorar o andamento do processo. Apesar dos diferentes modelos existentes para o PDP encontrados na literatura, é possível constatar a inexistência de uma regra, predefinida, para a subdivisão do processo. É possível verificar que, na maior parte das vezes, decorre do grau de maturidade da organização e da equipe de projeto.

Para o modelo adotado nesta pesquisa, o PDP é dividido em 3 macro fases: o pré-desenvolvimento, o desenvolvimento e o pós-desenvolvimento. As fases e suas subdivisões podem ser visualizadas na Figura 1, adaptada do modelo sugerido por Rozenfeld *et al* (2006), inspirada nas propostas de diversos autores, entre eles Pahl e Beitz (1996) e Ulrich e Eppinger (2015).

Figura 1: Ciclo de vida do projeto do produto.



Fonte: adaptado Rozenfeld *et al.* (2006).

Esta abordagem sistemática representa o processo do ciclo de vida do PDP. A primeira fase representa o Pré-desenvolvimento e corresponde às atividades relacionadas com a percepção de oportunidades de mercado, alinhadas com as estratégias de mercado e da organização (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A fase seguinte, Desenvolvimento, é subdividida em projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar detalhado, projeto da produção e lançamento do produto. Durante a sequência destas subfases ocorrem as atividades que vão esclarecer o problema de projeto e identificar os requisitos básicos. A partir do entendimento destas necessidades, são geradas inúmeras alternativas para a solução do problema. As soluções encontradas são avaliadas para a seleção da melhor alternativa. A partir deste momento, as atividades seguintes correspondem ao detalhamento da solução, construção de protótipos e demais atividades até a produção e o lançamento do produto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A etapa de Pós-desenvolvimento da produção do produto envolve a venda e a entrega ao consumidor. Após o lançamento do produto no mercado, o ciclo ainda prevê a monitoria e verificação de mudanças necessárias em suas especificações até a sua descontinuidade do mercado (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Embora a abordagem sistemática se mostre imprescindível no PDP de qualquer organização, é importante ressaltar que grande parte das atividades desenvolvidas envolvem alto grau de criatividade da equipe de projeto. Para Baxter (2011), “a liberdade de criar é o coração do projeto”, quanto maior for a liberdade do projetista para explorar hipóteses de conceito (alternativas possíveis para solucionar o problema), mais próximo estará de encontrar a melhor solução para a organização e para os utilizadores. O conceito de “liberdade” em design significa incorporar no processo de design as restrições da organização (financeiras, tecnológicas, entre outros recursos), as oportunidades de mercado e a adequação da inovação àquilo que pode ser compreendido e absorvido pelo mercado.

A geração de ideias e soluções para o produto ocorrem com maior intensidade na fase de exploração de hipóteses de conceito. É durante esta etapa que acontece a formulação do conceito do produto, fundamental para sua definição e operacionalidade. Esta é a fase em que o projetista (ou equipe multidisciplinar) inicia o processo a partir de uma ideia, passando, sucessivamente por diversos estágios de

elaboração e desenvolvimento, até chegar à solução final e consequente passagem para produção (ULRICH; EPPINGER, 2015).

A seguir, a etapa de geração de alternativas é detalhada, descrevendo suas características, atividades envolvidas e as técnicas e ferramentas utilizadas pelas equipes de projeto durante a execução do trabalho.

### **2.1.2 Geração de alternativas no projeto conceitual**

O projeto conceitual é uma etapa determinante no processo de design de produto. O objetivo consiste em definir os princípios de funcionamento e forma do produto, através dos requisitos estabelecidos nas fases anteriores do projeto, e que foram formulados a partir do esclarecimento do problema e das necessidades do consumidor (FORCELLINI, 2002; ULRICH; EPPINGER, 2015). O foco do conceito está na função, portanto, é necessário primeiro entender as funcionalidades de um dispositivo, antes de projetar sua forma (ULLMAN, 2010).

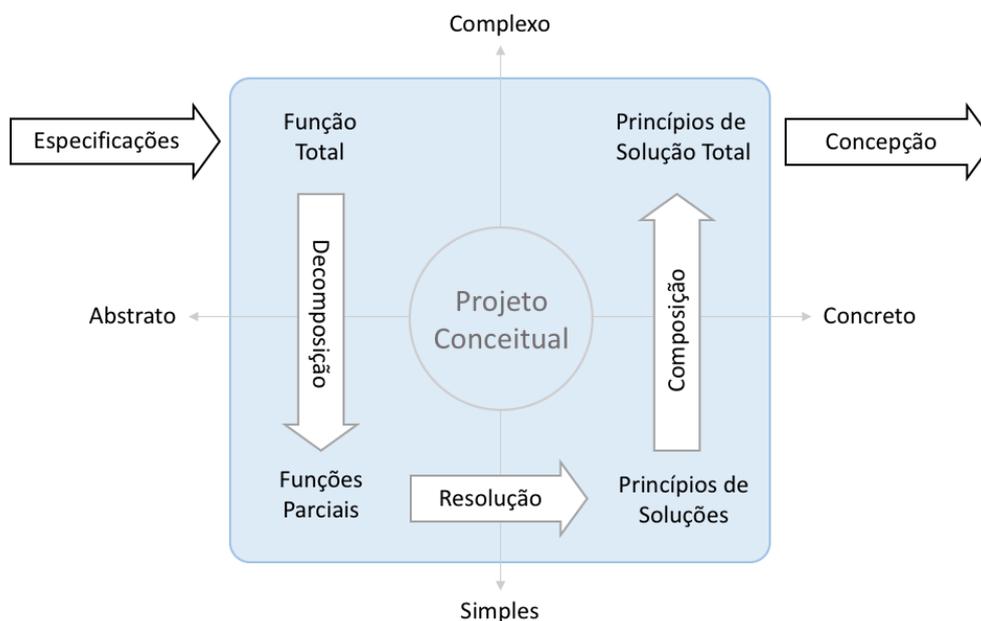
O final desta etapa deve corresponder à definição das características e especificações do produto. As tarefas realizadas para atingir este objetivo são divididas em dois momentos - a análise e a síntese - e conduzem à passagem do abstrato para o concreto. O nível de detalhamento da concepção deve possibilitar a continuidade do processo de design para uma etapa consequente (projeto preliminar) e permitir a avaliação da viabilidade do produto. Para que isto seja possível, a concepção deve ser desenvolvida até a representação dos princípios de solução para as funções identificadas para o produto, permitindo a avaliação e seleção de alternativas (FORCELLINI, 2002; PAHL; BEITZ, 1988).

A estratégia utilizada na decomposição do problema de projeto para chegar mais facilmente na sua resolução pode ser visualizada na Figura 2.

O objetivo do projeto conceitual consiste em gerar o maior número de conceitos possíveis e, posteriormente, selecionar a melhor alternativa. Para desenvolver esta atividade, é necessário que todas as pessoas envolvidas estejam conscientes dos benefícios básicos que o produto deverá incorporar. Durante este processo, uma equipe pode gerar inúmeras alternativas. Dessas alternativas, as mais promissoras são priorizadas para atividades de seleção de conceito. A geração de bons conceitos para o produto causa confiança à equipe de projeto por confirmar que grande parte

das possibilidades de alternativas foram bem exploradas (BAXTER, 2011; PAHL; BEITZ, 1988).

Figura 2: Estratégia para a resolução do problema.



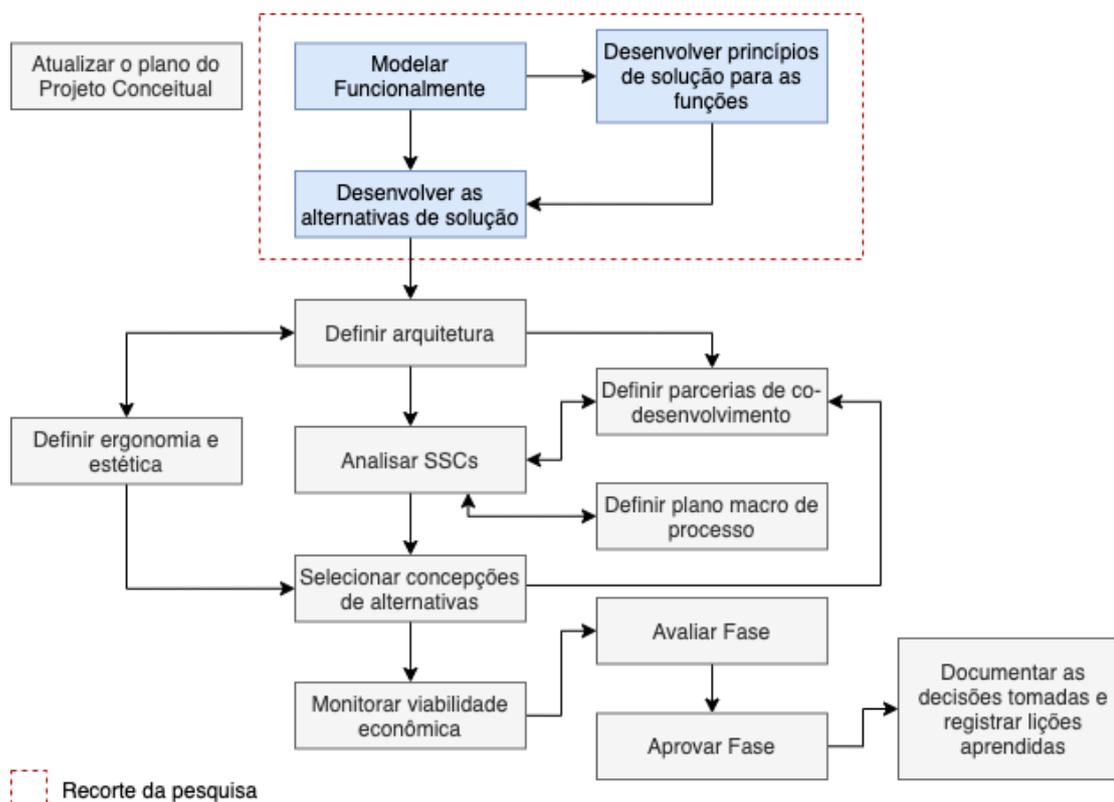
Fonte: adaptado Rozenfeld *et al.* (2006).

Do ponto de vista de gestão de projetos, na maioria das vezes, esta etapa não representa um impacto significativo nos custos e no tempo, se comparada à totalidade do processo de desenvolvimento (PAHL; BEITZ, 1988).

Considerando este aspecto e que os estágios iniciais são críticos no PDP para o sucesso do produto (BAXTER, 2011), o encerramento prematuro desta etapa, geralmente ocasionado pela insuficiência de informações para a tomada de decisão, pode trazer implicações negativas para o projeto (ULRICH; EPPINGER, 2015). Uma consequência comum, neste caso, é o surgimento de produtos concorrentes com performances melhores que o produto que está sendo desenvolvido (PAHL; BEITZ, 1988).

Durante o projeto conceitual, as equipes envolvidas executam atividades relacionadas à procura, geração, representação e seleção de soluções para o problema de projeto (PAHL; BEITZ, 1988; ROZENFELD *et al.*, 2006; ULLMAN, 2010; ULRICH; EPPINGER, 2015). A Figura 3 mostra todas as atividades e suas dependências na etapa do projeto conceitual, destacando somente os itens que devem ser revisados para esta pesquisa.

Figura 3: Atividades e dependências da etapa de Projeto Conceitual.



Fonte: adaptado Rozenfeld *et al* (2006).

A geração de alternativas ou conceitos – área destacada na Figura 3 – exige intuição, imaginação e raciocínio lógico. É uma fase altamente criativa, onde a equipe de projeto deve ter a liberdade para aplicar e combinar os diversos recursos disponíveis na busca por soluções, de forma que estejam sempre alinhados aos benefícios básicos do produto (BAXTER, 2011).

Neste instante, os projetistas podem fazer a diferença e ter o *insight* que pode alterar o nível de inovação daquilo que está sendo proposto em termos de solução. Este é o momento onde as invenções ocorrem, e por isso, as equipes devem estar preparadas e ter ao alcance o recurso de ferramentas e métodos que possam auxiliar nas atividades de investigação e no processo criativo (BAXTER, 2011; LÖBACH, 2001).

A maior dificuldade para as equipes de projeto neste processo é liberar a mente para alcançar conceitos originais. A experiência dos projetistas é um fator que influencia diretamente na capacidade de geração do número suficiente de alternativas para a etapa. Além disso, independente da experiência dos envolvidos, o processo

cognitivo do indivíduo pode ser bloqueado pelo *design fixation* (JANSSON; SMITH, 1991; LUCERO, 2014).

Para diminuir a complexidade da tarefa e superar os desafios impostos, as equipes de projeto contam com inúmeras ferramentas e métodos que auxiliam na geração de conceitos, com o objetivo de gerar o maior número de alternativas possíveis (BAXTER, 2011; ROZENFELD *et al.*, 2006). Tais recursos empregados podem variar desde as práticas comuns utilizadas no campo do design na busca de soluções para o problema de projeto – relacionadas a seguir – até o desenvolvimento de aplicações de *software* com a finalidade de automatizar determinadas tarefas da geração de alternativas.

A partir do estudo de Pahl e Beitz (1996), diversos autores convergiram em torno das técnicas de decomposição funcional e a manipulação parcial das soluções para o problema de projeto (CROSS, 2000; HUNDAL, 1990; PAHL; BEITZ, 1988; STONE; WOOD, 2001; ULLMAN, 2010; ULRICH; EPPINGER, 2015).

Neste contexto, a modelagem funcional é uma técnica efetiva para a decomposição do problema de design que auxilia a reduzir os efeitos da fixação de ideias e estimula a geração de maior número de conceitos na etapa de geração de alternativas. Basicamente, esta decomposição ocorre através da divisão da função global do produto em um conjunto de funções e fluxos, que conectadas entre si devem executar a função total. Esta subdivisão auxilia na redução da complexidade do problema, onde à medida em que o projetista identifica as funções elementares, mais facilmente encontra a solução. Esta técnica pode gerar uma economia significativa de tempo e custo do projeto (FU *et al.*, 2014; PAHL; BEITZ, 1988).

### **2.1.3 Modelagem funcional do produto**

A modelagem funcional do produto possibilita a representação do mesmo através das suas funções, que podem ser externas em sua interação com o ambiente ou internas, realizadas pelas suas partes. Basicamente, as funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que o produto é capaz de desempenhar de acordo com seus objetivos e especificações (PAHL; BEITZ, 1988).

O ponto de partida desta modelagem consiste na compreensão geral do problema de projeto, onde, primeiramente, se deve definir a função global (principal

ou total) do produto que atenda o problema em questão. A modelagem funcional ainda pode ser representada de duas formas, através das estruturas de funções ou das árvores de funções.

Nas estruturas de funções, a função global é representada como uma “caixa preta” que inclui entradas e saídas de energia, material e sinal, conforme a Figura 4. A linha de **energia** indica o transporte ou conversão de matéria e sinal; a linha de **material** possui propriedades de forma, massa, cor, etc.; e as linhas pontilhadas de **sinal** representa como a forma física transporta a informação (ULRICH; EPPINGER, 2015).

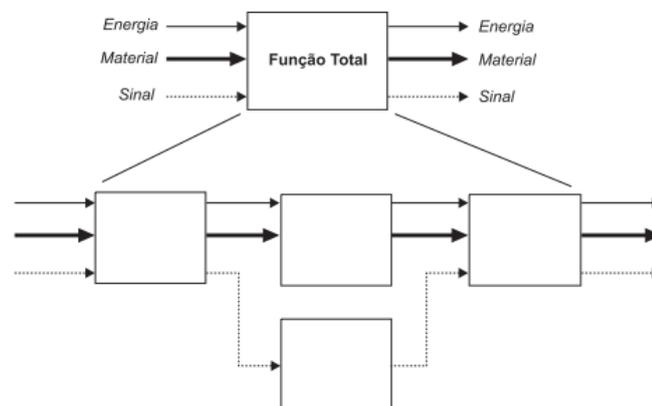
Figura 4: Caixa preta.



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

O próximo passo é decompor a caixa preta para um modelo de estrutura de funções de menor complexidade interligadas (Figura 5) que, agrupadas, devem refletir a função total do produto. Este procedimento, além de facilitar a busca por soluções, proporciona melhor entendimento do problema de projeto (ROZENFELD *et al.*, 2006; ULRICH; EPPINGER, 2015).

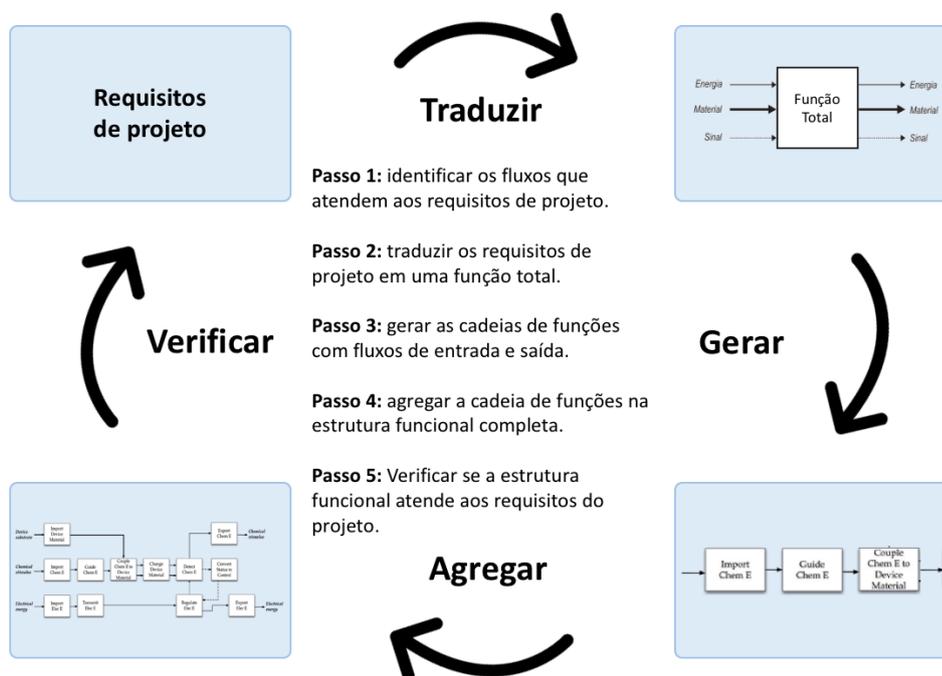
Figura 5: Desdobramento da função global.



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

Todo este processo descreve as funções do produto de forma abstrata na busca da essência do problema, evitando que o projetista seja induzido a encontrar soluções imediatas ou preconcebidas. Esta abordagem do problema previne que experiências, preconceitos e convenções possam interferir na análise, funcionando como estratégia na busca de soluções. No entanto, a decomposição de funções não é uma tarefa trivial e pode exigir diversas iterações até a equipe chegar ao resultado final (Figura 6) (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Figura 6: Ciclo iterativo da modelagem funcional.



Fonte: adaptado Bryant (2007).

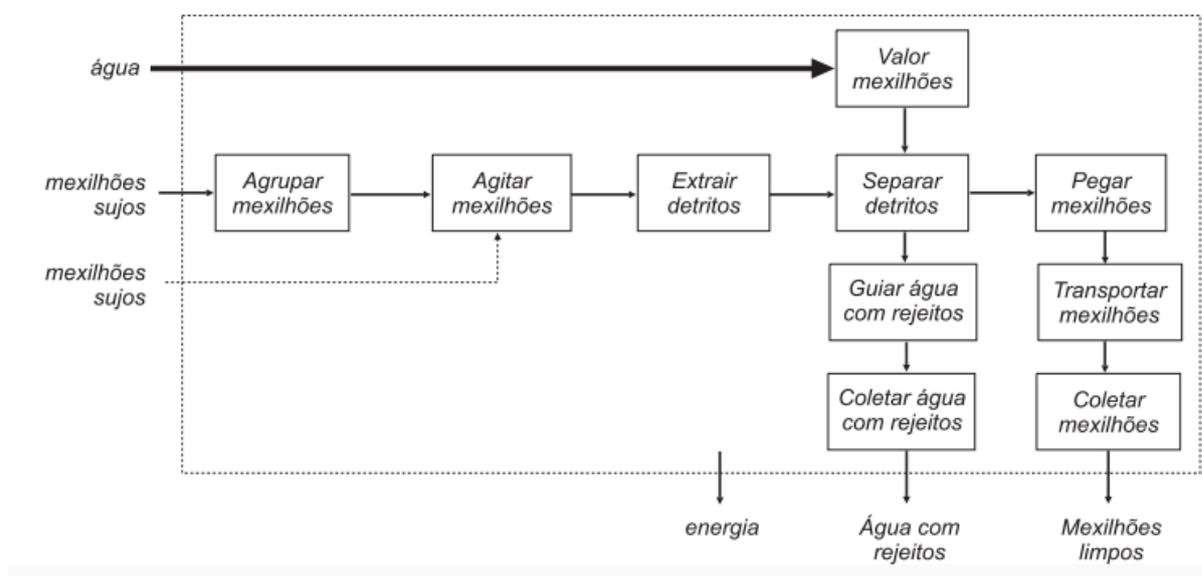
Para exemplificar o processo de decomposição, a Figura 7 e a Figura 8 correspondem, respectivamente, ao desenvolvimento da função total e da estrutura funcional para um equipamento destinado à limpeza de mexilhões (SCALICE, 2003).

Figura 7: Função total do equipamento para limpeza de mexilhões.



Fonte: (SCALICE, 2003).

Figura 8: Estrutura funcional do equipamento para limpeza de mexilhões.



Fonte: (SCALICE, 2003).

Outra abordagem utilizada para a modelagem funcional são as árvores de funções. Seguindo a mesma lógica, a função global ou principal do produto é decomposta em subfunções, porém em uma estrutura hierárquica, de cima para baixo. Este modo pode ser aplicado de maneira simples e rápida, entretanto não possui a representação das interações entre as funções decompostas (ROZENFELD *et al.*, 2006).

As cinco etapas sugeridas para a modelagem são (i) listar todas as funções do produto; (ii) selecionar a função principal; (iii) selecionar as funções básicas; (iv) ordenar as funções secundárias; e (v) conferir a árvore funcional (método Como? - Por quê?) (BAXTER, 2011).

Segundo o autor, a partir de uma lista de funções é selecionada a função principal, esta deve ocupar o primeiro nível da árvore e agrupar as demais funções. Em seguida, no nível abaixo, são definidas as funções básicas, as quais são essenciais para a função principal e causas diretas da sua ocorrência. Os demais níveis são formados pelas funções secundárias, questionando-se “como esta função é realizada?”, em um processo iterativo do desdobramento e ordenação das funções da árvore.

Ao final deste processo, a base da árvore funcional apresenta uma lista de funções que não podem ser subdivididas em outras, de forma lógica. Geralmente,

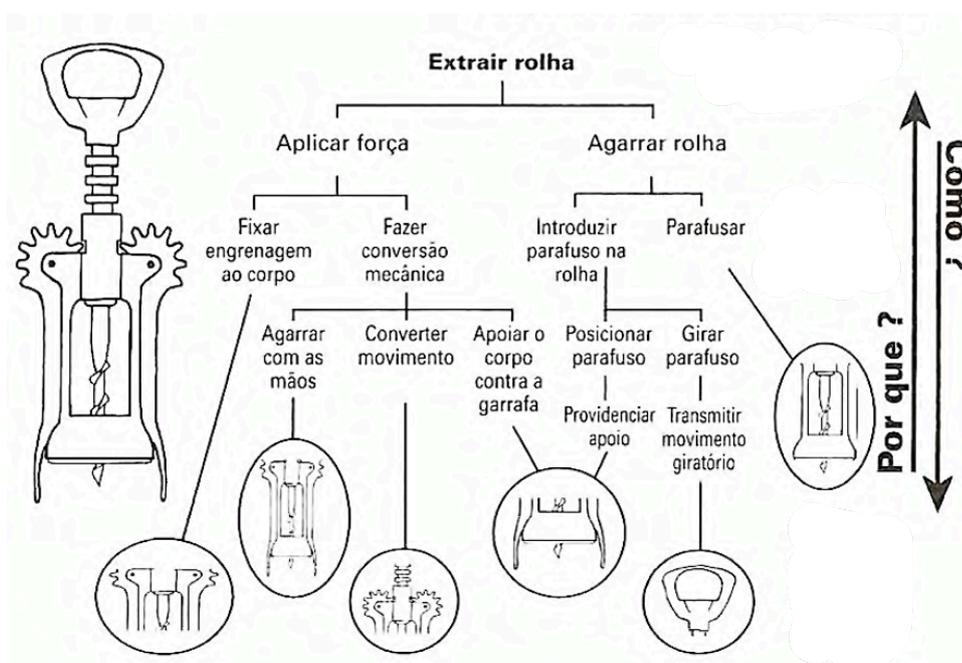
essas funções representam características mais simples ou componentes unitários do produto.

O método “Como? – Por quê?” é utilizado para conferir a árvore funcional e deve ser aplicado nas duas direções. De cima para baixo, iniciando pela função principal, questionando “como?” para cada nível, onde o funcionamento da função deve ser explicado pelas funções de nível abaixo dela. O inverso, de baixo para cima, utilizando o “por quê?” para as funções do nível, que devem ser necessárias e suficientes para explicar como a função do nível superior é executada.

De um modo geral, as abordagens apresentadas partem do mesmo princípio: para todas as funções executadas, a função principal do produto é realizada. A técnica também auxilia na modularização do produto, especialmente em projetos mais complexos, a partir da relação das subfunções com subsistemas ou componentes do produto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A Figura 9 apresenta o exemplo de uma árvore funcional para um saca-rolhas. No exemplo, é possível observar a árvore completa com seus níveis e os tipos de funções existentes. Além disso, mostra as partes do produto que atendem a cada função secundária, nível em que são associados os princípios de solução.

Figura 9: Árvore funcional de um saca-rolhas.



Fonte: adaptado de Baxter (2011).

A partir da definição da estrutura de funções do produto o projetista inicia a busca por princípios de solução. Isto significa que cada subfunção pode ser associada a um ou mais princípios de solução. Esta atividade pode gerar um número considerável de combinações e, conseqüentemente, uma série de alternativas de solução para o produto, as quais posteriormente devem ser avaliadas e selecionadas. Para cada alternativa gerada é definida uma arquitetura que modela a estrutura do produto em termos de componentes e suas conexões (ROZENFELD *et al.*, 2006).

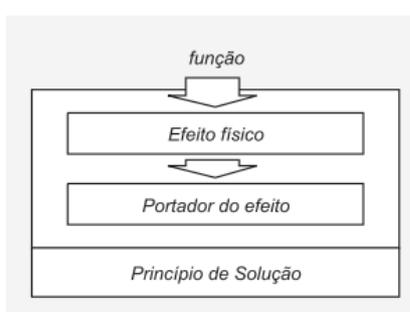
A seguir, são esclarecidos os conceitos que abrangem os princípios de solução e revisados os recursos utilizados pelas equipes de projeto nas suas buscas para resolver as funções de um produto.

#### 2.1.4 Procura e identificação de princípios de solução

O desenvolvimento de princípios de solução para cada subfunção do produto é uma atividade que se caracteriza pelo início da passagem do abstrato para o concreto. Este momento é decisivo na definição de alguns atributos da solução que está sendo proposta e tem influência direta no grau de inovação que o produto pode gerar.

Os princípios de solução estão relacionados aos efeitos físicos que também abrangem os efeitos químicos e biológicos, todos regidos pelas leis da natureza. A partir da compreensão de uma função, deve-se procurar um efeito físico e um portador do efeito, que combinados devem atender o objetivo da função em questão. Ao determinar esta relação, define-se o princípio de solução a ser utilizado para atender uma determinada função (ROZENFELD *et al.*, 2006). A Figura 10 esquematiza a relação entre as partes que geram o princípio de solução.

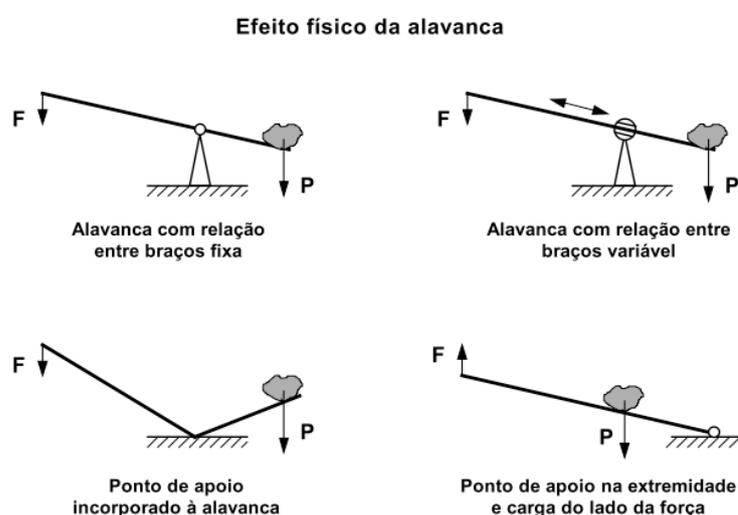
Figura 10: Constituição de um princípio de solução.



Fonte: Rozendeld *et al.* (2006) *apud* Gomes Ferreira (1997).

A representação adequada de um princípio de solução deve garantir que um sistema físico, sendo este o portador do efeito, seja capaz de portar os efeitos físicos necessários para executar a função desejada. Neste caso, o portador do efeito deve representar qualitativamente o sistema que desempenhará esta função. Esta representação deve conter informações sobre os elementos que compõe o sistema, bem como suas relações. A Figura 11 exibe o exemplo de princípios de solução, compostos do efeito físico da alavanca e os portadores do efeito, para a realização da função “ampliar força” (FERREIRA, 1997).

Figura 11: Portadores para o efeito físico da alavanca.



Fonte: (FERREIRA, 1997).

As informações referentes aos elementos que constituem o princípio de solução podem apresentar o tipo do elemento, a quantidade, a forma, a posição, os movimentos ou os atributos de material. Porém, estas informações não necessitam e nem devem ser precisas, apenas suficientes para determinar a função e o comportamento dos elementos no contexto total do princípio de solução. Estas características permitem um modo simples de representação dos princípios de solução por meio de desenhos com linhas que formam um determinado esquema (FERREIRA, 1997; ROZENFELD *et al.*, 2006).

O trabalho realizado na busca por princípios de solução para que atendam as funções de um produto, muitas vezes pode se tornar complexo, devido ao número de possibilidades existentes envolvendo as combinações. Para auxiliar nesta atividade, geralmente a equipe de projeto conta com alguns recursos, como por exemplo, o uso

de base de dados de princípio de soluções, pesquisa em catálogos de projetos de design existentes ou métodos de criatividade que possam estimular a geração de novas ideias (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A aplicação e combinação dos diversos métodos existentes conduz a equipe de projeto na busca de solução para cada subfunção identificada. Estes métodos para a solução de problemas podem ser encontrados na literatura, o Quadro 1 apresenta uma relação dos principais métodos identificados e a sua classificação (PAHL; BEITZ, 1988; ROZENFELD *et al.*, 2006).

Quadro 1: Métodos e ferramentas para busca de solução.

Classificação		Método
Convencionais		Revisão de literatura, publicações e internet
		Consulta catálogos e banco de dados de Design
		Consulta de especialistas
Criativos	Intuitivo	Brainstorming
		Método 6-3-5
		<i>Lateral Thinking</i>
	Sistemático	Método morfológico
		Análise e síntese funcional
		Analogia sistemática
		TRIZ

Fonte: adaptado Rozenfeld *et al.* (2006).

Os métodos convencionais são amplamente utilizados na resolução de problemas e buscam, através de experiências anteriores, possíveis soluções a partir da documentação de projetos existentes e do conhecimento de profissionais experientes (ULRICH; EPPINGER, 2015). Durante a revisão da literatura não foram encontradas bases ou catálogos abertos de princípios de solução que pudessem ser reaproveitados em novas pesquisas.

Os métodos criativos, por sua vez, podem ser classificados em: intuitivos e sistemáticos. Rozenfeld *et al.* (2006) apontam inúmeras técnicas existentes na literatura. Porém, grande parte compartilha os mesmos princípios básicos, restando a lista reduzida apresentada. No contexto do desenvolvimento de produtos, a essência

de sua aplicação é orientar o indivíduo na busca de soluções criativas e promover a inovação.

Os métodos intuitivos são baseados nas teorias psicológicas da criatividade e procuram estimular o pensamento na produção de soluções inovadoras. Por outro lado, os métodos sistemáticos propõem a subdivisão do problema em partes menores, buscar soluções para estes subproblemas e, em seguida, sintetizar as soluções parciais numa solução total (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Entre os métodos sistemáticos, a TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving), que pode ser traduzido como a Teoria de Resolução de Problemas Inventivos, foi desenvolvido pelo russo Genrich Altshuller e sua equipe, a partir da década de 40. Ao longo deste estudo foram analisadas milhares de patentes e detectados um conjunto de padrões de contradições técnicas entre as invenções. A partir disto, Altshuller formulou quarenta princípios inventivos utilizados para criar novos produtos ou resolver problemas (ALTSHULLER, 2004; ULRICH; EPPINGER, 2015). O reuso deste conhecimento a partir dos padrões identificados pelo estudo podem ser aplicados pelas equipes de projetos durante a concepção de novos produtos.

Além das contribuições da TRIZ durante o processo de design, o seu estudo também colaborou na proposta de uma taxonomia para representar as funções do produto. O estudo de Stone e Wood (2001) definiu a taxonomia Functional Basis<sup>2</sup> para padronizar a linguagem utilizada na modelagem funcional e, deste modo, proporcionar uma gama de possibilidades para o desenvolvimento de aplicações na área de automação e no reuso do conhecimento em design, apresentada no decorrer deste trabalho.

Outro método sistemático utilizado com frequência pelas equipes de projeto é a analogia. Os profissionais com mais experiência geralmente têm maior capacidade de estabelecer as relações entre projetos com problemas semelhantes e reutilizar as soluções em um novo contexto. Além disso, quanto maior a distância entre os domínios da analogia, maior pode ser o grau de inovação alcançado pela solução (ULRICH; EPPINGER, 2015).

---

<sup>2</sup> STONE, R. WOOD, K. (2001) Functional Basis é uma linguagem de design controlada utilizada para representar a estrutura funcional de um produto e facilitar a transmissão deste conhecimento, apresentada no item 2.3.2.

O Quadro 2 exemplifica as alternativas geradas para o produto “descascador de batatas” através de analogias em produtos existentes. Para cada função da lista de funções que devem ser realizadas pelo produto, é relacionada a analogia e um ou mais princípios de solução aplicados. O número de conceitos gerados está diretamente ligado a estas combinações. Portanto, o acesso ao conhecimento existente em design aplicado em um novo contexto pode aumentar este número de relações e, conseqüentemente, o número de alternativas, objetivo desta fase.

Quadro 2: Uso de analogias na geração de conceitos

Função do descascador	Analogias funcionais	Princípios de solução	Novos conceitos de descascador	
Preparar para cozinhar	Rolo de pintura	Espalhar sobre uma superfície	Rolo para descascar	
Remover casca	Lixar superfície	Abrasão	Lixador de batata	
Limitar a profundidade do corte	Fresa metálica	Lâminas afiadas girando	Descascador rotativo com motor	
	Guilhotina de papel	Cisalhamento de uma pilha de papéis	Aplicar força de cisalhamento para retirar a casca	
	Plaina de madeira	Lâmina saliente sobre uma superfície	Aparelho de despelar batata	
	Arado (agrícola)	Roda para limitar profundidade	Lâmina de corte com rolo superficial	
	Ralador de queijo	Várias lâminas pequenas	Ralador de batata	
Lâmina móvel	Maçaneta de porta	Cabos móveis	Lâmina fixa, cabo móvel	

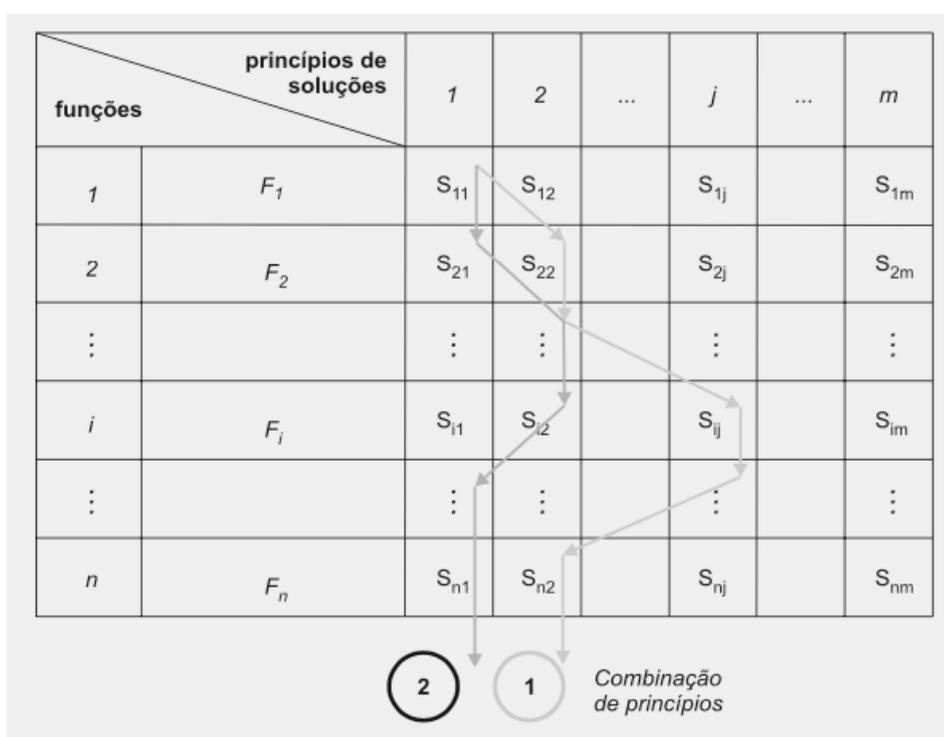
Fonte: adaptado Baxter (2011).

A última atividade que abrange o processo de geração de alternativas corresponde ao desenvolvimento das alternativas de solução. Ou seja, a partir da estrutura de funções do produto definida e os princípios de solução identificados, é o momento em que a equipe de projeto precisa combinar estes princípios para gerar um novo conceito.

### 2.1.5 Desenvolver as alternativas de solução

Para apoiar esta atividade, a matriz morfológica é uma técnica sistematizada que guia a montagem das combinações possíveis para a geração de alternativas. É um instrumento visual formado pela lista das funções essenciais do produto e os princípios de solução identificados, distribuídos nas posições indicadas da matriz. A partir disso, o projetista pode escolher os princípios de solução para cada função e, deste modo, obter os princípios de solução totais que representam um conceito para o produto, conforme a Figura 12 (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Figura 12: Matriz morfológica e a combinação de princípios de solução



Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006)

Retomando o exemplo da estrutura funcional do equipamento para limpeza de mexilhões da Figura 8 do item 2.1.3, o resultado deste trabalho pode ser representado

através de uma matriz morfológica (Figura 13), que apresenta uma parte da matriz contendo o conjunto de princípios pretendentes a resolver as funções do produto.

Figura 13: Matriz morfológica (parcial) do equipamento para limpeza de mexilhões

FUNÇÕES	Princípios de solução					
Agrupar mexilhões	 Casca esférica	 Tambor vertical	 Funil	 Redução aberta	 Redução aberta	 Tambor horizontal
	 Cone	 Empurrando	 Canaleta	 Copo		
Agitar mexilhões	 Tambor rotativo	 Eixo com aparatos	 Pás rotativas	 Caixa vibratória	 Agitador	 Planetária-1
	 Planetária-2	 Oscilação				
Extrair detritos dos mexilhões	 Placa rotativa	 Escova	 Tambor rotativo	 Tambor com grades	 Grade vibratória	 Eixo com placas
	 Eixo com aparatos	 Escova	 Eixo com aparatos	 Eixo com aparatos	 Eixo com aparatos	 Eixo com aparatos

Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006)

O resultado da interação da equipe de projeto com a matriz deve gerar o conjunto de alternativas de solução. Esta informação pode ser representada de diferentes formas, a Figura 14, por exemplo, sugere uma tabela em que cada coluna corresponde a uma alternativa composta pelos princípios de solução totais.

Figura 14: Alternativas de solução para o processo de limpeza de mexilhões.

FUNÇÕES ELEMENTARES	ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO					
	1	2	3	4	5	6
Agrupar mexilhões	 Casca esférica	 Tambor vertical	 Funil	 Redução aberta	 Tambor horizontal	 Tambor horizontal
	 Tambor rotativo	 Eixo com aparatos	 Eixo com aparatos	 Tambor rotativo	 Eixo com aparatos	 Tambor rotativo
Extrair detritos dos mexilhões	 Escova	 Escova	 Escova	 Tambor com grades	 Escova	 Tambor com grades
	 Banho d'água	 Banho d'água	 Ducha d'água	 Ducha d'água	 Banho d'água	 Banho d'água
Separar detritos	 Grade	 Grade	 Grade	 Grade	 Grade	 Grade
	 Mangueira	 Mangueira	 Mangueira	 Mangueira	 Tubo flexível	 Tubo flexível

Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006)

A seguir, o conjunto de alternativas gerado segue para as demais atividades previstas do projeto conceitual, que devem acrescentar informações sobre arquitetura, forma e estilo do produto para depois selecionar e avaliar a concepção que melhor atenda aos objetivos do produto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Outro ponto a considerar é como o processo criativo dos indivíduos pode ser influenciado durante as atividades previstas na geração de alternativas. O uso de métodos e técnicas de criatividade são práticas aplicadas na busca por soluções inovadoras. Logo, o pensamento e o processo criativo são conceitos associados à criatividade e que, no processo de desenvolvimento de produto, atuam de forma complementar.

Para esta pesquisa, os aspectos relacionados à criatividade são relevantes para o contexto da etapa investigada, logo, não devem ser desprezados. Além de auxiliar para a melhor compreensão do indivíduo e o seu ambiente, possibilita identificar formas de contribuir para o processo criativo na busca por soluções mais inovadoras através da sua interação com a ferramenta proposta.

## **2.2 DESIGN, INOVAÇÃO E CRIATIVIDADE**

Se considerarmos os temas abordados neste estudo, a inovação é recorrente no objetivo final das várias etapas descritas do processo de design. Neste sentido, é relevante compreender o que pressupõe ser inovação, de que modo a inovação surge nos processos de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e em que momento e contexto acontece a criatividade.

Ao reunir o design e a inovação na procura de um resultado, é possível observar que ambos atuam com o mesmo propósito: projetar e oferecer uma solução que ainda não exista, portanto, nova (PINHEIRO; GONTIJO, 2015). Sendo assim, o design estaria entre a criatividade e a inovação, isto porque fornece os atributos e as ferramentas que proporcionam estrutura e foco para que o resultado seja atingido com maior eficiência. Além disso, oferece técnicas para estimular a criatividade, organizar processos, pensar estratégias, avaliar a perspectiva dos usuários e, assim, criar um ambiente favorável para o processo de inovação (DESIGN COUNCIL, 2011).

Ao mencionar produtos inovadores, é natural associar o uso de alta tecnologia, como por exemplo, os *smartphones*, os *tablets* e quaisquer dispositivos digitais que

fazem parte do dia a dia das pessoas. No entanto, mesmo com este peso da tecnologia, os consumidores têm um papel fundamental no processo de inovação. Cross (2000) afirma que há uma combinação de dois aspectos preponderantes para o desenvolvimento de produtos inovadores: impulso da tecnologia e a demanda do mercado. Da mesma forma, Pinheiro e Gontijo (2015) destacam o quão vital o ambiente é para que a inovação aconteça. Para os autores, o processo de inovação é um fenômeno social que busca equalizar as necessidades e os interesses da sociedade e do mercado para que a inovação ocorra.

O grau de inovação gerado por um produto é percebido sob diferentes aspectos. O processo de melhoria contínua de produtos pode ser visto como uma inovação incremental, pois gera pequenos avanços em benefícios observados pelo consumidor, mas que não modificam significativamente a forma de como o produto é consumido, nem o seu modelo de negócio. Por outro lado, quando um produto gera uma inovação radical ou disruptiva, há um impacto contundente no mercado, capaz de modificar a sua estrutura, a economia das organizações envolvidas ou até mesmo tornar produtos existentes obsoletos (OECD, 2004).

A perspectiva sobre os impactos que um produto pode causar no mercado, desperta a relevância que o entendimento do contexto social em que se está desenvolvendo produtos e serviços deve conter. A inovação é o fator primordial para um movimento de diferenciação ou de atualização, porém a inovação tem de acontecer de modo sustentável. Essa, nem sempre é somente positiva, por exemplo, se analisada a partir de questões como a obsolescência programada, do cenário de escassez de recursos e mercados saturados. Por isso, um “design sustentável” permite o desenvolvimento de produto como parte de um sistema amplo – ambiental, econômico e social – e deve responder aos requisitos que lhes são subjacentes, inclusive, procurando, na sociedade, as soluções para muitos dos problemas existentes. O design para sustentabilidade, reequaciona as competências dos projetistas para uma atuação inserida nos “princípios coerentes com a sustentabilidade” (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

A busca pela inovação é fundamental porque é através dela que as organizações se mantêm competitivas nos seus mercados e são capazes de gerar riqueza. Entretanto, a inovação tanto pode ocorrer por meio de ações planejadas quanto por simples acaso – este último, menos provável. O processo de inovação a

partir da busca consciente e intencional de oportunidades para inovar é responsável pela maioria das inovações bem sucedidas (FREEMAN; PEREZ, 1988). Desta forma, a construção de instrumentos de apoio a este processo pode ser um diferencial para gerar inovação.

No entanto, a criatividade, por sua vez, está associada à inovação como o resultado natural da aplicação da sua prática. Para Baxter (2011, p. 53) “a criatividade resulta de associações, combinações, expansões ou visão sob um novo ângulo de ideias existentes”. Ao delimitar o tema, observa-se que a criatividade pode ser percebida em diferentes campos de estudo das ciências humanas e exatas – como a arte, a engenharia, a psicologia, entre outros – o que permite também diversos tipos de abordagens apresentados na literatura (STERNBERG; LUBART, 1999). No âmbito desta pesquisa, a criatividade consiste na capacidade de encontrar novas respostas e produzir combinações originais, que frequentemente resultam da intenção de encontrar soluções para um problema novo ou para um problema existente que admite novas soluções (PARREIRA, 2014).

No design, há autores (POMBO; TSCHIMMEL, 2005) que desenvolveram estudos em relação à criatividade sob a ótica do equilíbrio entre a razão e a emoção. O projetista, muitas vezes, tem o papel de solucionador de um problema específico, e para isto, segue determinadas metodologias ou técnicas. Neste sentido, é interessante pensar o que é preciso para que ele empregue da melhor maneira, neste processo, a sua imaginação e o seu potencial artístico. A questão que surge, a partir disto, é como equilibrar o pensamento inconsciente e irracional, e o pensamento consciente racional.

Um designer bem-sucedido não é aquele que sabe apenas lidar com o conhecimento técnico, semântico ou metodológico, mas aquele que também tem visão e imaginação, que faz conexões entre ideias e conceitos não associados anteriormente, e que sabe como explorar acontecimentos inesperados (POMBO; TSCHIMMEL, 2005).

Para o processo de design, a fase de geração de alternativas é o momento em que as decisões tomadas podem contribuir para a inovação do produto que está sendo projetado. A criatividade, por sua vez, é um fator decisivo para a busca de soluções inovadoras neste processo. A possibilidade de gerar inovação de forma planejada e sistemática com o apoio da tecnologia, sugere a possibilidade de construção de novas ferramentas para este fim.

Por outro lado, existem inúmeras variáveis envolvidas que influenciam diretamente nas condições para que a inovação ocorra, o que torna o cenário ainda mais complexo para realizar a avaliação deste processo. Por este motivo, nesta pesquisa, o tema inovação fica restrito somente à aplicação dos conceitos identificados nesta revisão para a sua promoção.

Considerando este contexto, é necessário fundamentar as teorias que estudam os processos mentais que envolvem a criatividade do indivíduo durante as atividades de criação. Este entendimento é relevante para definir que estratégias e técnicas já utilizadas podem ser adaptadas e aplicadas neste projeto para contribuir para o pensamento e processo criativo do indivíduo.

### **2.2.1 O pensamento e o processo criativo no design**

A criatividade ocorre através de fenômeno cognitivo, e como tudo que envolve a mente humana, reúne tanto a razão quanto a intuição e, desse modo, métodos (e técnicas) sistemáticos e abertos apoiam o processo criativo. A criatividade enquanto capacidade para gerar ideias e reconhecer possibilidades e alternativas depende da motivação. Para um indivíduo, ser criativo passa pela necessidade humana e permanente de: (i) receber estímulos novos, variados e complexos; (ii) comunicar ideias e valores; (iii) resolver problemas ou responder a questões (FRANKEN, 1994).

O conceito de criatividade está próximo de temas como o pensamento e o processo criativo, e todos esses podem até ser usados como sinônimos, porém possuem as suas especificidades. O pensamento criativo amplia o papel da criatividade por estar associado ao processo cognitivo e à capacidade de estabelecer conexões. O processo criativo engloba ainda mais questões, envolvendo não apenas outros sujeitos como os métodos e técnicas utilizadas. Sendo assim, os três conceitos fazem parte do dia a dia das equipes durante as atividades projetuais (ZAVADIL; SILVA; TSCHIMMEL, 2016).

No pensamento criativo, Guilford (1986) criou os conceitos de pensamento convergente e divergente, e desenvolveu em sua teoria que as pessoas sempre optam usar um ou outro, ao invés de misturá-los. Neste caso, o lado convergente como aqueles com um sentido mais lógico, onde o raciocínio tem mais espaço, e o divergente, como aqueles indivíduos que preferem a possibilidade de explorar soluções originais, mais maleável e intuitivo.

A partir da sua visão divergente, Guilford (1986) chegou a três características do pensamento criativo: originalidade, conseguir chegar a uma solução única; fluidez, que é a mobilidade de soluções, encontrar mais resultados para um mesmo problema, e por último, flexibilidade, que soma as duas outras, pois acrescenta a ideia do erro como uma questão relevante na criação, ela pode potencializar o encontro de um resultado mais autêntico.

Esta teoria serviu como ponto de partida para os estudos de De Bono (1990), que desenvolveu o pensamento lateral. A técnica do pensamento lateral utiliza ferramentas para criar ideias além do pensamento crítico (racional). Ele inovou ao pensar na potencialização da criatividade a partir do treinamento da mesma, como uma estratégia. De acordo com De Bono (1990), o pensamento lateral busca caminhos opostos, não olhar o conteúdo em sequência, buscar referências fora do contexto, ou seja, fazer uma ruptura ao pensar o problema e a solução.

Posteriormente, surge uma nova visão, ampliando ainda mais o papel da criatividade, tornando esta produto de todo um sistema. Não são mais as habilidades individuais que contam, mas o ambiente de trabalho e todos nele envolvidos.

A criatividade não ocorre dentro dos indivíduos, mas é resultado da interação entre os pensamentos do indivíduo e o contexto sociocultural. Criatividade deve ser compreendida não como um fenômeno individual, mas como um processo sistêmico (CSIKSZENTMIHALYI, 1996, p. 23).

A criatividade faz parte de um processo que une três tópicos: indivíduo (experiência pessoal), domínio (cultura) e campo (sistema social). Consolidando, assim, a criatividade como parte de um processo.

Todos estes estudos em torno da criatividade dão origem a diversas técnicas que sistematizam ou estimulam o processo criativo. Também, a compreensão das variáveis envolvidas na criatividade facilita a identificação de quais técnicas são mais adequadas para provocar os estímulos desejados na realização de uma determinada tarefa.

No processo de design, inúmeras atividades – principalmente no projeto conceitual – exigem intensa criatividade do indivíduo, necessária para alcançar resultados originais. A etapa de projeto conceitual é o momento em que as ideias são geradas e os princípios de produto são selecionados como, por exemplo, o nível de funcionalidades, tecnologias, componentes, etc. Mas, para criar algo além do senso

comum, as equipes de projeto precisam imergir em outras referências, a multidisciplinaridade do conhecimento e suas conexões ampliam as formas de encontrar os caminhos que levam a conceitos originais (JANSSON; SMITH, 1991).

Porém, durante o processo criativo do designer, um dos maiores desafios é a luta contra as primeiras ideias, porque, normalmente, são as mais óbvias, mas nem sempre tão originais quanto deveriam. Isso é devido a um fenômeno que ocorre com o projetista no momento de criação, o *design fixation*, que provoca o efeito oposto da geração de ideias, criando barreiras mentais no momento de pensar em soluções alternativas (CONDOOR; LAVOIE, 2007).

Condoor e Lavoie (2007) abordaram a questão do *design fixation*, realizando um experimento, inspirados em um trabalho que já havia sido efetuado por Jansson e Smith (1991). O objetivo era comprovar que o *design fixation* inibe a criatividade e a motivação de explorar diferentes alternativas, inclusive na etapa inicial de formulação do problema. O teste foi aplicado em engenheiros e estudantes de design, os quais precisavam criar um brinquedo para crianças cegas. Mesmo sem nenhum dos participantes receber algum tipo de referência ou inspiração durante o *briefing*, o resultado comprovou a ocorrência do *design fixation* em várias etapas do processo criativo. As ideias entregues eram bem próximas umas das outras, todos criaram brinquedos que explorava apenas um sentido, o tato, nenhum participante pensou em projetar algo com áudio ou que alterasse a temperatura, por exemplo. O curioso é observar que o fenômeno ocorre entre os indivíduos com diferentes níveis de conhecimento, desde os mais inexperientes até os mais experientes.

No contexto do processo de design, a utilização de técnicas apoiadas no pensamento divergente é uma prática efetiva no combate aos efeitos do *design fixation*. Nesta visão, de pensar diferentes caminhos para encontrar soluções, as analogias são facilitadoras no processo de conexão entre ideias e, por isso, fundamentais no processo criativo dos projetistas. É frequente encontrar na literatura o uso de analogias tanto para exemplificar o raciocínio construído para chegar a uma determinada ideia, quanto para apresentar as ideias e soluções para os problemas de design. Fazer analogias é criar associações e relações entre determinados termos semelhantes que possam inspirar a criação de novos (LINSEY; TEXAS; MARKMAN, 2008).

No seu conceito básico, a analogia é o processo de associação entre dois polos, o primeiro ou a base é a fonte, que traz o termo mais conhecido e pertence ao domínio estudado, enquanto o mais distante ou menos identificável é o alvo, o objetivo da analogia. O pré-conhecimento (a fonte) é fundamental para a conquista da solução (o alvo) (GENTNER, 1983; NOVICK, 1988; VOSNIADOU, 1989). Com isso, é possível trazer a ideia do pensamento analógico como o responsável pela representação de todo este processo de reconhecimento e transferência das informações. Quando ocorre uma conexão entre a fonte e possíveis relações com o objetivo, ocorre uma analogia (LINSEY; TEXAS; MARKMAN, 2008).

Relacionado a este tema, há muitos estudos (FU *et al.*, 2014; LINSEY, 2007; LUCERO, 2014; MURPHY, 2011; NAGEL; STONE, 2012; NGO, 2014; ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011; TOMKO *et al.*, 2015; TSENG *et al.*, 2008) que utilizam técnicas baseadas em analogias como estratégia para promover ferramentas de auxílio durante o processo de criação para as equipes de projeto.

Na etapa do projeto conceitual, onde ocorre uma intensa geração de ideias na busca de soluções, acontece um dos principais momentos do processo criativo, nesta etapa o indivíduo é a maior ferramenta criativa (CSIKSZENTMIHALYI, 1999). Para apoiar esta tarefa, as técnicas baseadas em analogias no design (DbA) é um campo em expansão que gera ferramentas baseadas na tradução e combinação de técnicas criativas e, muitas vezes, potencializadas por recursos computacionais.

### **2.2.2 Design-by-Analogy**

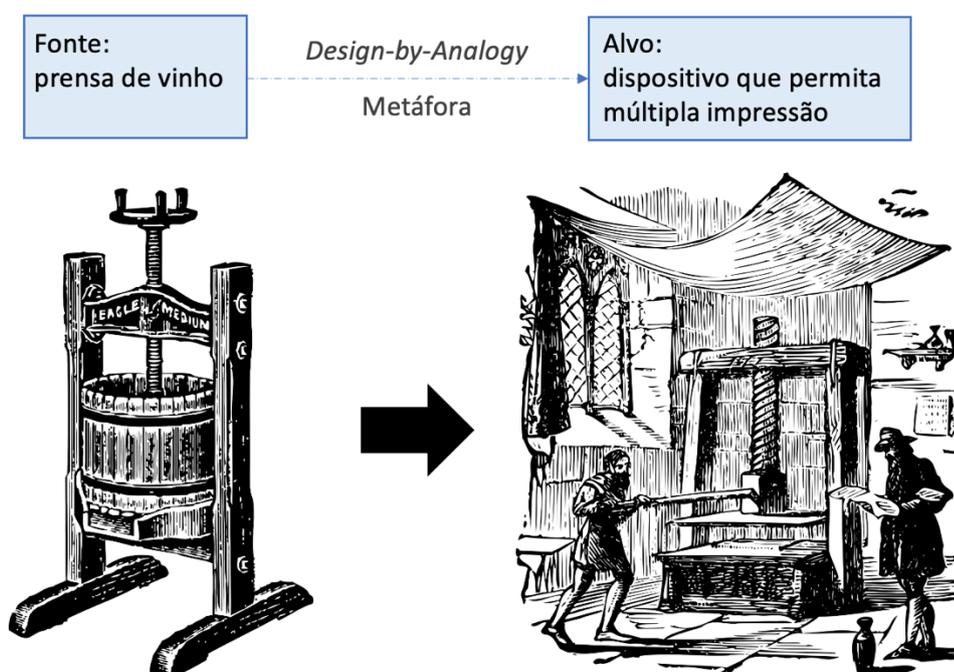
A utilização do raciocínio analógico no design deu origem ao campo Design-by-Analogy (DbA), que surge como uma metodologia eficaz para a geração de novas soluções. As pesquisas nesta área apresentam diversas técnicas e ferramentas para auxiliar os projetistas a explorar as analogias na resolução de problemas de design e promover a inovação em suas soluções. É um dos meios para combater e minimizar os efeitos do *design fixation* (MORENO *et al.*, 2014).

Exemplos de produtos inovadores, baseados em analogias, podem ser observados no mercado e na literatura. As analogias podem ocorrer de várias fontes, por exemplo, a partir de artefatos já existentes, onde as ligações entre domínios próximos podem ser mais óbvias, mas em média, produzem soluções efetivas e

menos inovadoras. Por outro lado, as analogias entre domínios distantes tendem a gerar um grau maior de inovação (LINSEY, 2007).

A invenção da prensa móvel, por Johannes Gutenberg em 1455, foi um acontecimento que marcou a história pela influência que teve. A sua concepção teve origem a partir da analogia dos princípios de funcionamento e atributos de forma da prensa para a produção de vinho. A máquina criada era capaz de realizar impressões em bloco, através de uma peça de madeira talhada, para imprimir uma página com o texto a ser produzido (KARSNITZ; O'BRIEN; HUTCHINSON, 2012). A Figura 15 exhibe os dois produtos e suas similaridades.

Figura 15: Analogia para criação da prensa móvel.



Fonte: o autor.

Da mesma forma, as analogias a partir da natureza produzem inúmeras alternativas para soluções na concepção de produtos. Os sistemas biológicos formados por organismos, fenômenos e suas estratégias são, em sua essência, sistemas vivos. Estes, por sua vez, servem de *insights* para o design sustentável e adaptável e oferecem aos projetistas bilhões de anos de conhecimentos valiosos, que podem ser utilizados para inspirar a inovação no desenvolvimento de novos produtos (NAGEL; STONE, 2011). Neste sentido, a Biomimética e a Biônica surgem como campos de estudos semelhantes que compartilham da mesma inspiração. Ambas

buscam nas soluções da natureza adaptações que possam ser aplicadas na resolução de projetos, em busca de melhor aproveitamento e menor gasto de energia (DETANICO, 2011).

A Figura 16 apresenta um exemplo de uma aplicação DbA. Este caso visa resolver um problema de projeto de engenharia: eliminar o estrondo sônico causado pelo deslocamento de ar nos trens em alta velocidade ao entrar em túneis, devido ao acúmulo de ar concentrado na sua dianteira.

Figura 16: Design do nariz do trem-bala inspirado no bico do martim-pescador.



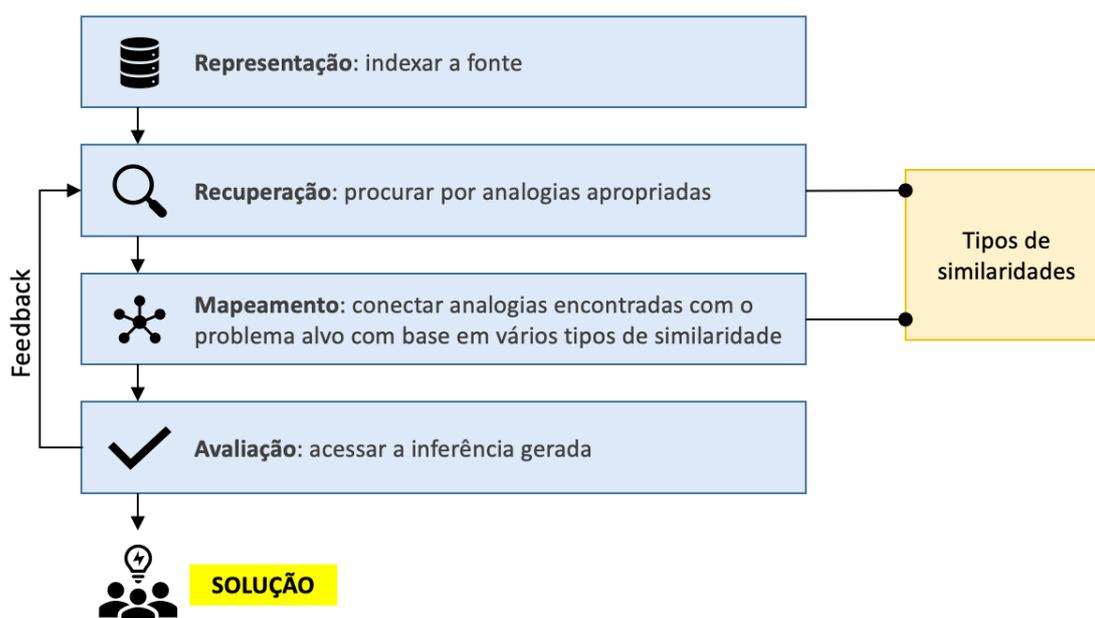
Fonte: adaptado JIANG *et al.* (2021).

Durante as buscas por soluções, os engenheiros exploraram estruturas em projetos de outros domínios do design e na natureza que efetivamente resolveu o problema de projeto. Ao observar a natureza, os engenheiros descobriram que o pássaro martim-pescador podia cortar o ar e mergulhar na água em velocidades extremamente altas para capturar a presa, sem praticamente deslocar a água durante sua imersão. Por analogia, os engenheiros redesenharam o nariz dianteiro do trem

para imitar o desenho do bico do martim-pescador. A aplicação desta analogia reduziu o ruído e eliminou os estrondos causados pelos trens ao entrar em túneis. Também permitiu que o trem viajasse 10% mais rápido consumindo 15% menos de energia. O exemplo mostra um caso prático em que o design por analogia pode levar à solução criativa de problemas e à melhoria significativa do desempenho (JIANG *et al.*, 2021).

Assim como no raciocínio analógico humano, as fases deste processo são transferidas e aplicadas aos modelos em DbA. A representação da fonte para a analogia deve permitir que o conhecimento estruturado possa ser compreendido e aplicado em diferentes contextos. Nos processos de recuperação e mapeamento, as conexões são realizadas a partir das comparações dos tipos de similaridades definidas pelo modelo. Por fim, a avaliação envolve o julgamento da analogia junto com quaisquer inferências geradas. A Figura 17 resume este processo.

Figura 17: Processo tradicional DbA.



Fonte: adaptado JIANG *et al.* (2021).

O estudo de Tsoka *et al.* (2019), investigou as dimensões de similaridade do produto que as equipes de projeto tendem a usar para identificar o produto de origem ao usar o DbA em projetos de engenharia. O estudo empírico indicou que os projetistas utilizam pelo menos seis dimensões diferentes para fazer analogia entre os produtos alvo e de origem: princípio de funcionamento, estrutura, interação humana,

função, fluxos de energia e fluxos de materiais. Entre as opções, os princípios de função, demonstraram ser os mais utilizados na busca por analogias.

Em relação à etapa de avaliação das analogias, poucos estudos apresentam resultados sobre a qualidade das analogias ou ideias geradas pelo DbA. Isso pode ser atribuído a, pelo menos, dois motivos. O primeiro consiste na dificuldade de estabelecer os critérios de avaliação. Os aspectos que definem o grau de utilidade e novidade a partir da “criatividade” podem variar de acordo com necessidades pessoais específicas, contextos organizacionais, culturas regionais e épocas. O outro motivo, diz respeito à avaliação da analogia em relação ao domínio. Uma ideia ou conceito experimentado em um domínio do conhecimento pode ser novo em outro. Esses saltos entre domínios podem alterar radicalmente os resultados obtidos pelas relações geradas. Portanto, a recente aplicação do raciocínio por analogia nestas ferramentas, ainda carece de novos métodos de avaliação para determinar a eficácia e a utilidade dos sistemas em DbA caráter científico (JIANG *et al.*, 2021).

Neste contexto e para esta pesquisa, o levantamento das ferramentas similares esclarece o que já foi desenvolvido, as limitações encontradas e oportunidades de avanços para a área. A identificação e análise destes estudos são apresentados nos itens 4.2 e 4.3 deste trabalho, obtidos a partir dos critérios estabelecidos no item 3.4 da metodologia da pesquisa.

Apesar de todas as evidências sobre sua utilidade, a eficácia do DbA é naturalmente limitada pelo conhecimento prévio do projetista e pela memória para a potencial recuperação e mapeamento para um problema de design. Esse desafio é maior para projetistas inexperientes ou especialistas com um escopo limitado de conhecimento. Além disso, nem todo indivíduo pode ser considerado um especialista em pensamento analógico. Considerando os recursos computacionais como apoio, este cenário sugere o uso de um banco de dados de conhecimento externo como fonte e a aplicação de algoritmos inteligentes para realizar o raciocínio analógico (JIANG *et al.*, 2021; TOMKO *et al.*, 2015).

Para esta pesquisa, o DbA é a metodologia de design adotada para o desenvolvimento da ferramenta proposta. A necessidade de sua aplicação a partir de uma ferramenta computacional demanda a compreensão de como representar o conhecimento em meio digital para que este possa ser armazenado, mapeado e recuperado, e assim promover o seu reuso. Para isso, o reuso do conhecimento em

design e os elementos necessários para a sua ocorrência são abordados no próximo item.

## **2.3 REUSO DO CONHECIMENTO EM DESIGN**

Durante o processo projetual, os projetistas são, inevitavelmente, influenciados e inspirados pelo que já existe. De maneira consciente ou inconsciente, o projetista, muitas vezes, recorre a experiências anteriores para resolver problemas de projeto. Estas relações análogas estabelecidas pelo indivíduo podem ser internas – a partir de seu repertório pessoal e profissional – ou externas – a partir da experiência de outros profissionais ou de diferentes fontes de conhecimento (DEMIAN, 2004).

Além disso, o reaproveitamento de experiências anteriores é reconhecido pela indústria e por pesquisadores como um fator decisivo para uma ágil e efetiva tomada de decisão durante o processo de design. Da mesma forma, é um meio que propicia aos profissionais menos experientes um recurso prático para o acesso de experiências prévias (GUNDUZ; YETISIR, 2016).

Os estudos realizados nesta área enfocam abordagens tanto nos aspectos cognitivos do indivíduo quanto nos aspectos computacionais (DEMIAN, 2004). Esta pesquisa reúne as duas e considera o reuso do conhecimento existente como um esforço combinado envolvendo tanto o ser humano quanto a máquina. O desenvolvimento de uma ferramenta digital que promove a experiência de reuso do conhecimento em design deve apoiar as equipes de projeto na realização de seu trabalho, proporcionando uma interação equilibrada entre o sistema e o usuário. Ou seja, a automatização implementada deve buscar o aumento da produtividade e, ao mesmo tempo, não limitar a criatividade do utilizador.

Para isso, é necessário compreender as questões envolvidas entre o conhecimento e a informação, no contexto deste estudo, e de que forma ambos são assimilados pelos indivíduos e relacionados aos meios digitais. De modo geral, o conhecimento está associado aos processos cognitivos que ocorrem na mente humana e abrangem tanto os aspectos pertinentes a captação, assimilação e associação de conceitos, assim como a construção, desconstrução e reconstrução dos mesmos (LIMA; ALVARES, 2012).

Segundo Le Coadic (2004), a produção do conhecimento deve iniciar pela procura de conhecimento existente, a partir dos princípios que já foram estabelecidos e fundamentados, presentes nas informações do que já foi produzido. Segundo o autor, a informação é um elemento que compõe o conhecimento, que quando assimilada altera o estado de consciência do indivíduo. A informação, portanto, exige um receptor para se tornar conhecimento, este que é resultado de um processo reflexivo (cognitivo), influenciado ainda por questões de interpretação e de juízos de valores tanto da informação em si (como é construída) quanto de quem a interpreta. Com isto, “a informação é vislumbrada como uma possibilidade de transformar estruturas do conhecimento e, portanto, o conhecimento pode ser visto como algo provisório e em permanente revisão” (BRASCHER; CAFÉ, 2010).

Todavia, o conhecimento não se restringe somente aos aspectos individuais e cognitivos, ampliando o seu significado sob a perspectiva do seu acúmulo ao longo do tempo e da sua socialização. Também, o conceito sofre grande influência da difusão do idioma inglês pelo uso do termo *knowledge*, que, neste contexto, é empregado como “conhecimento acumulado” ou, também, “ciência acumulada”. Neste sentido, o caráter subjetivo e pessoal do conhecimento desaparece. A partir disso, a introdução dos computadores aplicados ao tratamento das informações produz instrumentos digitais capazes de armazenar e transferir o conhecimento já gerado (CURRÁS, 2010).

No âmbito dos objetivos desta pesquisa, o desenvolvimento de um artefato digital que em sua essência pretende reutilizar o conhecimento já gerado como fonte de informação para auxiliar o progresso da etapa conceitual, implica na necessidade de compreender como organizar e representar o conhecimento existente em design no meio digital, para que este possa ser armazenado, recuperado e, então, reutilizado.

Para que isto seja possível, é necessário que ocorra um processo de modelagem do conhecimento – presente no nível cognitivo do indivíduo – que resulta na representação do mesmo, a fim de reproduzir um determinado contexto. A representação do conhecimento, portanto, é um tema investigado por distintas áreas – entre elas a Ciência da Informação e a Ciência da Computação – que expõem diferentes interpretações sobre o assunto, mas que, à medida que convergem, se complementam para a concepção de modelos que visam o tratamento da informação

e do conhecimento em meio digital (BRASCHER; CAFÉ, 2010; MEDEIROS; CAMPOS, 2011).

Para a Ciência da Informação, o mapeamento da organização mental dos conceitos representa parcialmente um determinado universo, devendo impedir qualquer tipo de ambiguidade e a identificar os conceitos relevantes ao domínio, bem como as suas correlações e propriedades, permitindo, assim, o desenvolvimento de sistemas baseados no conhecimento (LIMA; ALVARES, 2012; MEDEIROS; CAMPOS, 2011).

Do ponto de vista da Ciência da Computação, no campo da Inteligência Artificial (IA), se desenvolvem estudos para encontrar formas de representar e manipular simbolicamente o conhecimento, com a finalidade de automatizar, na tentativa de simular, o raciocínio humano em *softwares* que atuam em conjunto com as bases de conhecimento (SALES; CAFÉ, 2009). As bases ou repositórios de conhecimento, detalhados no item a seguir, são estruturas formuladas a partir dos modelos de representação do conhecimento e suas instâncias. Porém, na sua origem, não deixam de ser bases de dados acumulados em memória de computadores (CURRÁS, 2010).

A partir dos estudos em IA, no desenvolvimento de *softwares* para este fim, o uso de ontologias promove o reuso de um domínio de conhecimento, através da criação de modelos para descrever a organização e representação do conhecimento em sistemas computacionais. O termo ontologia tem sua origem no campo da Filosofia, relacionado com as questões da existência dos seres vivos. Entretanto, a adaptação da sua definição original na área computacional, aborda a representação de um conjunto de conceitos, analisados e determinados, sobre uma área de domínio específica (GRUBER, 1993). As ontologias, ainda, podem ser consideradas como um conjunto de axiomas lógicos, formulados para proporcionar significado a um vocabulário controlado, inserido em uma área específica do conhecimento (GUARINO, 1998).

Neste contexto, o significado de ontologia é definido como uma especificação formal explícita de uma conceitualização compartilhada. Isso significa que para ser considerada formal, esta deve ser interpretada por uma máquina; para ser considerada explícita, os conceitos empregados e as restrições do seu uso devem ser definidos explicitamente no nível simbólico; e para ser compartilhada, deve

representar um conhecimento consensual em um grupo e não individual (GRUBER, 1993; MOREIRA, 2002).

A aplicação de uma ontologia em artefatos digitais geralmente é interna ao *software*. Nestes casos, não há interação direta do usuário com a estrutura da ontologia. Contudo, a ontologia, além de proporcionar um meio de organizar e representar o conhecimento para a máquina, também pode oferecer meios de interação para o usuário. Desta forma, a ontologia se torna um meio de comunicação entre o usuário e o sistema, ampliando o seu papel e permitindo que esta possa ser consultada e navegada (MOREIRA, 2002). De acordo com Guarino (1998), neste caso, o usuário passa a compreender, de forma consciente, a ontologia e a emprega de forma natural na sua interação com o sistema. Ou seja, o usuário consegue navegar pela estrutura da ontologia, reconhecer o vocabulário adotado e realizar consultas mais específicas.

Portanto, a elaboração de uma ontologia é a base para o desenvolvimento de ferramentas computacionais que têm como objetivo organizar e representar o conhecimento. Além disso, facilita o intercâmbio de informações através de consultas sobre suas estruturas, proporcionando meios de projetar sistemas interativos que permitem a recuperação da informação armazenada a partir das necessidades de busca do utilizador (SALES; CAFÉ, 2009).

Este item esclarece os elementos necessários para o reuso do conhecimento no domínio investigado. Para isso, é preciso compreender o que são as bases de conhecimento e os elementos necessários para a sua construção.

### **2.3.1 Bases de conhecimento**

Diferentemente das bases de dados tradicionais, as bases ou repositórios de conhecimento podem ser definidos como bases de dados inteligentes, fundamentadas no conhecimento – estruturadas por uma ontologia – e não somente em dados, utilizados para facilitar a representação, captura, compartilhamento e reuso do conhecimento (SZYKMAN *et al.*, 2000).

À medida que o desenvolvimento de produtos se torna mais complexo, maiores são as possibilidades de representação das informações de projeto. As diversas etapas do processo de design, amparadas por técnicas e métodos utilizados pelo

designer, geram grande volume de informação, em diferentes níveis de abstração, estrutura e contexto. Para que ocorra o reuso do conhecimento, estas informações devem estar ao alcance do projetista, que precisa de meios para recuperar a informação relevante de forma ágil (SZYKMAN *et al.*, 2000).

Porém, o estilo particular de cada indivíduo para comunicar suas soluções gera ambiguidade no momento de armazenar a informação e, conseqüentemente, dificulta a futura recuperação do conhecimento gerado. Apesar dos diversos recursos tecnológicos disponíveis que facilitam o acesso à informação em meio digital, a falta de uma linguagem controlada para a representação do conhecimento em design pode anular o propósito destas ferramentas (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005).

Esta percepção observada por Bohm *et al.* (2003), a partir da interação dos usuários com uma base de dados durante as atividades de modelagem de projeto, bem como as atividades de recuperação e reutilização do conhecimento, revelou que estes inconvenientes formam uma barreira no uso efetivo de uma base de dados. Diante desta dificuldade, o estudo apontou a necessidade de uma linguagem controlada para facilitar a representação do conhecimento em repositórios de design, o que supostamente aprimoraria o uso deste repositório nas interações relacionadas a visualização, recuperação e reutilização do conhecimento de design preexistente (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005).

Entretanto, o estudo mencionado faz parte da continuidade das pesquisas relacionadas ao armazenamento e transmissão do conhecimento em design que deram origem ao conceito dos repositórios. Estes estudos tiveram seu início em 1999 pelos pesquisadores da *National Institute of Standards and Technology* (NIST), *University of Missouri-Rolla* (UMR) e a *University of Texas at Austin* (UT-Austin), através da coleta das informações de design de distintos artefatos e do seu armazenamento em meio digital (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005).

A partir destes estudos, o processo no qual os dados de design são coletados e registrados mudou significativamente. Inicialmente, as informações de design eram armazenadas em planilhas eletrônicas, em formas de listas ou matrizes que representavam o conhecimento de design sob diversos aspectos. Embora esse tipo de informação fosse útil, o seu aumento progressivo dificultava a manipulação dos dados, provocando limitações no acesso à informação. Para agilizar o processo e melhorar a integridade dos dados, as informações de design foram migradas de vários

formatos independentes para um banco de dados relacional. A partir deste momento, as bases de dados evoluíram impulsionadas pelo campo da IA com a elaboração de ontologias para representar o conhecimento em design, o que deu origem aos primeiros repositórios de conhecimento nesta área (BOHM, 2009).

O repositório de design criado pela NIST (SZYKMAN *et al.*, 2000) contribuiu para guiar o desenvolvimento do repositório da UMR (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005), estabelecendo diretrizes para categorizar as informações de projeto centradas nas funções dos produtos, o que elevou o grau de maturidade das pesquisas nesta área. Apesar da extrema importância dos repositórios de design – no contexto de automação do armazenamento e recuperação do conhecimento em design – durante o desenvolvimento do estudo, Bohm *et al.* (2005) não identificaram nenhuma iniciativa comercial de sistemas semelhantes. No entanto, através da sua revisão foi constatada a utilização de elementos relacionados aos conceitos aplicados em repositórios de design em soluções de mercado, apontando um movimento da indústria nesta direção.

Em continuidade, a UMR também se associou com a UT-Austin, a Penn State, a Virginia Tech e a Bucknell University para expandir os estudos de tipos de informações de design e ampliar os recursos e ferramentas desenvolvidos para repositórios de conhecimento. Desde sua origem, o projeto denominado Design Repository<sup>3</sup> serve como uma fonte aberta para os projetistas na troca de informações e ferramentas de apoio ao design. A indexação das informações ocorre através de um aplicativo com acesso restrito aos criadores do sistema, enquanto o acesso ao repositório para a recuperação das informações é disponibilizado a qualquer utilizador por um sistema na web (BOHM, 2009).

O Design Repository, mais especificamente, a estrutura do seu banco de dados, estabelece quais tipos de informações de design podem ser armazenadas, a relação desses elementos e a extensibilidade de incluir novos tipos de informações de design – características proporcionadas pelo uso de uma ontologia. Para orientar a elaboração de tal ontologia, através do mapeamento do conhecimento de design, foi necessário o desenvolvimento de uma estrutura de repositório padrão, apoiada por pesquisas fundamentadas nas técnicas de modelagem funcional e arquitetura de produtos utilizadas pelos times de projeto. Deste modo, a informação capturada utiliza

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://ftest.mime.oregonstate.edu/repo/browse/>

um conjunto de conceitos identificados e definidos para descrever as informações de design em um repositório, dividido em sete categorias de tipo de informação, a saber: *artifact-related* (artefato), *function-related* (função), *failure-related* (falha), *physical-related* (física), *performance-related* (desempenho), *sensory-related* (sensorial) e *media-related* (mídia) (BOHM, 2009).

A linguagem de representação adotada para a classificação e hierarquização das funcionalidades de um produto no Design Repository foi a Functional Basis (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002), uma taxonomia desenvolvida a partir da unificação dos estudos de Stone e Wood (2001) e Szykman *et al.* (2000), que tinham em comum a procura de padrões de representação para as soluções de design em meio digital. Esta linguagem define a classificação funcional associada a um vocabulário controlado que possibilita a representação funcional de artefatos eletromecânicos em um repositório, eliminando as ambiguidades, além de permitir que o conhecimento contido no produto possa ser buscado e categorizado, utilizando a “função” como meio para recuperar as informações de projeto existentes (BOHM, 2009; HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002).

Os estudos apresentados oferecem recursos reutilizáveis para a representação das funcionalidades de um produto em sistemas computacionais.

A seguir, a apresentação da Functional Basis tem o objetivo de compreender o vocabulário que será utilizado como parte da implementação da estrutura do banco de dados e das regras do sistema projetado neste estudo.

### **2.3.2 Functional Basis**

A modelagem funcional, descrita anteriormente, é considerada por diversos autores como uma técnica essencial no projeto conceitual para auxiliar na decomposição do problema de projeto, a partir da identificação das funções que o produto deve atender. Além disso, é uma forma de representar a arquitetura do produto, permitindo o armazenamento e a comunicação do conhecimento em design (PAHL; BEITZ, 1988; ROZENFELD *et al.*, 2006; STONE; WOOD, 2001; ULLMAN, 2010; ULRICH; EPPINGER, 2015).

O desenvolvimento de modelos funcionais permite às equipes de projeto representar diferentes níveis de abstração, e isto é importante para que os projetistas

possam desmembrar o problema de projeto de acordo com a complexidade envolvida. No design de um novo produto, por exemplo, os requisitos do consumidor, assim como os requisitos funcionais, normalmente são mais complexos de especificar do que em um projeto de *redesign* ou do aperfeiçoamento das características de um produto. De modo geral, os requisitos mal definidos resultam no uso de estruturas funcionais com maior nível de abstração. Requisitos mais bem definidos, por sua vez, permitem a utilização de tipos de função mais específicas. Assim como em todas as iniciativas abordadas no design para a modelagem funcional, os modelos devem ser suficientemente precisos para fornecer aos projetistas a informação necessária para a especificação, análise ou a tomada de decisão no projeto (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002).

Porém, durante a modelagem funcional, a falta de controle no vocabulário aplicado pelos projetistas para descrever um determinado conceito de design, permite o uso de diversos termos para um mesmo significado, da mesma forma que um determinado termo pode assumir múltiplos sentidos. A existência desta ambiguidade dificulta o processamento das informações, tanto para os times na tentativa de interpretar as soluções modeladas por outros profissionais, como para algoritmos desenvolvidos em sistemas que apoiam a automatização do processo de design (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002; STONE; WOOD, 2001).

Este problema pode ser mitigado através da adoção de uma abordagem minimalista em relação à terminologia e aos vocabulários utilizados na modelagem funcional. Para este propósito, o desenvolvimento da Functional Basis (FB) (STONE; WOOD, 2001) oferece um vocabulário controlado para a representação de modelos funcionais para produtos. A escolha do termo “*basis*” foi motivada pelos autores na intenção de associá-lo aos aspectos relacionados da “*mathematical basis*” (álgebra linear) – independência linear e espaço gerado – com um vocabulário de funções para o design (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002).

A FB foi construída a partir de um estudo empírico que observou uma amostra de produtos existentes, onde os autores Stone e Wood (2001) pretendiam desenvolver um método para identificar modularidades em suas arquiteturas. Desta forma, a unificação dos termos utilizados em um vocabulário controlado melhoraria a comunicação e a transferência de conhecimento nesta área, através da classificação de seus componentes (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002). Inicialmente pensada para

produtos eletromecânicos, a linguagem permite ao projetista descrever o produto através de um conjunto de funções e fluxos predefinidos. Para alcançar esta classificação ou taxonomia, o estudo de Stone e Wood (2001) foi fundamentado em diversas pesquisas na área do design, iniciadas na metade do século XX, que estudavam maneiras de identificar padrões no processo de design.

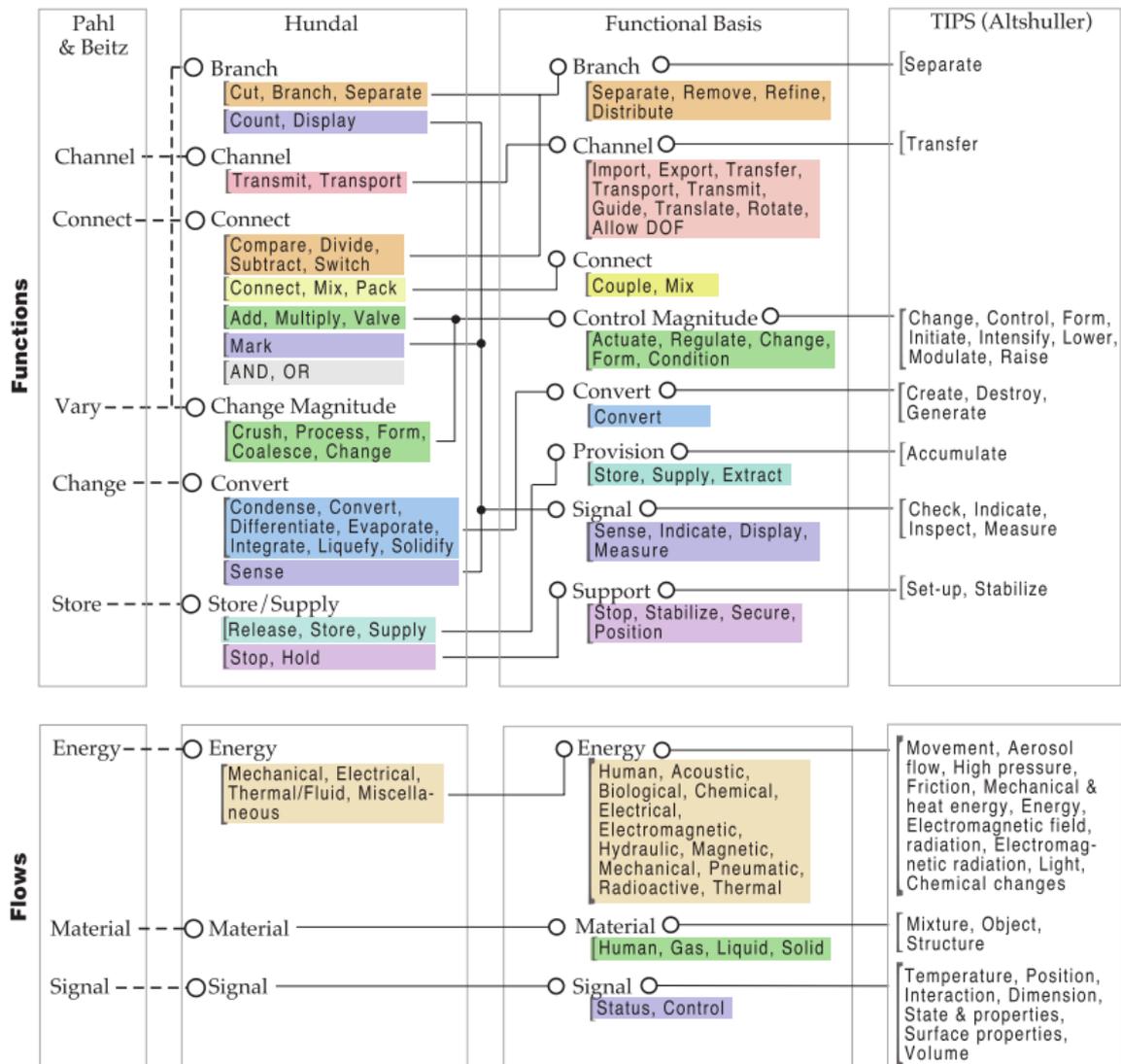
As metodologias sistemáticas foram o ponto de partida para a construção de uma linguagem única de representação. A formulação de um vocabulário funcional consistente reuniu a relação entre diferentes abordagens das propostas metodológicas de diversos autores. O estudo de Pahl e Beitz (1996) sobre a metodologia funcional relaciona cinco tipos de funções genéricas e três tipos de fluxos com um alto nível de abstração. Por sua vez, o estudo de Hundal (1990), formulou seis classes de funções com a definição de classes mais específicas em cada classe, porém de uma forma não exaustiva, a ponto de listar todas as funções mecânicas. O levantamento e análise de patentes realizado pela TRIZ (ALTSHULLER, 2004) identificou um conjunto de 40 funcionalidades que descrevem, de forma genérica, todas as funções mecânicas de um produto. O estudo de Malmqvist *et al* (1996) comparou a TRIZ à metodologia de Pahl e Beitz (1996) e observou que o vocabulário detalhado utilizado na TRIZ se beneficiaria de uma hierarquia de classes mais estruturada em um nível mais alto de abstração, como as funções de Pahl e Beitz (1996).

A FB, portanto, tem sua origem fundamentada na combinação de um conjunto de estudos para a elaboração da taxonomia desenvolvida. Durante a sua concepção foi aplicada como componente de métodos utilizados em DbA e em *softwares* para buscar similaridades entre produtos com base nas suas funcionalidades (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002). A definição completa da FB foi publicada por Stone e Wood (2001) após a revisão de trinta artigos científicos relacionados ao tema e produzidos por pesquisadores de diferentes partes do mundo. A FB ampliou a capacidade de comunicação de modelos funcionais entre diferentes projetistas no processo de transferência de conhecimento.

Na mesma linha de pesquisa, o estudo de Szykman *et al* (1999) desenvolveu um vocabulário semelhante para representar o conhecimento em design no repositório NIST. Em continuidade à proposta de Stone e Wood (2001), Hirtz *et al* (2002) apresenta a proposta de unificação da FB ao vocabulário proposto por Szykman *et al*.

(1999) e, como consequência deste aprimoramento, foi adotada no projeto *Design Repository*, mencionado no item anterior. A Figura 18 apresenta o vocabulário unificado e as relações com as metodologias de design utilizadas para a construção da FB.

Figura 18: Comparação dos estudos de análises funcionais e a Functional Basis.



Fonte: (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002).

As duas propostas – a FB original e a taxonomia NIST – não foram desenvolvidas apenas como uma prática de organização da informação, mas sim para apoiar métodos de modelagem funcional, tanto como em aplicações manuais, como aquelas que são baseadas em *software*.

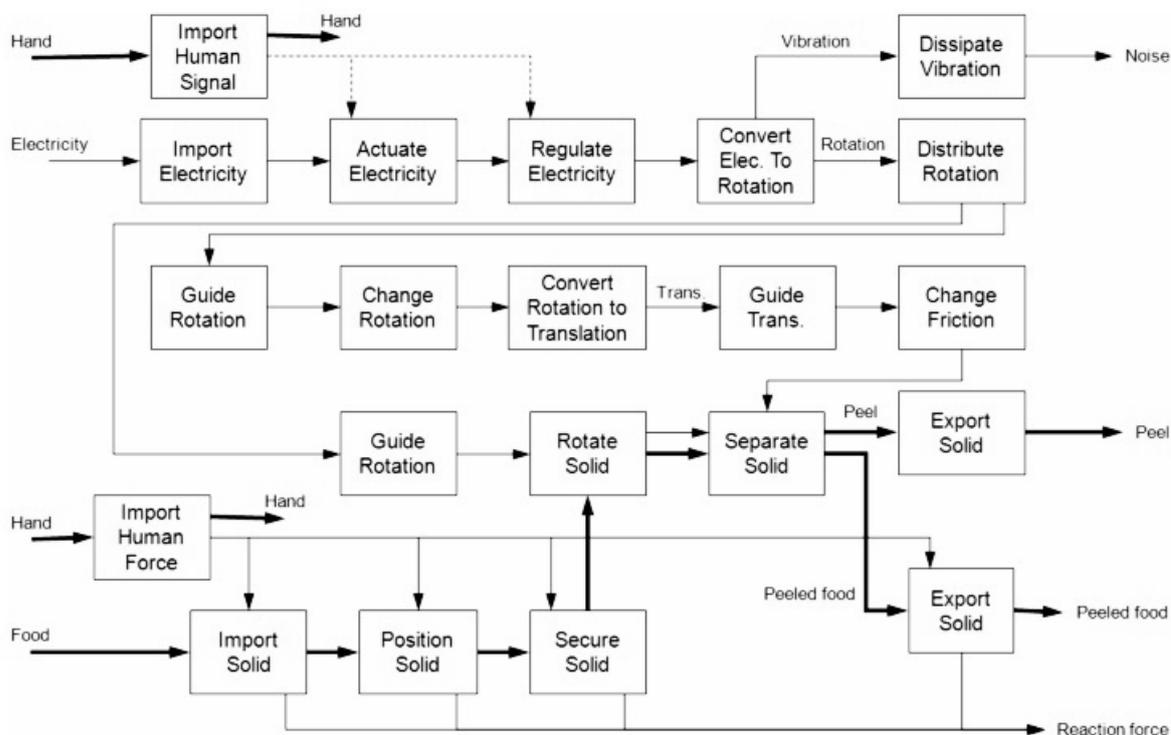
Após a unificação destes dois estudos, a FB oferece uma linguagem flexível para descrever funcionalmente um produto, seguindo o mesmo formato utilizado da representação funcional proposta por outras metodologias sistemáticas de design – fundamentadas na proposta de Pahl e Beitz (1996) –, por meio de um predicado composto por um verbo (função) e um substantivo (fluxo), como por exemplo, “descascar fruta” ou “abrir garrafa”.

A classificação dos termos propostos na FB – para fluxos (Anexo A, p. 214) e para funções (Anexo B, p. 220) – define a categorização em três diferentes níveis para a representação de funções e fluxos presentes na modelagem funcional, a saber: *class* (ou *primary*), *secondary* e *tertiary*. À medida que o número de níveis aumenta, o mesmo ocorre com a especificação do nível. O nível *tertiary*, por exemplo, fornece uma função e definição mais detalhadas do que os níveis *class* ou *secondary*, conduzindo assim a tecnologias ou princípios físicos específicos (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002).

Para a representação de um fluxo *class* (*primary*) é referenciado somente o termo contido em *class*, como *material*. Um fluxo *secondary* é descrito por um termo *secondary* seguido por um termo de *class*, por exemplo, *human energy*. Os fluxos *tertiary* são descritos por um termo *tertiary* mais um termo de *class*, como por exemplo, *auditory signal*. Da mesma forma, a regra se aplica para a representação das funções. Para facilitar a compreensão da sua utilização, a Figura 19 apresenta o exemplo de uma modelagem funcional para um descascador de frutas e vegetais (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002).

Para Hirtz *et al* (2002), a FB representa uma importante contribuição para a área do Design, as definições resultantes (Anexo A, p. 214) e (Anexo B, p. 220) retratam anos de esforço realizado por pesquisadores sobre um número expressivo de estudos empíricos em uma vasta gama de produtos existentes. A formalização da linguagem funcional facilita o processo de modelagem tanto para a academia quanto para a indústria. Além disso, os modelos podem ser desenvolvidos em diferentes níveis de precisão, oferecendo a abstração desejável para novos projetos e detalhes suficientes para *redesign* ou documentação de produtos existentes.

Figura 19: Modelagem Funcional de um descascador de frutas e vegetais.



Fonte: (TOMKO *et al.*, 2015).

Desta forma, a FB oferece suporte para novos métodos de design baseados em conhecimento, tais como o DbA, assim como para o desenvolvimento de *softwares* e repositórios de design (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002). Desde sua publicação, a utilização da FB pode ser identificada em diversas ferramentas produzidas em trabalhos científicos, direcionadas ao DbA e aplicadas à etapa de exploração de conceito no processo de design (BRYANT *et al.*, 2005; BRYANT; STONE, 2007; CHAKRABARTI *et al.*, 2011; LUCERO, 2014; MORGENTHALER, 2016; MURPHY, 2011; TOMKO *et al.*, 2015; ZHANG; CHA; LU, 2007).

Portanto, alinhado com o contexto em que o repositório de conhecimento deste trabalho deve ser aplicado e pelas razões apresentadas, a FB demonstra ser o vocabulário adequado para os objetivos da presente pesquisa.

Além da adoção de uma linguagem unificada, outro item importante para a implementação de uma base de conhecimento, é a criação de uma ontologia para organizar e representar o conhecimento de um domínio. O item a seguir trata sobre como realizar esta atividade.

### 2.3.3 Modelagem de uma ontologia

Para o desenvolvimento de uma base ou repositório de conhecimento, as ontologias contribuem para estruturar e especificar sua implementação, bem como na representação do domínio explorado. Cabe destacar que o presente trabalho não tem como objetivo principal propor uma nova ontologia. Para este estudo, o seu escopo de aplicação se limita à representação do domínio investigado, como auxílio para a construção do modelo proposto e sua operacionalização, a fim de validar a hipótese de pesquisa.

Não há uma única forma simples e correta de desenvolver ou representar uma ontologia. Na literatura da IA, pode-se observar a aplicação de diferentes abordagens, que variam de acordo com o tipo de ontologia proposta e seu propósito de uso em um determinado domínio (NOY; MCGUINNESS, 2005; SILVA *et al.*, 2009).

De acordo com Gruber (1993), uma ontologia é composta pelos seguintes componentes básicos:

- i. **classes:** formam a organização dos conceitos de um domínio, geralmente baseadas em uma taxonomia. Assim como na Orientação a Objetos, da Engenharia de Software, o conceito de herança permite que uma classe receba as características de uma classe-pai;
- ii. **relações:** representam o tipo de interação entre os conceitos de um domínio;
- iii. **axiomas:** controlam e restringem a interpretação e o uso dos termos envolvidos;
- iv. **instâncias:** representam os objetos derivados de uma classe, os próprios dados.

Para Noy e McGuinness (2005), uma ontologia em conjunto com as instâncias de suas classes constituem uma base de conhecimento. No seu estudo, os autores ainda propõem uma metodologia para desenvolver uma ontologia através de um processo iterativo, distribuído nas sete etapas a seguir:

- i. **determinar o domínio e o alcance da ontologia:** através das respostas para um conjunto de perguntas iniciais, tais como: “qual o domínio que a ontologia deve abranger?”, “para que a ontologia será utilizada?”, “que tipo de perguntas a informação na ontologia deverá prover respostas?”. Em seguida,

respondendo a perguntas que a base de conhecimento fundamentada na ontologia deveria ser capaz de responder. Todas as perguntas formuladas podem inclusive ser utilizadas como teste de validação da ontologia;

- ii. **considerar a reutilização de ontologias existentes:** pode ser um requisito para sistemas que devem ser integrados com outras aplicações que já utilizam uma ontologia e um vocabulário controlado. Também, é relevante no sentido de evoluir o que já foi pesquisado e desenvolvido em um determinado domínio do conhecimento e, deste modo, estender novas implementações a partir de uma estrutura existente. Para esta pesquisa, por exemplo, os estudos do *Design Repository* (SZYKMAN; SRIRAM, 2006) e o vocabulário controlado da *Funcional Basis* (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002) serão as bases iniciais para a construção do repositório de conhecimento do modelo proposto;
- iii. **enumerar termos importantes para a ontologia:** relacionar uma lista com todos os termos envolvidos no contexto do domínio. Inicialmente, é importante obter uma lista geral, sem preocupação com a classificação, relação entre os itens ou propriedades dos conceitos identificados;
- iv. **definir as classes e as suas hierarquias:** as classes descrevem os conceitos de um domínio. Com a geração das informações provenientes dos itens anteriores, é necessário realizar o mapeamento das classes do domínio. É possível iniciar pela identificação de classes mais genéricas e especializar suas subclasses quando necessário, assim como partir de classes mais específicas e agrupar em classes mais genéricas;
- v. **definir as propriedades das classes:** são os atributos que descrevem a estrutura interna de cada conceito. Todas as subclasses de uma classe herdam suas propriedades;
- vi. **definir as facetas das propriedades:** podem ter diferentes facetas que descrevem o tipo de valor, valores aceitos, número de valores (cardinalidade), e outras características que os valores podem assumir.

Sobre os tipos de valores, podem ser:

- *String*: é o tipo de valor utilizado para armazenar dados compostos por uma cadeia de caracteres;
- *Number*: para atribuir valores numéricos;
- *Boolean*: para armazenar valores identificados como falso ou verdadeiro;

- *Enumerated*: especifica as opções de valores permitidos para a propriedade. Por exemplo, uma propriedade “nível” pode receber somente os valores: baixo, médio e alto.
- *Instance*: pode receber a instância de uma determinada classe.

No que se refere à cardinalidade das propriedades, é possível definir a quantidade de valores entre as relações existentes. Estas ligações podem ser simples, do tipo um para um, ou múltiplas de um para N valores associados. Em alguns casos, podem ser definidos valores específicos para a relação, como por exemplo, ter no mínimo uma relação obrigatória e no máximo duas.

- vii. **criar as instâncias**: o último passo consiste em criar as instâncias individuais das classes na hierarquia. A instanciação de uma classe consiste em: (1) escolha da classe, (2) criação da instância individual da classe e (3) preenchimento das propriedades definidas.

Ao concluir a versão inicial de uma ontologia é possível avaliar seu uso em aplicações ou métodos que resolvam um problema ou formar um grupo de discussão com especialistas na área. É esperado que a revisão da versão inicial da ontologia gere ajustes de modelagem. Este processo evolutivo e iterativo deve ocorrer durante todo o ciclo de vida da ontologia (NOY; MCGUINNESS, 2005).

Os elementos que compõem a implementação de uma ontologia na área da IA são semelhantes aos conceitos utilizados na Orientação a Objetos (OO) da Engenharia de *Software*. Ambos procuram a construção de modelos para representar um domínio de conhecimento através de classes e objetos.

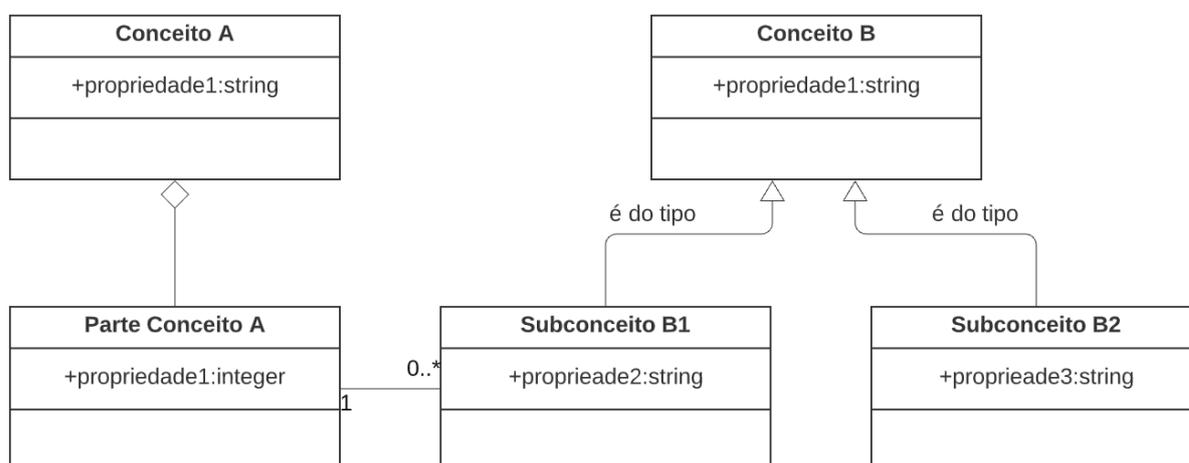
Sobre esta relação, o levantamento realizado por (MKHININI; LABBANI-NARSIS; NICOLLE, 2020) aponta inúmeros estudos desenvolvidos sobre a utilização da *Unified Modeling Language* (UML) para a modelagem de ontologias.

Conforme já descrito, as ontologias são compostas por hierarquia de classes, seus relacionamentos, atributos e axiomas. Na UML, estas informações são modeladas através dos diagramas de classes com o auxílio da linguagem *Object Constraint Language* (OCL), utilizada como uma extensão para representar formalmente restrições sobre os objetos do modelo (KOGUT *et al.*, 2002).

A Figura 20 apresenta os três tipos de relações que podem ser utilizadas entre as classes na representação de uma ontologia através da UML (CRANEFIELD; PURVIS, 1999):

- **generalização**: representada pela forma de um triângulo na extremidade da ligação. No exemplo, o “Conceito B” é a superclasse de “Subconceito B1” e “Subconceito B2”;
- **associação**: representada por uma linha contínua entre duas classes, opcionalmente pode indicar o tipo de relação e conter a cardinalidade, como pode ser observado na relação entre “Parte Conceito A” e “Subconceito B1”, onde para cada instância de “Parte Conceito A”, pode haver zero ou mais instâncias de “Subconceito B1”;
- **agregação**: uma associação representada pela forma de um diamante na extremidade da ligação, que indica que uma classe é uma parte ou está contida em outra classe. Conforme o exemplo, o “Conceito A” tem uma relação de agregação com “Parte Conceito A”.

Figura 20: Representação UML.



Fonte: o autor.

Para (KOGUT *et al.*, 2002) há inúmeros benefícios na aplicação da UML para a representação de ontologias:

- é uma notação gráfica que acumula anos de experiência em análise e projeto de software, sendo amplamente adotada na indústria e no meio acadêmico;

- é um padrão aberto mantido pela *Object Management Group*<sup>4</sup> (OMG);
- é suportada por uma variedade de ferramentas que apoiam as atividades de engenharia de *software*, o que torna seu uso mais acessível aos profissionais desta área do que as ferramentas ontológicas utilizadas, como a Ontolingua<sup>5</sup> e Protégé<sup>6</sup>, que requerem experiência em representação de conhecimento;
- é de fácil compreensão se comparada às técnicas aplicadas para o desenvolvimento de ontologias, que são pouco dominadas fora das comunidades de pesquisa em IA.

Portanto, a facilidade e a efetividade do uso de UML foi constatada por diversos estudos nas tarefas que envolvem a representação de ontologias (KOGUT *et al.*, 2002).

Para esta pesquisa, o estudo de Noy e McGuinness (2005) serve como guia para orientar a elaboração da ontologia que deve ser construída. Já o estudo de Cranefield e Purvis (1999), deve ser utilizado como suporte para a representação da ontologia por meio da linguagem UML.

A seguir, a revisão dos processos de desenvolvimento de *software* é indicada para compreender como guiar todo o trabalho necessário para construir o artefato digital. Neste universo, existem inúmeras abordagens e metodologias que têm origem na área de Engenharia de *Software* e que acompanham as evoluções tecnológicas e de mercado.

## 2.4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

A adoção de modelos de desenvolvimento de *software* por equipes de projeto visa apoiar os seus processos para atender aos requisitos do usuário e garantir a entrega do sistema no escopo, prazo e orçamento previstos. O uso destes modelos auxilia o desenvolvimento organizado do *software*, além de minimizar a produção de *softwares* com baixa qualidade e de difícil manutenção (TULI *et al.*, 2014).

---

<sup>4</sup> A *Object Management Group* é uma organização internacional que aprova padrões abertos para aplicações orientadas a objetos.

<sup>5</sup> Disponível em: <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>.

<sup>6</sup> Disponível em: <https://protege.stanford.edu/>.

O processo de desenvolvimento de *software* define um conjunto estruturado de atividades e seus resultados reunidos conduzem as equipes de projeto na concepção de um produto de *software*. De modo geral, as metodologias existentes compartilham os mesmos princípios básicos que guiam este processo para: especificar, projetar, codificar, validar e evoluir um *software* (SOMMERVILLE, 2005).

Os avanços na área da computação e as exigências de mercado ditam o constante aprimoramento das metodologias de desenvolvimento de *software* e, algumas vezes, promovem o surgimento de novas abordagens. A seleção e adoção de uma metodologia apropriada ao tipo de projeto é essencial para o sucesso do desenvolvimento do *software*. Entre as inúmeras abordagens existentes, as metodologias de *software* podem ser classificadas em dois grupos: as tradicionais e as ágeis (SOMMERVILLE, 2005).

As metodologias tradicionais de desenvolvimento – conhecidas como pesadas ou orientadas a documentação – surgiram nos anos 70, período em que o acesso aos computadores e ferramentas de apoio ao processo de construção do *software* era praticamente exclusivo às grandes organizações, devido aos custos elevados envolvidos (SOMMERVILLE, 2005). Apesar do sucesso dos modelos tradicionais (Cascata, Incremental, Prototipação e Espiral), estes formatos, no decorrer dos anos, perderam espaço à medida em que o processo exigia maior flexibilidade e agilidade durante as etapas de desenvolvimento. Diante do excesso de formalidade e documentação, da inflexibilidade na mudança de requisitos independentemente do tamanho do projeto, surgem, então, as metodologias ágeis (PAWAR, 2015).

As metodologias ágeis, ou leves, defendem que todo projeto necessita ser tratado de forma única e que os métodos utilizados devem ser adaptados para melhor atender os requisitos do projeto. Na prática ágil, ao contrário dos modelos tradicionais, o ciclo de desenvolvimento de *software* é dividido em pequenas etapas denominadas iterações – caracterizadas por uma análise retrospectiva e com foco no usuário – em que cada iteração corresponde à entrega de uma parte do projeto do *software*. Desta forma, o processo incremental contribui para a constante evolução do sistema, alinhada às necessidades de mudança do cliente (TULI *et al.*, 2014).

Entretanto, a percepção do baixo desempenho das metodologias tradicionais foi o que motivou a origem das metodologias ágeis, quando um grupo de especialistas da área, diante da instabilidade do ambiente tecnológico e do fato de o cliente estar

frequentemente afastado das definições de projeto, formulou um conjunto de princípios conhecido como Manifesto Ágil (*Agile Manifesto*) (BECK *et al.*, 2001). Desde então, diversas abordagens que seguem estes princípios são utilizadas e adaptadas em projetos de *software*, de acordo com as características do projeto e dos *stakeholders*<sup>7</sup>. Entre as opções ágeis mais adotadas no mercado destacam-se os *frameworks* Extreme Programming (XP) e o Scrum (SOMMERVILLE, 2005; TULI *et al.*, 2014).

Por serem concebidos sob os mesmos princípios, ambos compartilham semelhanças. Tanto o XP como o Scrum são modelos organizados em torno de um conjunto de valores e práticas que conduzem o desenvolvimento do *software* de forma iterativa – em curtos períodos – e de modo incremental. Além disso, oferecem o benefício da flexibilidade de adaptação a diferentes tamanhos de equipes de projeto e pregam a comunicação periódica, frequentemente informal, entre os membros do time. Do ponto de vista do cliente, promovem uma forte integração do mesmo durante o projeto do *software*, que compreende as etapas de definição, construção e validação. Em relação à documentação, priorizam somente o registro dos artefatos de *software* que são essenciais para o seu desenvolvimento, cabendo ao time definir o que é relevante para o projeto, assim como o nível de detalhamento necessário. Por fim, são *frameworks* comprovadamente capazes de gerar produtos de *software* com elevados níveis de qualidade e menor tempo de desenvolvimento em relação aos métodos tradicionais (AZIZ BUTT, 2016).

Apesar das similaridades e dos objetivos em comum, cada proposta apresenta sua forma de condução do processo, assim como a estrutura de organização, os artefatos gerados, as cerimônias e os termos utilizados. Outra diferença que pode ser constatada são os papéis e responsabilidades dos atores envolvidos para garantir a execução de todas as etapas. O Quadro 3 apresenta o comparativo das práticas entre o XP e o Scrum durante as etapas do processo ágil de desenvolvimento de *software*.

---

<sup>7</sup> Indivíduos ou organizações que possuem algum tipo de relacionamento com a execução ou os objetivos do projeto (PMI, 2013).

Quadro 3: Comparativo XP e Scrum.

<b>Etapas do processo ágil</b>	<b>XP</b>	<b>Scrum</b>
<b>Requisitos iniciais</b>	Definir as estórias do usuário escritas pelo cliente	Os requisitos são listados com base nas estórias do usuário gerando tarefas no <i>Product Backlog</i>
<b>Atribuir tarefas aos incrementos</b>	Seleção das estórias que serão desenvolvidas a cada iteração	As tarefas definidas são alocadas às <i>Sprints</i> durante a reunião de planejamento ( <i>Sprint Planning</i> )
<b>Analisar e projetar arquitetura do software</b>	Paralelo ao desenvolvimento das estórias do usuário	Paralelo ao desenvolvimento da <i>Sprint Planning</i>
<b>Desenvolver incremento do software</b>	Implementação das estórias do usuário que fazem parte da iteração	Implementação das funcionalidades selecionadas na <i>Sprint Planning</i> Reuniões diárias de 15 – 30 minutos entre a equipe de desenvolvimento
<b>Validar incremento</b>	Programadores: testes de unidade Cliente: testes de aceitação Ambos os testes são escritos antes da codificação e executados após	Ocorre ao final da <i>Sprint</i> através das práticas adotadas pela equipe de desenvolvimento
<b>Integrar incremento</b>	Código é integrado à medida que vai sendo desenvolvido	Ocorre ao final de cada <i>Sprint</i>
<b>Validar software</b>	Sistema é validado pelo cliente	Sistema é validado pelo cliente na entrega da <i>Sprint</i> ( <i>Revisão da Sprint</i> )
<b>Entrega final</b>	<i>Feedback</i> positivo do cliente	Todos os itens do <i>Product Backlog</i> desenvolvidos

Fonte: adaptado Libardi e Barbosa (2010)

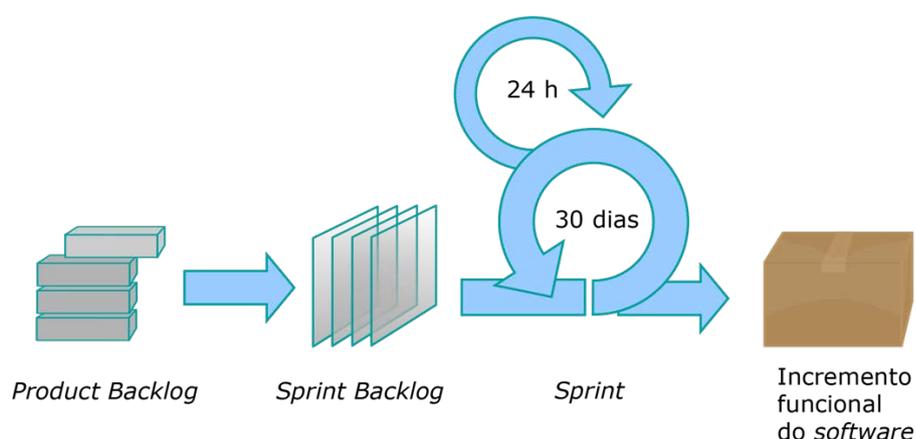
A decisão de utilizar um processo ágil inicia pela seleção dos modelos existentes e sua adaptação de acordo com as características do projeto. Isto, permite guiar a equipe durante o ciclo de vida de desenvolvimento do *software* através de modelos já validados e, assim, obter um melhor desempenho. O esquema da Figura 21 representa o ciclo de vida proposto pelo *framework* Scrum, que inicia pela construção do *Product Backlog*<sup>8</sup> a partir dos requisitos do sistema. A seguir, o time de projeto planeja e prioriza as atividades das *Sprints*<sup>9</sup> junto ao cliente. A partir disso, a

<sup>8</sup> *Product Backlog* é uma lista priorizada de funcionalidades a serem desenvolvidas para o produto (COHN, 2004).

<sup>9</sup> *Sprint* corresponde a uma unidade de tempo em que ocorre o ciclo completo de desenvolvimento de uma parte do *software* (COHN, 2004).

equipe de projeto do *software* inicia o desenvolvimento da *Sprint* – entre 2 ou 4 semanas – onde ocorre a codificação do *software*, acompanhada por curtas reuniões diárias do time. Por fim, ao final da *Sprint*, ocorrem os testes, a revisão com o cliente e a integração do incremento das funcionalidades ao *software* (SCHWABER; SUTHERLAND, 2011).

Figura 21: Ciclo de vida do Scrum.



Fonte: adaptado Aziz Butt (2016).

Durante o processo de desenvolvimento ágil diversos métodos e técnicas podem ser acrescentados ao uso do *framework* de acordo com o contexto do projeto. A técnica de Personas e o mapeamento das Histórias de Usuário são recursos que auxiliam na compreensão das necessidades do usuário e, conseqüentemente, na melhoria do produto final.

No âmbito desta pesquisa, o *framework* ágil adotado foi o Scrum devido a familiaridade do autor desta pesquisa com a sua utilização. Além da adoção de um *framework* para o desenvolvimento ágil, as técnicas de Personas e Histórias de Usuário, apresentadas a seguir, também devem ser adotadas para a etapa de projeto da ferramenta proposta.

### 2.4.1 Personas

Personas é uma técnica utilizada para descrever usuários de um produto a partir dos dados coletados de pessoas reais para a representação de grupos com necessidades e comportamentos específicos. Pode ser aplicada em etapas de especificação do desenvolvimento de *software* para escrever histórias de usuário com base em uma

determinada persona, contribuindo para a condução de um projeto mais centrado no usuário (HALL, 2019; PICHLER, 2016).

A Figura 22 apresenta um *template* (modelo) para guiar a criação de uma persona.

Figura 22: *Template* para Persona.

 <b>FOTO E NOME</b>	 <b>DETALHES</b>	 <b>OBJETIVOS</b>
Como esta persona se parece? Qual é o seu nome?	Quais as características e comportamentos desta persona?	Por que a persona desejaria usar o produto? Que benefício deve ser alcançado? Qual problema deve ser resolvido?

Fonte: adaptado Pichler (2016).

A primeira coluna é preenchida com o nome e a imagem para o personagem fictício que está sendo criado. Isso estimula os times envolvidos no projeto a desenvolver empatia pelo personagem e este se tornar uma referência para as decisões de projeto (PICHLER, 2016).

A seção seguinte, compreende as atitudes e comportamentos relevantes da persona. Isso pode incluir dados demográficos, informações relacionadas ao trabalho e hobbies. Porém, é recomendável se concentrar nos aspectos relevantes dessa persona para o contexto do produto. Se um atributo demográfico, como idade ou cargo não for útil, por exemplo, não deve ser listado (PICHLER, 2016).

A última seção deve conter o problema que a persona quer solucionar, o benefício que deseja obter ou o trabalho que pretende realizar. Os objetivos e metas devem ser descritos a partir da perspectiva da persona. É recomendável estabelecer um objetivo principal e uma lista de objetivos secundários para esclarecer devidamente as necessidades da persona (PICHLER, 2016).

De modo geral, o uso de personas complementa e amplia a capacidade de métodos e técnicas, especialmente voltados à usabilidade, utilizados na construção de produtos e auxilia em dar foco às equipes que estão envolvidas no projeto. Também, se destaca como uma forma de compartilhar e comunicar as informações

de projeto. “É fácil explicar e justificar as decisões de design quando elas são baseadas nos objetivos da Persona ...” (PRUITT; GRUDIN, 1995 *apud* COOPER(1999)). Dessa forma, podem ser utilizadas para transmitir rapidamente a todos os participantes do projeto as informações relacionadas aos usuários-alvo representados pelas personas (PRUITT; GRUDIN, 1995).

## 2.4.2 Histórias de Usuário

As histórias de usuário fazem parte da abordagem ágil, seu uso modificou a forma de como estabelecer os requisitos do usuário de um produto. A história de usuário é uma descrição resumida e simples de uma necessidade do usuário, observada a partir do seu ponto de vista (COHN, 2004).

Os projetos ágeis, principalmente no Scrum, utilizam um *backlog* do produto, formado por uma lista priorizada de funcionalidades a serem desenvolvidas. Embora os itens do *backlog* do produto possam ser definidos de qualquer modo, as histórias de usuários se tornaram a forma mais adotada para representar estes itens (COHN, 2004).

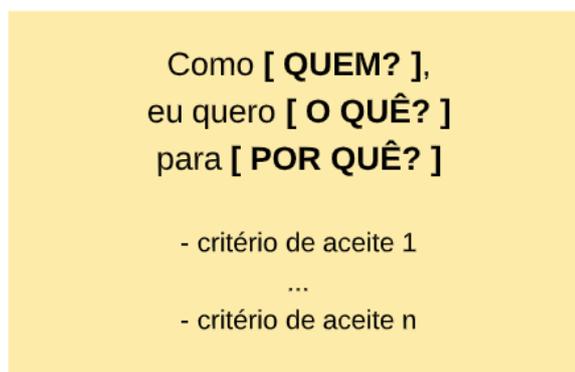
Segundo Cohn (2004), para uma história de usuário ser considerada válida, esta deve seguir as características do modelo INVEST:

- **Independente:** deve ser independente de outras histórias;
- **Negociável:** é um desejo do usuário, um ponto de partida. Logo, deve ser totalmente negociável;
- **Valiosa:** sempre deve representar valor de negócio;
- **Estimável:** o time deve ser capaz de estimá-la;
- **Pequena (*Small*):** deve ser pequena para facilitar as estimativas;
- **Testável:** deve ser possível validar se atende aos critérios de aceitação.

De acordo com Jeffries (2001), as histórias de usuário se fundamentam em três aspectos: (i) **cartões**, meio no qual as histórias são escritas e identificam o requisito; (ii) **conversaço**, que é a discussão em torno das histórias para aprofundar o entendimento e gerar estimativa de esforço; e (iii) **confirmação**, que são os testes que verificam se as histórias foram implementadas de acordo com os critérios de aceite.

Normalmente, as histórias de usuários são escritas em cartões físicos e dispostos nas paredes ou mesas para facilitar o planejamento e a discussão. Também podem ser transferidas para *softwares* disponíveis que realizam esta metáfora. O modelo para descrever uma história segue a estrutura da Figura 23 (COHN, 2004):

Figura 23: Cartão para história de usuário.



Fonte: adaptado Cohn (2004).

O cartão apresentado da Figura 23 estabelece três parâmetros que devem ser preenchidos (COHN, 2004):

- **QUEM:** define quem é o usuário que tem a necessidade. Pode ser representado por um tipo de usuário do produto, por uma persona ou até mesmo por um usuário específico;
- **O QUÊ:** define qual é a necessidade do usuário. Normalmente, os requisitos do produto são representados nesta seção;
- **POR QUÊ:** define qual o benefício do usuário ao ter a funcionalidade desenvolvida para atender a essa necessidade.

Outro item que a história de usuário deve conter são os critérios de aceite. Através do teste de aceitação é possível verificar se a história foi desenvolvida de acordo com sua especificação e se atende a todos critérios estabelecidos.

Geralmente, durante a criação das histórias de usuário, ocorre a necessidade de quebrar uma história maior em pequenas histórias. É um processo iterativo realizado pela equipe projeto com o objetivo de buscar o tamanho adequado para que a história possa ser trabalhada. As histórias maiores que acabam dando origem às demais são chamadas de épicos. Os épicos podem possuir inúmeras histórias de

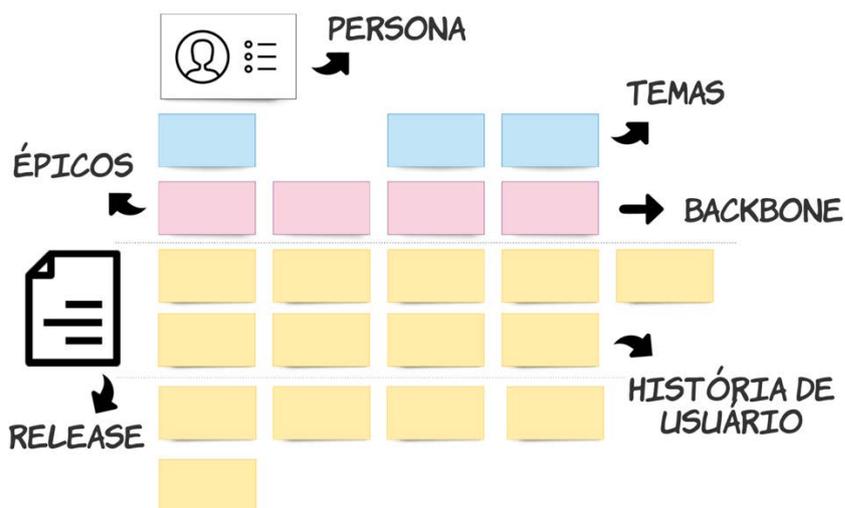
usuário e permanecerem em desenvolvimento por mais de um ciclo de iteração. Somente são finalizados quando todas as histórias de usuário associadas estiverem concluídas (PATTON, 2014).

Outro nível de agrupamento existente para as histórias de usuário são os temas. Os temas podem ser assuntos nos quais os épicos se agrupam, e geralmente são definidos conforme o contexto de negócio em que o épico se encontra (PATTON, 2014).

Para auxiliar na visualização de todo o trabalho que deve ser realizado, o mapeamento da história do usuário é o processo de criação e representação visual que possibilita a visão geral da experiência do usuário interagindo com o produto. Para isso, o mapeamento de história de usuário organiza todas as histórias de usuário, seus agrupamentos e personas (PATTON, 2014).

Nesta representação, os épicos atuam como um *backbone* (coluna vertebral) que exhibe a jornada ou o processo do usuário do início ao fim, incluindo todas as atividades de alto nível que o usuário realizará na interação com o produto (PATTON, 2014). A Figura 24 apresenta o modelo para o mapeamento das histórias de usuário.

Figura 24: Mapeamento das histórias de usuário.



Fonte: adaptado Patton (2014).

Considerando o cenário de desenvolvimento de um novo produto, a partir da visualização de todas as histórias de usuário, o time de projeto deve discutir e avaliar o trabalho envolvido de cada item. A seguir, definir as linhas de corte que delimitam o

que deve ser entregue e quando, geralmente representam uma *Sprint* ou *Release*<sup>10</sup> (Figura 24). O primeiro corte realizado pode definir a criação de uma primeira versão. Cada nova fatia corresponde a um novo incremento, que pode ser revisto através das repriorizações das histórias de usuário antes do início de cada ciclo (PATTON, 2014).

A partir dos métodos e técnicas revisados neste item, a metodologia desta pesquisa apresenta de que modo estes devem ser aplicados nas etapas de projeto e desenvolvimento do artefato proposto.

## 2.5 PROJETO DE PESQUISA INSPÆDIA

Durante o período desta investigação, é relevante citar a participação do autor no Programa Ciência sem Fronteiras da Capes e da CNPq (chamada de Projetos nº 71/2013 - CSF-PVE), tendo a Capes como instituição de fomento do seu doutorado sanduíche realizado na Universidade Lusíada, em Lisboa, Portugal.

Este item tem o objetivo de esclarecer de forma breve as atividades realizadas neste período e evidenciar as relações e contribuições deste projeto para a presente pesquisa.

A proposta de projeto deste programa foi apresentada pelos professores doutores Fábio Gonçalves Teixeira e Paulo Jorge Maldonado Carvalho Araújo, orientadores deste trabalho, e corresponde à operacionalização do projeto de investigação e do protótipo Inspædia, desenvolvido no âmbito do projeto de investigação para a obtenção do grau de Doutor em Design, concluído em junho de 2012 na Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (FA/UTL) por Paulo Jorge Maldonado Carvalho Araújo.

Segundo Maldonado (2012), o Inspædia é uma plataforma de conhecimento disponível em qualquer lugar, para qualquer pessoa, para facilitar o pensamento não linear e inspirar a rede de inteligência colaborativa, explorando o potencial da *web*. Se difere de outros em termos de capacidade de inspiração individual e colaborativa para potencializar o pensamento produtivo em contextos altamente criativos: o conceito Inspædia surge da articulação dos atributos que estão na base do modelo conceitual que permite facilitar, operar e monitorar seu funcionamento.

---

<sup>10</sup> *Release* do produto representa a entrega de um ou mais incrementos gerados a partir das *sprints* para que sejam disponibilizados aos usuários (PATTON, 2014).

O trabalho de Maldonado (2012) apresentou o modelo conceitual e o protótipo Inspædia, que foram oportunamente validados através de um grupo focal. A partir das questões levantadas pelo grupo e levando em consideração suas recomendações, Maldonado (2012) aperfeiçoou o protótipo apresentado incorporando soluções que esclareciam sobre o potencial da plataforma Inspædia e a capacidade de ser inovação e de poder gerar inovação.

O modelo conceitual, o protótipo e o conjunto de requisitos foram as bases iniciais para o projeto de operacionalização da plataforma Inspædia. A partir disso e da formação da equipe de trabalho, foi organizado o processo para a condução das atividades que tinha como objetivo o projeto e implementação do *software* e seu lançamento em produção. A adoção de métodos ágeis para suportar o ciclo de desenvolvimento do *software* guiou todo o trabalho, proporcionando a evolução incremental do produto a cada *sprint*, somando novas funcionalidades que eram priorizadas pela equipe, até o encerramento do projeto.

Este processo envolveu uma série de atividades previstas em um ciclo de desenvolvimento de *software*, tais como: análise de requisitos, escolha das tecnologias utilizadas, infraestrutura necessária, definição de arquitetura de *software*, projeto de interface gráfica, modelagem de base de dados, codificação, testes de funcionalidade e usabilidade, entre outras.

O projeto Inspædia deu origem a inúmeras publicações e comunicações, parte destas com envolvimento direto do autor desta pesquisa, que exploraram aspectos relevantes sobre o seu processo de desenvolvimento, a experiência de uso e a análise das contribuições a partir da sua operacionalização (MALDONADO *et al.*, 2015, 2016, 2017a; MALDONADO; FERRÃO; ERMIDA, 2017; VIARO *et al.*, 2019).

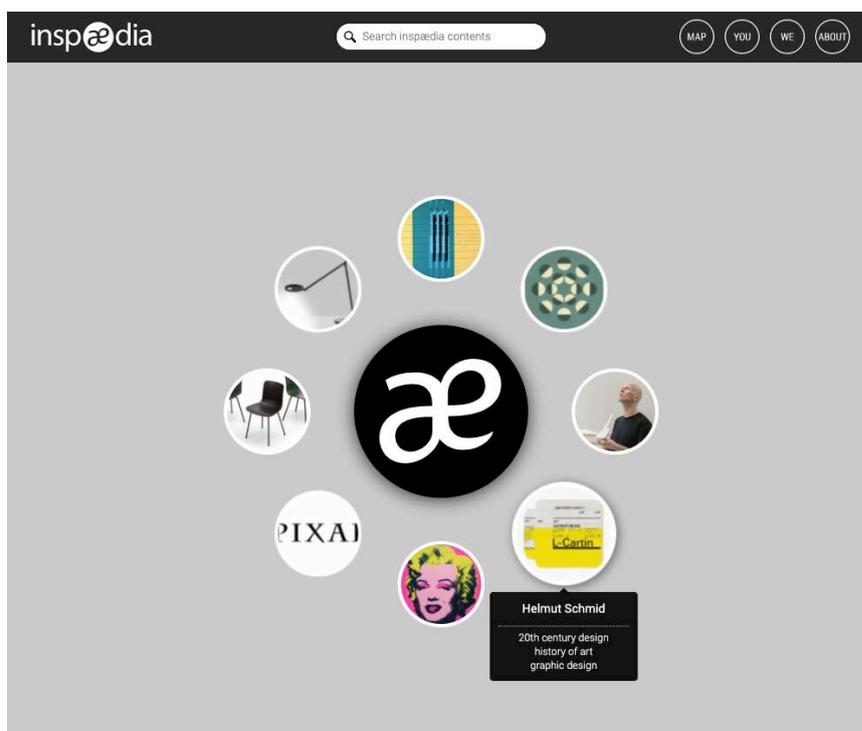
Conforme planejado, o projeto finalizou com o lançamento da plataforma em produção, disponível na *web*, através do endereço <https://www.inspaedia.com> para acesso de seus utilizadores.

A plataforma Inspædia possui um repositório de conteúdos relacionados como base para o seu funcionamento. A linguagem visual utilizada para projetar sua interface gráfica foi inspirada na representação de mapas mentais associados a imagens, conforme previsto em protótipo. A interface gráfica permite o usuário

navegar livremente entre os conteúdos exibidos, proporcionando uma forma ágil e intuitiva de interação para explorar o seu repositório.

A tela inicial do sistema chamada “*Get Inspired*”, visualizada na Figura 25, sugere randomicamente um conjunto de conteúdos como ponto de partida para exploração do usuário. Nesta tela ainda é possível ver uma descrição rápida dos conteúdos apresentados, escolher um deles para visualizar o mapa de relações ou resgatar um novo conjunto de conteúdos sugeridos pelo sistema ao clicar na imagem central com o logotipo do Inspædia. Também é possível realizar uma busca direta por palavras-chave nos conteúdos armazenados no seu repositório, no campo da barra superior.

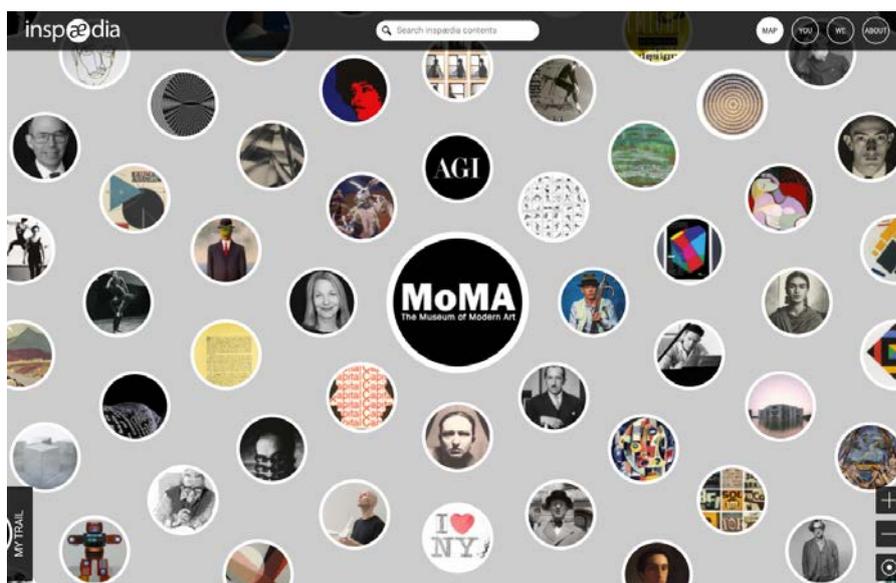
Figura 25: Tela inicial *Get Inspired*.



Fonte: interface gráfica do *software* capturada pelo autor.

A Figura 26 exibe o mapa de conteúdos relacionados ao conteúdo central. O mapa é construído através de algoritmos que executam as regras para sua distribuição. O princípio básico é: quanto mais próximo do centro, mais forte é a relação destes conteúdos com o conteúdo central. Estas relações não ficam explícitas propositalmente, para que o utilizador seja provocado a investigar durante sua interação com o sistema o motivo destas conexões.

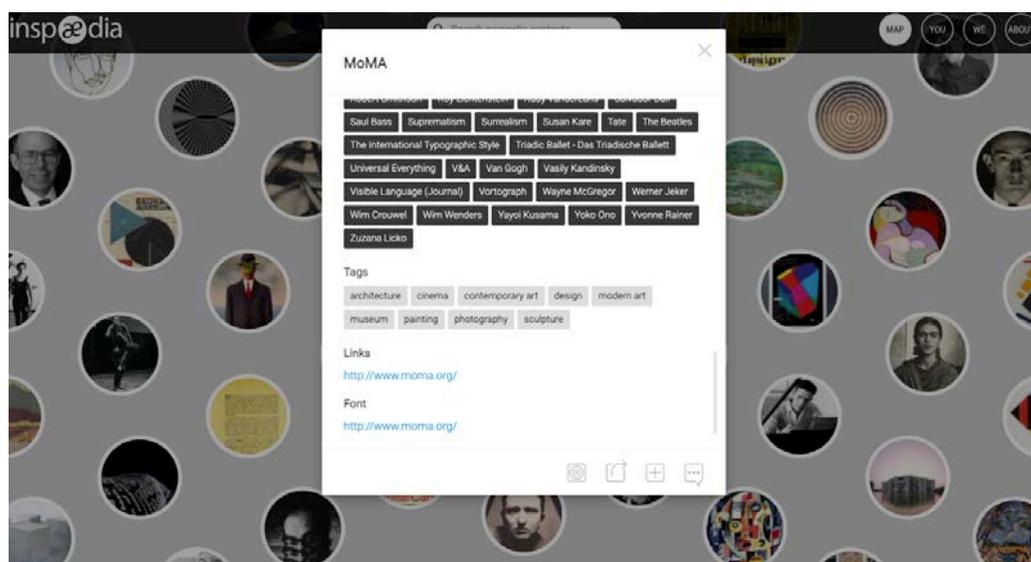
Figura 26: Mapa de conteúdos relacionados.



Fonte: interface gráfica do *software* capturada pelo autor.

A Figura 27 apresenta a ficha de um conteúdo que é apresentada ao clicar em um determinado conteúdo do mapa. O detalhe traz todas as informações cadastradas para os seus diversos atributos, incluindo imagens e vídeos. O utilizador ainda pode compartilhar e salvar o conteúdo em suas coleções. As coleções são agrupamentos de conteúdos onde o utilizador tem a liberdade para criar uma coleção e associar os conteúdos selecionados a partir das suas necessidades.

Figura 27: Ficha do conteúdo.



Fonte: interface gráfica do *software* capturada pelo autor.

A qualidade da produção dos conteúdos do repositório Inspædia é assegurada através de um sistema de curadoria, no qual uma base de dados em crescente expansão é mantida por usuários especialistas, devidamente cadastrados na plataforma. A Figura 28 apresenta o formulário de cadastro dos conteúdos.

Figura 28: Formulário de inclusão de conteúdo.

A imagem mostra a interface de usuário do sistema Inspædia para a criação de conteúdo. No topo, há o logotipo 'inspædia' e botões para 'Back to Inspædia' e 'Logout'. O perfil do usuário 'Pablo Ermida' é exibido no menu lateral, com opções para 'Dashboard', 'Contents' (destacado), 'Tags', 'Users' e 'Invitations & Join Us'. O formulário principal, intitulado '>Contents', contém os seguintes campos: 'Add Content' com botões 'Save' e 'Close'; 'Publish' com um botão de seleção; 'Title\*' com um campo de texto contendo 'Content title' e uma opção de busca 'Web Search'; 'Description\*' com um campo de texto contendo 'Content description'; 'Font' com um campo de texto contendo 'Content font'; e 'Main image\*' com uma área de upload para arquivos de imagem (jpg, png, gif).

Fonte: interface gráfica do *software* capturada pelo autor.

Os usuários especialistas criam os conteúdos e definem atributos que estabelecem o grau de relação entre os conteúdos existentes. Essa estratégia possibilita a apresentação de resultados confiáveis, gerando conexões significativas, fatores que agregam valor à qualidade da pesquisa realizada pelos seus usuários.

A etapa final do projeto teve como resultado o lançamento da plataforma online para todos os perfis de utilizadores. Inicialmente, os usuários especialistas tiveram acesso para realizar o cadastro do primeiro lote de conteúdos. Após este período, a plataforma foi liberada para os usuários finais.

Os estudos e aprendizados gerados pelo projeto Inspædia foram publicados em congressos, revistas e periódicos internacionais da área do Design. O Quadro 4 apresenta a lista com as principais publicações realizadas durante o período.

Quadro 4: Publicações relacionadas ao projeto Inspædia.

Ano	Publicação
2020	<i>Inspiration Mining: Intersecting Improbable Connections in a New Landscape of Cultural Reflection and Influence</i> (MALDONADO; FERRÃO, 2020)
2017	<i>Inspædia Report: An Inspired Research Itinerary</i> (MALDONADO <i>et al.</i> , 2017b)
2017	Inspædia: inovação, design et cetera (MALDONADO, 2017)
2017	<i>Inspædia: Changing the landscape of cultural reflection and influence through user experience design</i> (MALDONADO; FERRÃO; ERMIDA, 2017)
2016	<i>Inspædia: [ almost ] everything about simplicity, playfulness and inspiration</i> (MALDONADO <i>et al.</i> , 2016)
2015	<i>Inspædia user experience design (UXD)</i> (MALDONADO <i>et al.</i> , 2015)
2014	<i>Inspædia, inspiring a collaborative intelligence network: designing the user experience</i> (MALDONADO; SILVA; TEIXEIRA, 2014)
2014	Inspirar aprendizes de feiticeiro (alunos de Design) (MALDONADO, 2014)
2013	Inspædia: uma rede de inteligência colaborativa inspiradora (MALDONADO; FERRÃO, 2013)
2012	Inovação, design et cetera (MALDONADO, 2012)

Fonte: o autor.

O projeto Inspædia também teve inúmeras contribuições para a presente pesquisa, tanto do ponto de vista teórico, quanto prático.

Em Maldonado (2012), o processo de ideação do designer é amplamente discutido através de diferentes óticas e recortes. Uma das abordagens apresentadas pelo autor é a relação da criatividade com a área da psicologia cognitiva, através de processos de analogia, metáfora, abstração e associação de ideias. Ainda, o autor se refere a múltiplos instrumentos que reiteram a relação da prática de projeto com a capacidade cognitiva do designer e a criatividade. A ideação é interpretada como uma atividade metódica, inerente ao designer, e passível de estímulo, educação e inspiração (LUPTON, 2013).

A partir destes temas que compreendem a criatividade na prática de projeto foram estabelecidas as bases para a criação da proposta que deu origem à plataforma Inspædia. A participação do autor deste trabalho no projeto da plataforma

proporcionou experiência em questões que envolvem o desenvolvimento de ferramentas para estimular o processo criativo dos usuários.

Para a presente pesquisa, esta experiência influenciou diretamente na abordagem construída para resolver o problema evidenciado. A proximidade entre os temas explorados em ambos os contextos contribuiu principalmente para a etapa inicial do método de pesquisa adotado, que corresponde à conscientização do problema, apresentado no próximo capítulo, e conseqüentemente na elaboração da hipótese e os objetivos deste trabalho.

Além disso, do ponto de vista técnico, os processos de desenvolvimento de *software* adotados e as tecnologias aplicadas na plataforma Inspædia serviram de aprendizado. Muitas das práticas e tecnologias utilizadas no projeto Inspædia foram adaptadas e aplicadas no projeto e desenvolvimento do artefato desta pesquisa.

Por fim, não há como não citar a contribuição para o crescimento pessoal, acadêmico e profissional do autor desta pesquisa através do aprendizado pela troca de experiências e conhecimento com todas as pessoas envolvidas no projeto.

A seguir, são descritos os processos metodológicos necessários para atingir os objetivos estabelecidos do presente estudo.

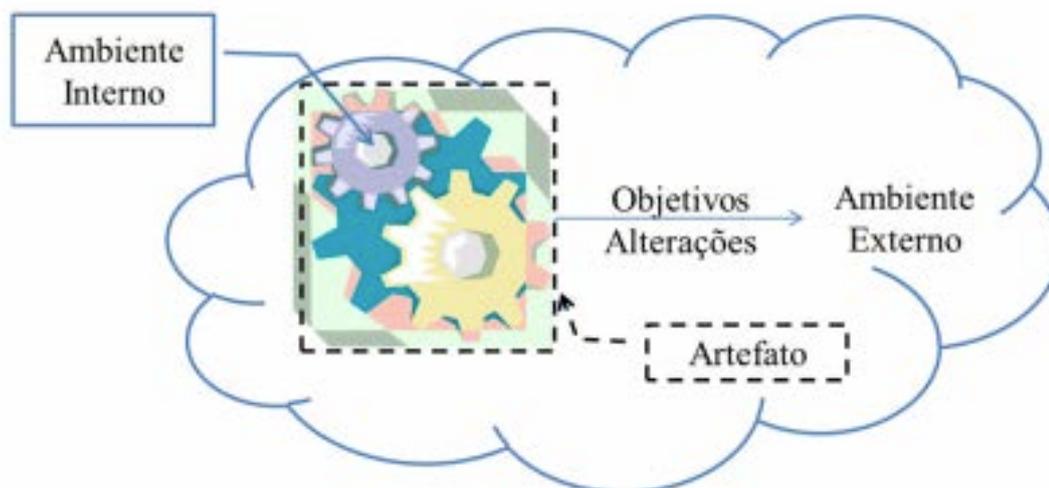
### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente capítulo descreve o método de pesquisa adotado e os procedimentos metodológicos realizados neste estudo.

Esta investigação, segundo sua natureza, se enquadra em uma pesquisa aplicada que, além de envolver o estudo teórico e científico como base para o seu desenvolvimento, produz como resultado um artefato que procura contribuir de forma prática no seu ambiente de intervenção.

Para Simon (1996), um artefato é definido como algo concebido pelo homem, algo artificial, para o cumprimento de um objetivo. Basicamente, considera o artefato uma estrutura organizada de componentes que forma o “ambiente interno” que, por sua vez, interage com um “ambiente externo”, que representa o contexto em que o artefato funciona para atingir seus objetivos (Figura 29).

Figura 29: Caracterização do artefato.



Fonte: Dresch *et al.* (2013).

O artefato deste estudo, portanto, consiste em um artefato digital formado por elementos específicos necessários para o seu funcionamento e descritos no item 4.5 deste trabalho.

Em sua obra “As ciências do artificial”, Simon (1996) apresenta uma abordagem chamada *Design Science*, a qual considera o emprego do conhecimento para desenvolver algo útil e aplicável, através da proposição e desenvolvimento de artefatos. Também, procura assegurar a relevância para a aplicação prática e o rigor

para a geração de conhecimento científico, diminuindo o distanciamento entre a teoria e a prática (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

O Design Science Research (DSR) é um método de pesquisa que permite a condução de estudos baseados em *Design Science*. De modo sistemático, apresenta as etapas necessárias para projetar e avaliar novos artefatos com o objetivo de solucionar um determinado problema de pesquisa (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

Portanto, alinhado às características e aos objetivos deste trabalho, o método de pesquisa DSR foi adotado para a condução das atividades previstas para o desenvolvimento do seu artefato.

Para solucionar o problema de pesquisa formulado, o seguinte objetivo geral foi definido no item 1.4 deste estudo:

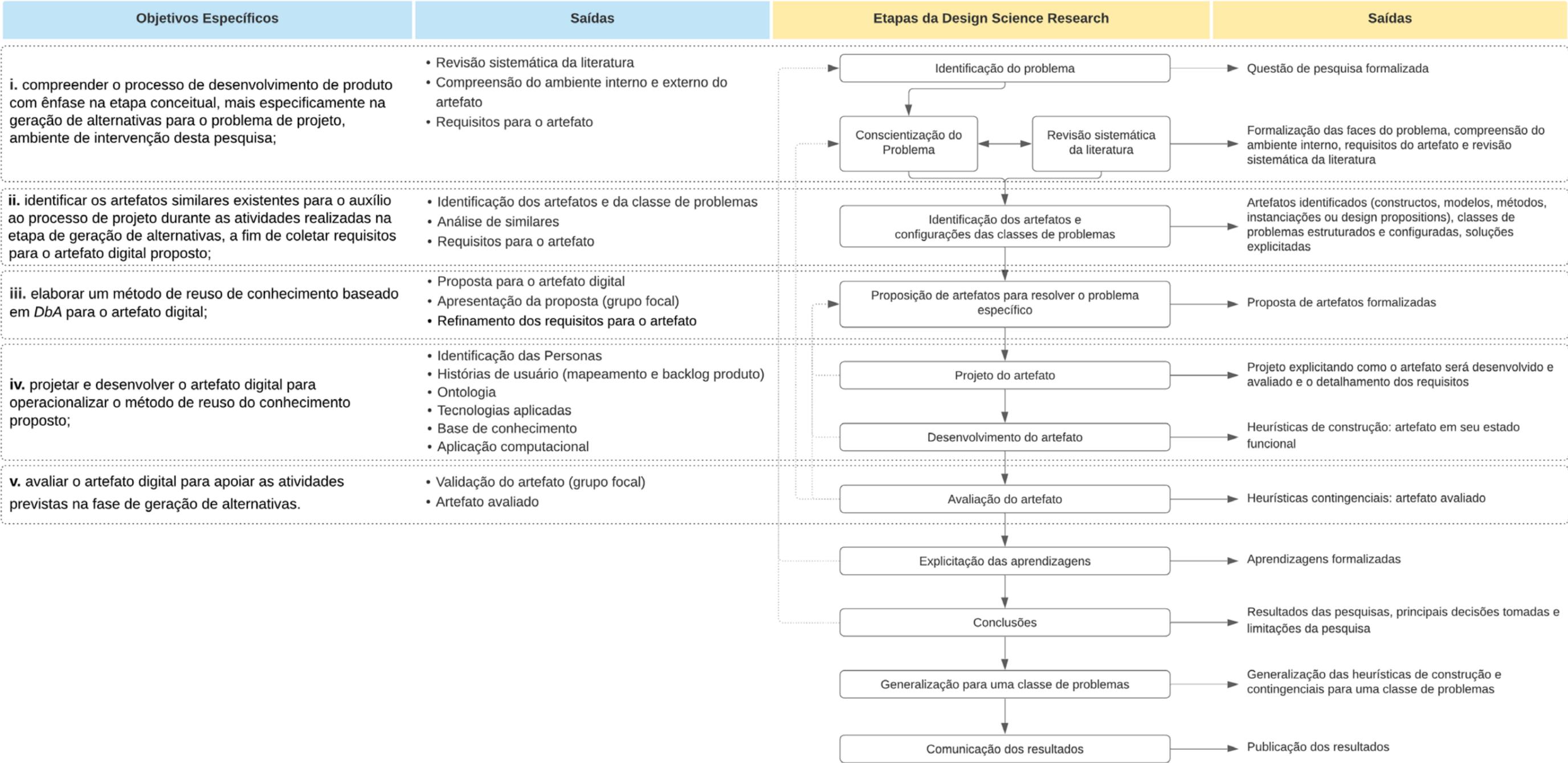
**Propor um artefato digital para o processo de design como instrumento de auxílio para as equipes de projeto na busca por soluções na etapa de geração de alternativas.**

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os objetivos específicos desenvolvidos nas etapas do processo de investigação proposto pela DSR. O desenho da pesquisa, representado pela

Figura 30, exibe uma visão geral dos objetivos específicos e suas respectivas saídas, relacionados às 12 etapas conduzidas pela DSR.

A seguir, são descritas cada uma das etapas da DSR e a aplicação realizada para esta pesquisa.

Figura 30: Desenho da Pesquisa



Fonte: adaptado Dresch, Lacerda e Júnior (2014).

### **3.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA**

A identificação do problema na DSR ocorre a partir do interesse do pesquisador em estudar algo e encontrar resposta para uma questão importante ou a solução para um problema prático. Para isso, é necessário justificar a importância e esclarecer de forma objetiva o problema a ser estudado para formalizar a questão de pesquisa (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

Neste estudo, o interesse do autor em construir um artefato para apoiar a concepção de novos produtos orientou o início da revisão da literatura. A identificação da lacuna surgiu na etapa de geração de alternativas do processo de design, que deu origem à questão de pesquisa formalizada, evidenciando a importância e o propósito desta investigação descritos no capítulo 1.

### **3.2 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA**

A partir da identificação do problema, é necessário aprofundar os temas envolvidos para garantir a compreensão das facetas, causas e contexto do problema. A saída desta etapa compreende a formalização das faces do problema que deve ser solucionado e suas fronteiras (ambiente externo), bem como os requisitos do artefato a partir das suas funcionalidades e performance esperadas (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

A revisão da literatura e o seu aprofundamento permitiu a conscientização do problema através do estudo dos temas abordados e suas relações no contexto desta pesquisa e suas fronteiras. A etapa de revisão sistemática para a busca de artefatos similares, também contribui neste sentido através da compreensão de variáveis que interferem no problema de pesquisa e podem ser observadas através do uso dos artefatos existentes e o seu ambiente externo, semelhantes ao desta investigação.

### **3.3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

A revisão sistemática da literatura (RSL) é indicada pela DSR como meio de consulta às bases de conhecimento disponíveis para assegurar a relevância da pesquisa e do artefato que será construído. Também, permite identificar os estudos com foco no mesmo problema ou em problemas similares ao do identificado pelo pesquisador,

gerando o conhecimento necessário para o desenvolvimento do artefato e a consequente resolução do problema (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

A revisão inicial da literatura auxiliou para a compreensão global do processo de design, especialmente no contexto da etapa de geração de alternativas e seus desdobramentos. A partir do entendimento das técnicas e ferramentas utilizadas nesta etapa, foram descobertos e somados temas relacionados ao contexto investigado, tais como a criatividade e o reuso do conhecimento. O campo do DbA foi identificado como uma área recente na construção de artefatos que reúne estes aspectos para apoiar o processo de design e, alinhado com o contexto deste trabalho, auxiliou a delimitar a busca de similares.

Logo, a revisão sistemática da literatura ocorreu a partir dos estudos produzidos no campo do DbA, e dos artefatos digitais produzidos por estes estudos para auxiliar na etapa conceitual do processo de design. Com isso, foi possível evidenciar os artefatos similares existentes e classes de problemas relacionados para resolver problemas semelhantes ao deste estudo.

O levantamento do estado da arte nos estudos em DbA realizado por Jiang *et al.* (2021) apresentam os métodos e ferramentas produzidos nesta área. Este estudo foi utilizado como referência para confirmar os artefatos identificados na RSL desta pesquisa, também indica a evolução e os futuros direcionamentos da área.

Para a condução do protocolo de pesquisa RSL foi adotada a ferramenta StArt<sup>11</sup>.

As etapas da revisão sistemática são descritas no item 4.1 deste trabalho.

### **3.4 IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÕES DAS CLASSES DE PROBLEMAS**

A revisão sistemática da literatura permite identificar os artefatos e classes de problemas semelhantes ao que o pesquisador pretende desenvolver. Através deste enquadramento, é possível extrair o uso de boas práticas e lições aprendidas dos

---

<sup>11</sup> Ferramenta desenvolvida pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) para guiar processos de RSL. Disponível em: [http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start\\_tool](http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool).

estudos selecionados. Também, facilita evidenciar a contribuição da pesquisa para uma classe de problemas específica (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

A configuração da classe de problemas na DSR é conduzida através da conscientização do problema, da RSL e da identificação dos artefatos. O artefato enquadrado em uma determinada classe de problema permite a generalização do conhecimento gerado por sua pesquisa, tornando o acesso (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

De acordo com a análise dos estudos similares e dos resultados evidenciados por seus experimentos, foram obtidas as características relacionadas de cada artefato. Esta análise também permitiu identificar as principais limitações e necessidades, apontadas por estes estudos, e que ainda não foram contempladas. Para fins de comparação, foram adotados critérios de classificação que abrangem o contexto do DbA e os atributos de qualidade de um *software*.

A partir disso, a avaliação realizada pretende identificar as características positivas e negativas dos artefatos digitais analisados, relacionadas aos usuários e a satisfação das suas necessidades (funcionalidade) e a facilidade de interação (usabilidade) durante o uso do sistema.

Portanto, os critérios selecionados para a análise dos artefatos digitais revisados neste estudo são: (i) o objetivo do artefato de DbA, (ii) os recursos aplicados em DbA, e (iii) as características de qualidade do *software* que compreendem: funcionalidade e usabilidade. Os dados coletados para o item (iii) correspondem às informações das avaliações realizadas pelos autores dos trabalhos revisados, a partir do *feedback* dos utilizadores, e da análise realizada pelo autor desta pesquisa.

A análise dos artefatos similares e a configuração das classes de problemas desta pesquisa são apresentados no item 4.2.

### **3.5 PROPOSIÇÃO DE ARTEFATOS PARA RESOLVER O PROBLEMA ESPECÍFICO**

A proposição do artefato é uma etapa essencialmente criativa, em que o raciocínio abduutivo é indicado para conduzir as atividades previstas com o intuito de propor soluções robustas que possam ser utilizadas para a melhoria do ambiente externo investigado (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

Para propor o artefato, esta etapa foi dividida em três momentos: (i) a elaboração do método em DbA para o reuso do conhecimento; (ii) a apresentação do método através de um protótipo de telas para um grupo de especialistas; (iii) o refinamento da proposição a partir dos resultados das atividades do item ii;

Inicialmente, a elaboração do método em DbA foi desenvolvida a partir do conhecimento gerado das etapas anteriores da DSR. Estes aspectos são essenciais para o desenho do artefato. A partir dos requisitos iniciais estabelecidos, ocorre o detalhamento das características e funcionalidades que a proposta do artefato deve conter.

Os requisitos identificados compreendem tanto os aspectos para a definição do método de reuso do conhecimento quanto do artefato digital, este último, responsável pela execução do método em seu ambiente. Por isso, o método idealizado considera as questões computacionais para o seu funcionamento.

Estas definições foram registradas e transmitidas para um protótipo de baixa fidelidade para representar a sequência de telas do artefato digital e os fluxos de interação do usuário com as funcionalidades.

A confecção deste material proporcionou uma forma prática de apresentar a proposta para o grupo de especialistas antes de projetar o artefato. Para promover este encontro foi realizado um grupo focal para a coleta de dados da atividade com os participantes. O grupo deve reunir entre seis e oito pessoas no mesmo ambiente por um período entre uma e duas horas. É necessário a presença de um moderador, papel que foi desempenhado pelo próprio pesquisador (MORGAN, 1997).

Para a realização do grupo focal, a presente pesquisa foi submetida para a avaliação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e aprovada, conforme Anexo C (p. 224).

A seleção dos participantes para o grupo de especialistas foi formada por profissionais da área acadêmica do campo do Design, neste caso, o grupo de estudos do PGDesign da UFRGS, que atua no campo de P&D relacionado com esta investigação.

Quanto aos riscos para os participantes, o pesquisador se compromete a minimizá-los, garantindo o sigilo e preservando o anonimato. Para isso, alguns cuidados foram tomados, tais como: envio de carta convite por e-mail com a

comunicação prévia do conteúdo da pesquisa, bem como as condições relacionadas à realização do encontro. Para o dia do grupo focal, o início da atividade foi condicionado à assinatura de um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), Apêndice A (p. 202), que garante ao participante da pesquisa o respeito aos seus direitos.

O pesquisador também assegurou o direito de desistência da participação do grupo focal, de qualquer participante, a qualquer momento. Além disso, a participação no grupo focal não acarretou quaisquer ônus financeiros, sem quaisquer restrições quanto aos seus efeitos patrimoniais e financeiros, qualquer gasto com a execução do grupo focal foi custeado pelo próprio pesquisador.

O grupo focal foi conduzido a partir de um roteiro semiestruturado, com base nas recomendações de Morgan (1997), dividido em 4 etapas: (i) apresentação do protótipo pelo moderador; (ii) captações iniciais de cada um dos participantes; (iii) perguntas associadas ao que foi apresentado para gerar o debate; (iv) fechamento e considerações finais. Cabe ressaltar que questões foram acrescentadas ou modificadas pelo moderador ao longo do encontro, respeitando o próprio andamento do grupo e dos tópicos que foram levantados pelos participantes, sempre com foco no objetivo da pesquisa. O grupo foi gravado com o consentimento dos participantes para a análise de áudio ou vídeo.

A partir deste grupo focal foi possível explorar as percepções, opiniões e recomendações dos especialistas em relação ao protótipo apresentado. A compilação destes resultados permitiu o refinamento e ajustes necessários para a finalização do método proposto, para então dar início ao projeto e implementação do artefato digital.

A proposição do artefato e o resultado das atividades do grupo focal são apresentados no item 4.4.

### **3.6 PROJETO DO ARTEFATO**

A partir da proposta formalizada do artefato, o pesquisador deve validar se a solução é satisfatória para o problema de pesquisa antes de iniciar o projeto. Feito isso, o início do projeto do artefato deve considerar as características internas e o contexto em que irá operar. Os componentes, relações internas de funcionamento, limites e relações com ambiente externo também devem ser considerados. Também, é necessário

descrever todos os procedimentos para construção e avaliação do artefato, bem como informar o desempenho esperado (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

O processo de desenvolvimento de *software* se encarrega do detalhamento de cada elemento que compõe o artefato digital para definir sua arquitetura técnica. Cabe ainda, durante todo o processo, realizar o registro das especificações do que será desenvolvido e definir o nível de detalhamento adequado para o início da fase de desenvolvimento (SOMMERVILLE, 2005).

Os métodos e técnicas revisados são aplicados a partir de uma abordagem ágil do desenvolvimento de *software*. O *framework* Scrum foi adotado como guia de todo o processo de projeto e desenvolvimento do artefato digital.

Somado a isso, a técnica de personas foi aplicada para auxiliar na compreensão dos requisitos de usuário e do ambiente externo através das características dos seus utilizadores e do contexto das atividades envolvidas para o uso do artefato.

Também, as histórias de usuário foram utilizadas para a transferência dos requisitos identificados para este modelo. O mapeamento das histórias de usuários permitiu a visão global de todas as partes que foram desenvolvidas e auxiliou no planejamento da divisão destas entregas, representadas por versões do artefato digital.

Basicamente, o artefato digital deste estudo é formado por uma aplicação computacional e uma base de dados. A aplicação é responsável pela interface com o usuário e pelos algoritmos que executam as regras de negócio estabelecidas pelos requisitos do *software* a partir do método em DbA proposto. Já a base de dados permite estruturar e armazenar as informações para que estas possam ser recuperadas e manipuladas pelo *software*.

No caso desta pesquisa, considerando o contexto do reuso do conhecimento, a revisão da literatura apontou a necessidade de elaborar uma ontologia para representar e organizar o conhecimento do domínio explorado que oriente a construção da base de dados.

A ontologia foi elaborada a partir da compilação dos materiais gerados para a criação da proposta do artefato. Estas informações reúnem lista de requisitos, definições de funcionalidades, protótipo de telas que especificam questões de

interação e usabilidade, e *feedback* do grupo de especialistas sobre a proposta do método apresentada.

Para modelagem desta ontologia foram utilizados dois estudos, o primeiro para guiar o seu desenvolvimento (NOY; MCGUINNESS, 2005) e o segundo para sua representação através da linguagem *UML* (CRANEFIELD; PURVIS, 1999).

A ontologia gerada serviu como especificação para orientar a construção da base de dados com suas entidades, atributos e relacionamento durante a etapa de projeto do artefato.

A seleção das tecnologias utilizadas para a construção do artefato é realizada a partir da experiência e do aprendizado obtidos no projeto *Inspædia* (MALDONADO, 2012) e considera as possibilidades de integração deste sistema ao projeto *Virtus* (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010).

O item 4.5 descreve todos os itens desenvolvidos para o projeto do artefato digital desta pesquisa.

### **3.7 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO**

A construção do artefato sugere a utilização de diversas abordagens, como algoritmos computacionais, representações gráficas, protótipos, entre outros. É o momento em que o pesquisador constrói o ambiente interno do artefato. O artefato em si, em seu estado funcional, e as heurísticas de construção, definidas a partir do seu desenvolvimento, são os contributos desta etapa para o avanço do conhecimento específico na construção de novos artefatos ou na melhoria dos existentes (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

Para guiar a fase de desenvolvimento do artefato digital, os métodos ágeis, o *framework* Scrum e as Histórias de Usuário foram as ferramentas para garantir a realização do trabalho necessário para a entrega do artefato digital planejado.

O processo de desenvolvimento do artefato é descrito no item 4.6.

### **3.8 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO**

A avaliação é a etapa para validar a hipótese de que o artefato desenvolvido vai melhorar ou solucionar o problema de pesquisa. Para isso, é necessário observar e

medir o comportamento do artefato na solução do problema através dos resultados apresentados e seus requisitos. Neste caso, é necessário o uso de outros métodos de pesquisa para mediar as interações entre pesquisador, usuários e o artefato (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

A abordagem adotada para realizar a avaliação do artefato desta pesquisa enfoca nos aspectos relacionados à revisão do cumprimento dos seus requisitos e a opinião de especialistas. A partir de uma apresentação em seu estado funcional, foi possível captar a percepção dos usuários ao observar o desempenho do artefato nas atividades previstas em cenários propostos.

Neste trabalho, não foi avaliada a qualidade das analogias produzidas para promover o reuso do conhecimento, pois a base de conhecimento criada para o artefato, no estágio atual deste trabalho, não possui informações suficientes armazenadas para estabelecer as relações mais complexas. Quanto maior o conhecimento gerado for armazenado, maiores são as possibilidades de cruzamentos e conexões. Porém, cabe ainda descobrir o volume necessário em cada contexto de uso para realizar tal avaliação. Além disso, o estudo de Jiang *et al.* (2021) aponta a dificuldade em avaliar a contribuição dos artefatos desenvolvidos para o campo de DbA, principalmente pela falta de métodos de avaliação adequados para validar a relevância das analogias em um determinado contexto. Tudo isso, devido ao recente surgimento da área e das próprias ferramentas em DbA.

Na etapa de avaliação do artefato deste trabalho, foi realizado um novo grupo focal com os mesmos integrantes que participaram do primeiro grupo. Este ponto é relevante, pois os participantes já tiveram contato com a proposta do artefato e contribuíram com opiniões sobre o método e protótipo apresentado, que resultaram no seu refinamento. Tanto as condições de participação quanto os demais protocolos definidos no primeiro grupo focal também são reaplicados neste novo encontro.

Diferentemente do primeiro grupo focal, realizado de forma presencial, este encontro ocorreu online para evitar o contato e interações entre os participantes, em função das limitações impostas pela pandemia do covid-19.

Para atender o objetivo do grupo focal na avaliação do artefato, o seguinte roteiro foi elaborado para sua condução:

- i. apresentação dos principais pontos da investigação, para contextualizar o artefato desenvolvido;
- ii. apresentação do artefato digital, explicando seus principais mecanismos e detalhes de funcionamento;
- iii. orientação aos participantes sobre a atividade de avaliação do artefato;
- iv. apresentação de casos de uso para o artefato digital em cenários propostos e avaliação dos participantes através de questionário e debate;
- v. reflexão e discussão final entre os participantes sobre a atividade.

O Apêndice B (p. 204) deste trabalho apresenta a proposta do roteiro de forma detalhada.

Portanto, as saídas desta etapa são: o artefato avaliado, de modo que as evidências apresentadas atendam aos objetivos da pesquisa, e a formalização das heurísticas contingenciais, que explicitam os limites do artefato e suas condições de utilização, ou seja, a relação do artefato com o ambiente externo em que irá operar.

### **3.9 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS**

Após a etapa de avaliação do artefato, é fundamental que o pesquisador realize a explicitação das aprendizagens. Os pontos de sucesso e insucesso obtidos durante o processo de pesquisa devem ser registrados. O objetivo é garantir que o estudo realizado sirva de referência para novos estudos e geração de conhecimento, tanto no âmbito teórico quanto prático (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

Para esta pesquisa, a explicitação das aprendizagens foi realizada através dos diversos materiais gerados para a condução do trabalho teórico e prático. As considerações do pesquisador a partir da experiência de pesquisa e os artefatos gerados pelo processo de desenvolvimento de *software* e do método de pesquisa adotados são as principais bases para esta formalização.

### **3.10 CONCLUSÕES**

A etapa de conclusão apresenta os resultados obtidos pela pesquisa, bem como as decisões tomadas durante sua execução. Também, é relevante evidenciar as limitações da pesquisa, que podem servir para orientar novos trabalhos. Esta etapa

permite ao pesquisador identificar novas oportunidades de pesquisa para a sugestão de trabalhos futuros (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

O capítulo 6 apresenta as considerações finais da pesquisa e as indicações de trabalhos futuros.

### **3.11 GENERALIZAÇÃO PARA UMA CLASSE DE PROBLEMAS**

A generalização do artefato desenvolvido e suas heurísticas permite que o conhecimento gerado possa ser aplicado em situações semelhantes. A condução a partir de um raciocínio indutivo é indicada para que o pesquisador generalize a solução encontrada para uma determinada classe de problemas (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

A descrição do resultado desta etapa pode ser consultada nas conclusões deste trabalho no item 6.1.

### **3.12 COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS**

A comunicação dos resultados visa atingir o maior número de possíveis interessados na temática do trabalho, tanto na academia como nas organizações. Para isso, os meios de comunicação utilizados podem ser: revistas, periódicos, congressos, seminários, entre outros. A comunicação do conhecimento gerado contribui de modo significativo para o avanço do conhecimento geral (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

Inicialmente, esta pesquisa foi comunicada através da publicação final do trabalho como uma tese de doutorado. A possibilidade de publicação de artigos sobre o estudo e a disponibilização do artefato digital em ambiente *web* para uso são tratados no item 6.2 como sugestão de trabalhos futuros.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A apresentação e análise dos resultados desta pesquisa aborda o ciclo completo de concepção do artefato digital, desde a seleção das fontes para o acesso ao conhecimento necessário para gerar a sua proposta, até as etapas de projeto, desenvolvimento e avaliação. Também, o artefato digital é demonstrado através da descrição do seu comportamento e da apresentação de sua interface gráfica do usuário. Para isso, um caso de uso é aplicado a fim de explorar as questões relacionadas ao problema de pesquisa a partir de um exemplo prático.

Durante o período desta investigação, os resultados parciais deste estudo foram publicados através de um artigo na revista científica Design & Tecnologia (D&T) (CORRÊA; TEIXEIRA; MALDONADO, 2017). O estudo publicado apresenta o contexto desta pesquisa com enfoque no campo de DbA e seus artefatos identificados na revisão da literatura realizada naquele momento. Este primeiro estudo gerou os requisitos iniciais para propor o artefato digital desenvolvido neste trabalho.

A seguir, são apresentados os itens deste capítulo de acordo com a ordem estabelecida pela metodologia adotada para alcançar os objetivos desta pesquisa.

### 4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

O protocolo para a revisão sistemática da literatura (RSL) utilizado pela ferramenta StArt foi aplicado para esta pesquisa, que tem como objetivo verificar os artefatos digitais em DbA para a etapa conceitual do processo de design.

A questão principal formulada para conduzir a RSL foi: “*quais os artefatos digitais existentes em DbA desenvolvidos para apoiar a etapa conceitual do processo de design?*”.

Para a análise inicial dos artigos selecionados, o Quadro 5 apresenta as perguntas de apoio para a avaliação das publicações selecionadas:

Quadro 5: Perguntas de pesquisa.

Pergunta	Descrição da Pergunta
<b>P1</b>	O estudo apresenta um artefato?
<b>P2</b>	Qual o tipo de artefato?
<b>P3</b>	Em que as atividades da etapa conceitual do processo de design o artefato pode ser aplicado?
<b>P4</b>	Quais são os aspectos positivos e negativos da utilização dos artefatos digitais utilizados para as atividades previstas?

Fonte: o autor.

Para esta RSL foram selecionadas as seguintes bases científicas digitais relevantes para o escopo desta pesquisa: *SCOPUS*, *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, *ASME Digital Collection* e *Web of Science*.

O Quadro 6 apresenta o conjunto de termos selecionados para auxiliar na construção da *string* de busca utilizada nas bases científicas.

Quadro 6: Termos de busca.

Termos	Sinônimos	Tradução
<i>design-by-analogy</i>	<i>design by analogy, analogical design</i>	design por analogia
<i>data-driven design</i>	-	design orientado a dados
<i>concept generation</i>	idea generation, product concept generation	geração de alternativas
<i>engineering design</i>	<i>engineering design process, design process</i>	processo de design, processo de desenvolvimento de produto
<i>engineering design knowledge reuse</i>	<i>design knowledge reuse</i>	reuso do conhecimento no processo de design

Fonte: o autor.

Para atender aos critérios de busca, a *string* utilizada combinou alguns termos selecionados para formar a expressão de busca nas bases selecionadas. A *string* de busca formulada pode ser verificada no Quadro 7.

Quadro 7: *String* de busca.

<b>String de busca</b>
<i>("design-by-analogy" OR "design by analogy" OR "analogical design") AND ("engineering design" OR "concept generation" OR "idea generation" OR "knowledge reuse" OR "tool" OR "method" OR "software")</i>

Fonte: o autor.

Para a análise de similares foram considerados somente estudos que apresentaram artefatos digitais no contexto investigado. Outros estudos que originaram métodos ou ferramentas foram avaliados e incluídos conforme a sua relevância para esta pesquisa. Para guiar esta etapa, foram definidos critérios de inclusão, exclusão e qualidade. As publicações encontradas foram analisadas através da leitura de seus títulos, resumos e palavras-chaves para a verificação da adequação aos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão para a seleção dos estudos recuperados são apresentados no Quadro 8:

Quadro 8: Critérios de inclusão.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
<b>CI1</b>	Publicações no campo DbA que utilize um artefato digital como ferramenta de apoio ao processo de design durante a etapa conceitual, a partir do primeiro modelo computacional identificado: IDEAL (BHATTA; GOEL, 1996).
<b>CI2</b>	Artefatos digitais que apresentem informações suficientes para sua análise, de acordo com os critérios estabelecidos na metodologia de pesquisa no item 3.4.
<b>CI3</b>	Publicações nos idiomas inglês e português.
<b>CI4</b>	Publicações disponíveis integralmente nas bases científicas buscadas.

Fonte: o autor.

Os critérios de exclusão são apresentados no Quadro 9:

Quadro 9: Critérios de exclusão.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
<b>CE1</b>	Publicações duplicadas.
<b>CE2</b>	Publicações que não apresentem resumo.
<b>CE3</b>	Artefatos gerados que não sejam relevantes para esta pesquisa.

Fonte: o autor.

Os critérios de qualidade auxiliaram na categorização dos estudos segundo a sua relevância para a presente pesquisa. Foi atribuída uma pontuação de 1 a 3 para cada critério. Os critérios considerados para os estudos recuperados são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10: Critérios de qualidade.

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
<b>CQ1</b>	Apresenta um método DbA aplicável a modelos computacionais (valor 1)
<b>CQ2</b>	Apresenta um artefato digital em DbA utilizado para as atividades da etapa conceitual do PDP (valor 2)
<b>CQ3</b>	Apresenta um artefato digital em DbA utilizado para as atividades de geração de alternativas do PDP (valor 3)

Fonte: o autor.

Para a execução da RSL, inicialmente, foi realizada a recuperação das publicações pela *string* de busca definida para cada uma das bases de dados. A lista de estudos retornados foi importada na ferramenta StArt.

A seguir, foi realizada a análise do título e resumo de cada um dos estudos, descartando aqueles que não atendem aos critérios de inclusão, exclusão ou qualidade.

A lista de trabalhos selecionados passa pela leitura completa do pesquisador. Para cada estudo, foi avaliada a sua qualidade e extraído os dados relacionados às perguntas de pesquisa.

Para esta RSL, o processo executado retornou 165 publicações, das quais:

- **25** publicações duplicadas foram excluídas;
- **44** publicações atenderam aos critérios de inclusão;
- **96** publicações foram excluídas.

Entre as **44** publicações incluídas, **14** atenderam a questão principal para a RSL. As **30** restantes foram consideradas para fundamentar a presente pesquisa. O resultado da seleção dos artefatos digitais para esta RSL pode ser consultada no Quadro 11. O trabalho de Detanico (2021), que teve origem no mesmo grupo de pesquisa deste trabalho, foi incluído manualmente por ainda não constar nos resultados dos mecanismos de busca devido a sua recente publicação.

Quadro 11: Resultado dos estudos selecionados.

Ano	Publicação	Artefato digital
1996	(BHATTA; GOEL, 1996)	IDEAL
1997	(GOEL; BHATTA; STROULIA, 1997)	Kitric2
2005	(BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005)	Design Repository
2005	(CHAKRABARTI <i>et al.</i> , 2005)	Idea-Inspire
2008	(THE BIOMIMICRY INSTITUTE, 2008)	AskNature
2008	(BRYANT; STONE; MCADAMS, 2008)	MEMIC
2011	(ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011)	WordTree Express
2012	(GOEL, 2012)	DANE
2014	(LUCERO, 2014)	DRACULA
2014	(MURPHY <i>et al.</i> , 2014)	Patent Search
2017	(CHAKRABARTI <i>et al.</i> , 2017)	Idea-Inspire 3.0
2018	(HAN <i>et al.</i> , 2018)	Retriever
2020	(SARICA; LUO; WOOD, 2020)	TechNet
2021	(LUO; SARICA; WOOD, 2021)	InnoGPS
2021	(DETANICO, 2021)	BIOsign

Fonte: o autor.

A seguir, são apresentados os artefatos digitais e em seguida uma análise destes resultados para a condução desta pesquisa.

## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DA CLASSE DE PROBLEMAS

Através da RSL foram identificados os artefatos similares ao deste estudo, selecionados a partir do protocolo de pesquisa definido no item 3.3, limitados pelos seus critérios de inclusão, exclusão e qualidade.

O levantamento realizado permite verificar o potencial e as limitações de cada artefato apresentados por esses estudos. Também, a partir da análise deste resultado é possível reaproveitar o conhecimento gerado para promover o avanço no campo do DbA e, conseqüentemente, obter requisitos para o artefato proposto.

Recentemente, Jiang *et al.* (2021) realizou um levantamento mais abrangente que resultou no estado da arte dos estudos em DbA, apresentando as ferramentas e métodos gerados, além das tendências de evolução da área.

Os estudos de Chakrabarti *et al.* (2011) e Verhaegen *et al.* (2011) apresentaram um levantamento semelhante para identificar as ferramentas

desenvolvidas em DbA. Na época, Chakrabarti *et al.* (2011) ressaltou a relevância de sistemas baseados em analogia para as atividades de criação no design, e que este campo ainda precisava de apoio computacional, devido à complexidade de recuperar as analogias em memória digital, área investigada pela IA. Ao longo de 10 anos de evolução nos estudos em DbA, Jiang *et al.* (2021) confirma a relevância apontada por Chakrabarti *et al.* (2011), destaca o crescimento constante da área e a tendência de inclusão de técnicas de IA como o futuro para novas ferramentas.

A classe de problemas configurada para esta pesquisa é a “Design-by-Analogy”. O campo criado por estudos anteriores que deu origem a artefatos similares evidenciou uma classe já existente. A área de DbA agrupa estes artefatos que basicamente compartilham características semelhantes a partir do uso das técnicas de analogia para contribuir nas atividades do processo de design.

A seguir, são apresentados os estudos selecionados pela RSL no Quadro 11 do item anterior, na ordem cronológica de seus desenvolvimentos, descrevendo seus objetivos, estratégias e resultados, quando houver.

#### **4.2.1 IDEAL (1996) e KITRIC2 (1997)**

Os modelos computacionais IDEAL (BHATTA; GOEL, 1996) e Kritik2 (GOEL; BHATTA; STROULIA, 1997) definiram padrões para explorar as analogias em uma base de produtos existentes para gerar automaticamente soluções em projetos para dispositivos físicos. A técnica estruturada de modelagem *Structure-Behavior-Function* (SBF) (BHATTA; GOEL, 1996) é utilizada para representar a decomposição funcional, estrutural e comportamental do produto, adotada pelos autores como meio de armazenar e recuperar as informações de projeto em *softwares*. Desta forma, os sistemas recuperam soluções anteriores com base na SBF, permitindo a verificação dos projetos propostos e sugerindo modificações através da comparação de soluções semelhantes preexistentes em um banco de dados.

No entanto, a codificação dos modelos SBF a partir de projetos existentes exige um esforço técnico e intelectual considerável por parte dos projetistas, aspecto que, muitas vezes, dificulta a execução da tarefa (VERHAEGEN *et al.*, 2011).

Apesar de não apresentarem uma implementação de *software* em seus estudos, foram considerados no levantamento desta pesquisa por serem modelos

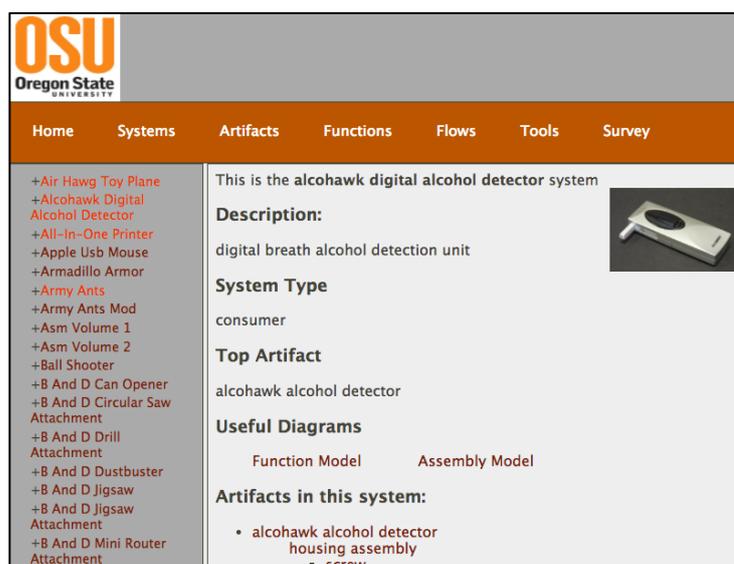
computacionais relevantes que estabeleceram definições para a primeira geração de ferramentas criadas no campo do DbA.

#### 4.2.2 Design Repository (2005)

O projeto Design Repository (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005) é uma base de conhecimento em design. O acesso a sua interface *web* permite explorar o repositório e extrair as informações da base de dados de produtos indexados pelos seus criadores. Até o momento desta pesquisa, o repositório armazena 175 sistemas (*systems*) e 6906 componentes (*artifacts*) – que relacionados compõe um sistema – indexados pelas suas características e funcionalidades permitindo a navegação entre as estruturas dos produtos existentes.

Porém, Bohm (2009) destaca a necessidade de desenvolver uma interface de integração para que outros sistemas possam acessar diretamente os dados do repositório e, assim, proporcionar um repositório de design centralizado para novas ferramentas digitais de design. Outro ponto observado, para o utilizador, foi a necessidade de um editor gráfico que permita a manipulação dos modelos funcionais do produto durante a indexação e, deste modo, facilitar a interação e visualização das informações de projeto. A interface do *software* Design Repository pode ser visualizada na Figura 31.

Figura 31: Interface Design Repository.



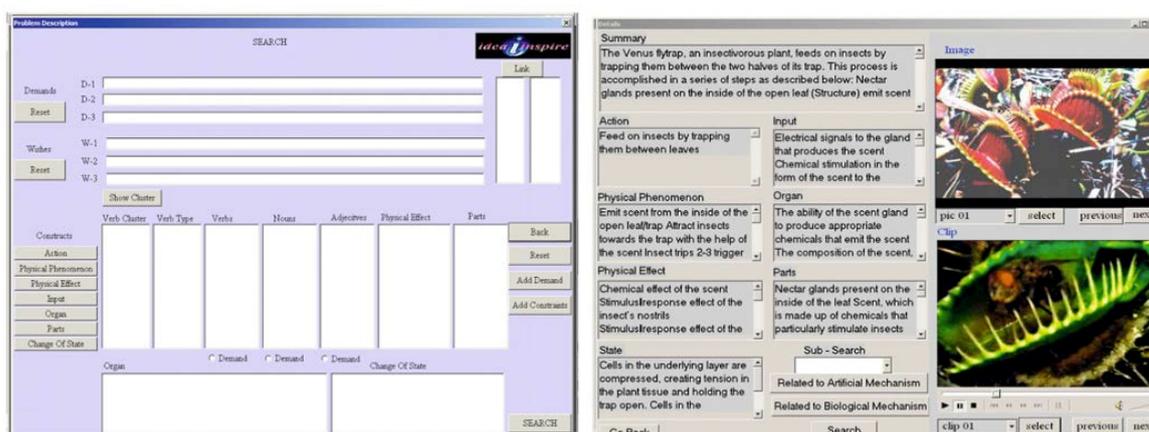
Fonte: (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005).

### 4.2.3 Idea-Inspire (2005, 2017)

O sistema Idea-Inspire foi o primeiro ambiente computacional de sistemas biológicos desenvolvido para apoiar os processos de projeto a partir da biomimética no design. Desenvolvida por Chakrabarti *et al.* (2005), a ferramenta auxilia na resolução de problemas de projeto utilizando, como fonte de inspiração, sistemas naturais e artificiais armazenados em um banco de dados. Cada sistema é descrito e indexado na base de dados através de dois modelos de representações: o SBF e o SAPPPhIRE<sup>12</sup>, juntamente com imagens e vídeos (Figura 32). O Idea-Inspire foi a primeira ferramenta que implementou uma funcionalidade que permitiu aos usuários incluir novos sistemas no banco de dados.

O experimento realizado com designers e alunos apontou que o *software* foi capaz de estimular os usuários a produzir, em média, o dobro de ideias para um problema de projeto. Além disso, foi observado que o número de ideias exploradas e estimuladas pela ferramenta se correlaciona fortemente com a variedade das soluções geradas nos projetos analisados. Apesar dos bons resultados, o *software* é executado de forma isolada no computador do cliente, conseqüentemente as soluções de design incluídas pelo usuário não podem ser reutilizadas por outros usuários.

Figura 32: Interface Idea-inspire.



Fonte: adaptado de Chakrabarti *et al.* (2005).

A evolução deste estudo gerou a versão 3.0 do Idea-Inspire (CHAKRABARTI *et al.*, 2017). A sua principal mudança está no acesso à plataforma. A nova versão

<sup>12</sup> O modelo SAPPPhIRE foi originalmente desenvolvido para apoiar o projeto, fornecendo descrições causais de sistemas biológicos e técnicos como estímulos para inspirar ideias aos designers à procura de soluções para problemas de design (KESHWANI; CHAKRABARTI, 2017).

opera na plataforma *web*, o que proporciona um ambiente colaborativo para o compartilhamento do conhecimento de projetos entre os seus utilizadores.

Também, a versão 3.0 aprimorou a interface e as suas funcionalidades, tais como a integração da base de dados lexical Wordnet para ampliar o PLN do sistema (CHAKRABARTI *et al.*, 2017; GOEL; MCADAMS; STONE, 2014). A Figura 33 exibe a nova interface do sistema.

Figura 33: Interface Idea-Inspire 3.0.

The interface displays a conceptual model of walking, organized into six main sections:

- main model tree:** A diagram showing the relationship between 'Walking', 'Stance phase', and 'Swing phase', with sub-phases like 'Swing phase sub1' and 'Swing phase sub2'.
- Walking:** A hierarchical flowchart:
  - ACTION:** Walking
  - STATE CHANGE:** Body at rest to motion
  - PHYSICAL PHENOMENON:** Alternation between stance and swing phase accomplishes balance, weight bearing and forward propulsion of body
  - PHYSICAL EFFECT:** Newton's law of motion
  - INPUT:** Sufficient forward lean and velocity
  - ORGAN:** it creates two phases of Gait cycle stance phases and swing phase
  - PARTS:** Feet, frictional surface
- audio explanation:** A video player showing a 0:40 duration.
- textual explanation:**

This system of gait cycle constitutes of feet and frictional surface (parts), the interaction between these parts creates conditions producing the two phases of the gait cycle: swing phase and the stance phase (organs). when an external stimuli of sufficient forward lean and velocity is provided (input) it activates multiple laws, frictional laws, ground reaction force & CNS (central nervous system) stimuli to the muscles (physical effect). This effect initiates a repetitive pattern of walking which includes the stance phase and the swing phase. In the stance phase the foot is in contact with the ground and swing phase it is off the ground (phenomenon). This phenomenon changes the position of the body taking it from rest to motion (state change). this is interpreted as walking (action).
- image of the system:** A sequence of human figures illustrating the gait cycle phases: Heel strike, Foot flat, Mid-stance, Heel off, Toe off, and Foot flat.
- video explanation:** A video showing a person's legs during the 'Stance Phase' of walking.

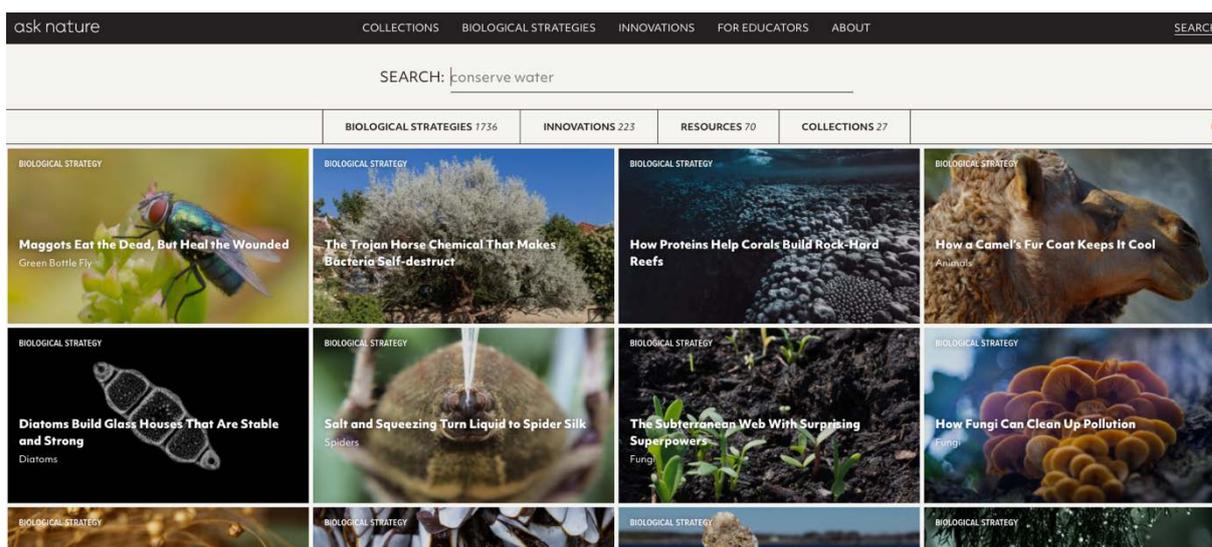
Fonte: (CHAKRABARTI *et al.*, 2017).

Um estudo preliminar de avaliação da nova versão indicou a necessidade de treinamento dos usuários para melhor utilização da ferramenta (CHAKRABARTI *et al.*, 2017).

#### 4.2.4 AskNature (2008)

O projeto AskNature (ASKNATURE.ORG, 2017) deu origem a uma plataforma *web* resultante do esforço da organização The Biomimicry Institute (TBI) e sua comunidade em tornar informações biológicas acessíveis e aplicáveis a contextos não biológicos, servindo como fonte de inspiração para o campo da Biomimética e Biônica. O acesso ao *software* e banco de dados é gratuito e permite o usuário realizar consultas às diversas soluções e estratégias biológicas utilizadas pela natureza para superar os desafios naturais. As informações indexadas são extraídas de publicações científicas e avaliadas por revisão em pares antes de serem catalogadas no sistema. As relações estabelecidas entre os mecanismos, em um alto nível de abstração e apoiadas por uma taxonomia, utilizam as funções como estratégia para estabelecer o elo de ligação entre a biologia e campos como a engenharia, a arquitetura, o design industrial, a robótica, entre outros. A Figura 34 apresenta uma das interfaces de busca da plataforma.

Figura 34: Interface de busca AskNature.



Fonte: (ASKNATURE.ORG, 2017).

Entretanto, o *software* apresenta ao usuário as soluções em um alto nível de abstração, com poucos detalhes técnicos de aplicação em projeto. Além disso, os

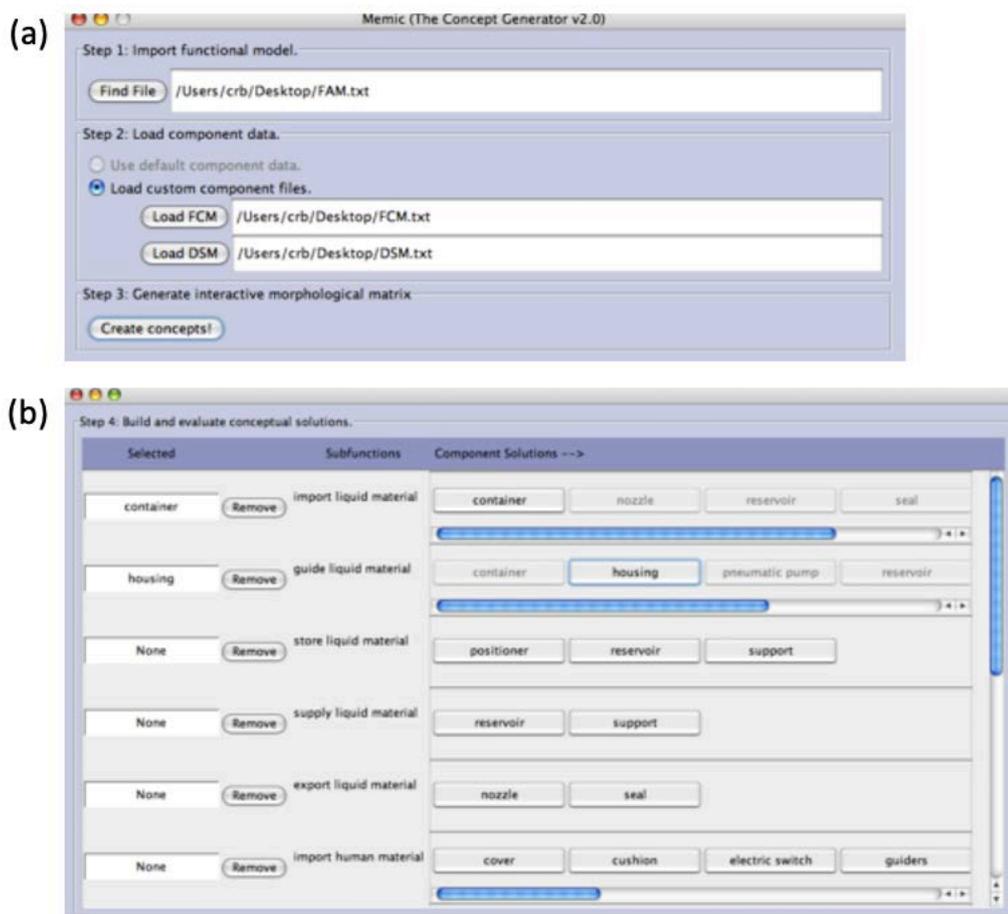
usuários recuperaram as informações através de pesquisas tradicionais baseadas em palavras-chave, além de permitir explorar e navegar na base de conhecimento através da taxonomia adotada. Apesar de prover acesso público pela *web*, o AskNature não oferece a funcionalidade para que os usuários adicionem novos sistemas ao banco de dados. Todavia, o usuário pode solicitar a permissão para se tornar um colaborador, mediante avaliação e aprovação dos organizadores do projeto (ASKNATURE.ORG, 2017; GOEL, 2015; THE BIOMIMICRY INSTITUTE, 2008).

#### **4.2.5 MEMIC (2008)**

O estudo de Bryant *et al.* (2008) deu origem à ferramenta MEMIC (Morphological Evaluation Machine and Interactive Conceptualizer), um gerador de conceitos automatizado capaz de produzir alternativas de soluções de design para um projeto de produto a partir de subfunções de produtos existentes, extraídas do conhecimento armazenado do projeto Design Repository (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005), apresentado nesta seção. Para isto, o MEMIC exige que o usuário informe dois arquivos em um determinado formato – baseados em técnicas de modelagem funcional – descrevendo as funcionalidades e estrutura do produto em um alto nível de abstração através do vocabulário controlado oferecido pela Functional Basis (FB) (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002). O algoritmo utiliza as relações função-componente contidas em uma matriz que correspondem à estrutura do repositório de produtos existentes e, conseqüentemente, compara e sugere alternativas para o problema de projeto.

Apesar de produzir resultados promissores para a geração de conceitos, as observações realizadas durante o experimento apontaram que parte dos participantes se sentiram desconfortáveis com a informação gerada pelo *software*. Isto devido à complexidade em compreender os resultados textuais gerados pela ferramenta. Este aspecto observado em interpretar o retorno do *software* demonstrou a necessidade de melhorias na apresentação dos resultados, como por exemplo, adicionando recursos de imagens ou esquemas visuais (BRYANT; STONE; MCADAMS, 2008). A Figura 35 apresenta duas interfaces do MEMIC, (a) tela de entrada de arquivos com a modelagem funcional informada pelo usuário para a geração automática de conceitos e (b) o retorno das soluções encontradas.

Figura 35: Interface MEMIC.



Fonte: (BRYANT; STONE; MCADAMS, 2008).

#### 4.2.6 WordTree Express (2011)

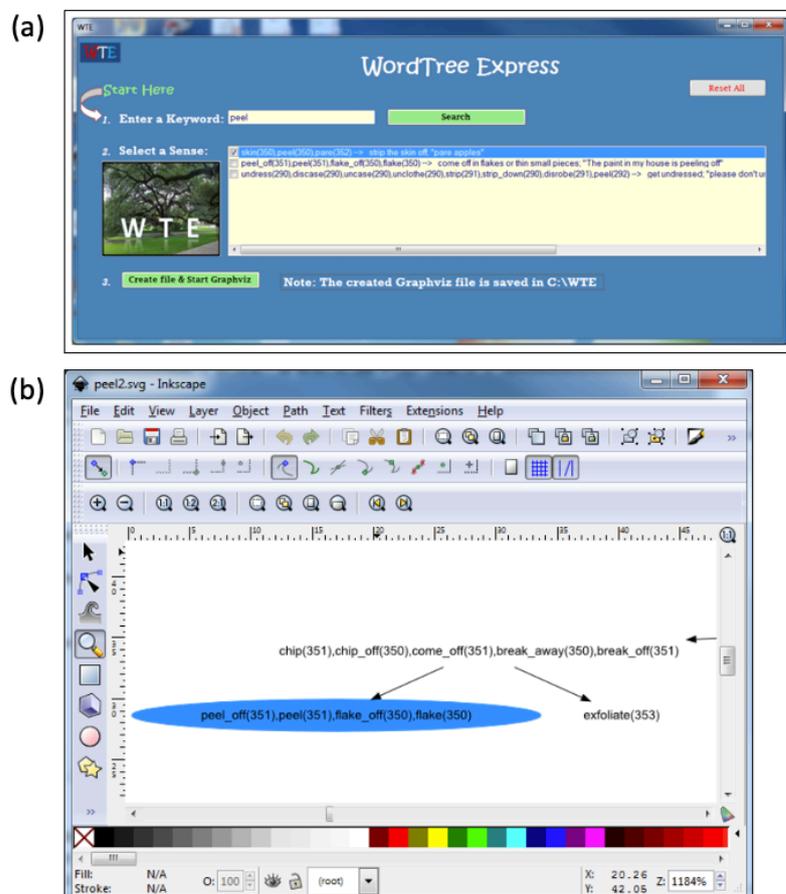
A partir de uma abordagem de técnicas semânticas, a ferramenta WordTree Express (WTE) (ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011) foi desenvolvida para agilizar e automatizar as etapas do WordTree (LINSEY; TEXAS; MARKMAN, 2008), método utilizado para estimular o uso de analogias no processo de design. Os diagramas hierárquicos em árvore gerados pela WTE são criados com o auxílio de uma base de dados lexical. A base utilizada foi a WordNet, que agrupa as palavras em conjuntos de sinônimos chamados *synsets*, interligados por meio de relações conceituais-semânticas e lexicais auxiliando no PLN. Com isso, em poucos segundos, foi possível agilizar o processo manual – avaliado em experimento – que antes despendia um esforço de pelo menos trinta minutos do usuário.

Ao utilizar a ferramenta WordTree Express, o usuário insere uma função como palavra-chave (um verbo) e aciona o botão de pesquisa para verificar no banco

semântico os diferentes sentidos do termo inserido. O usuário então seleciona o sentido para a função, entre os registros retornados da base de dados, que melhor corresponde ao problema de projeto. Em seguida, o *software* gera um arquivo com o diagrama WordTree, aberto em um programa externo, que apresenta a árvore de funções e suas relações hierárquicas permitindo ao utilizador a análise e descoberta de analogias.

A utilização do método com a ferramenta demonstrou uma melhora significativa na descoberta de analogias. As melhorias propostas por este estudo incluem: a integração de outros bancos de dados que possam enriquecer a base de funções e produtos; a melhoria da interface do usuário para implementar todas as funcionalidades em um único ambiente, eliminando a necessidade de *softwares* terceiros; e a combinação de palavras com imagens para estimular visualmente o processo de recuperação de analogias (ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011).

Figura 36: Interface WTE.

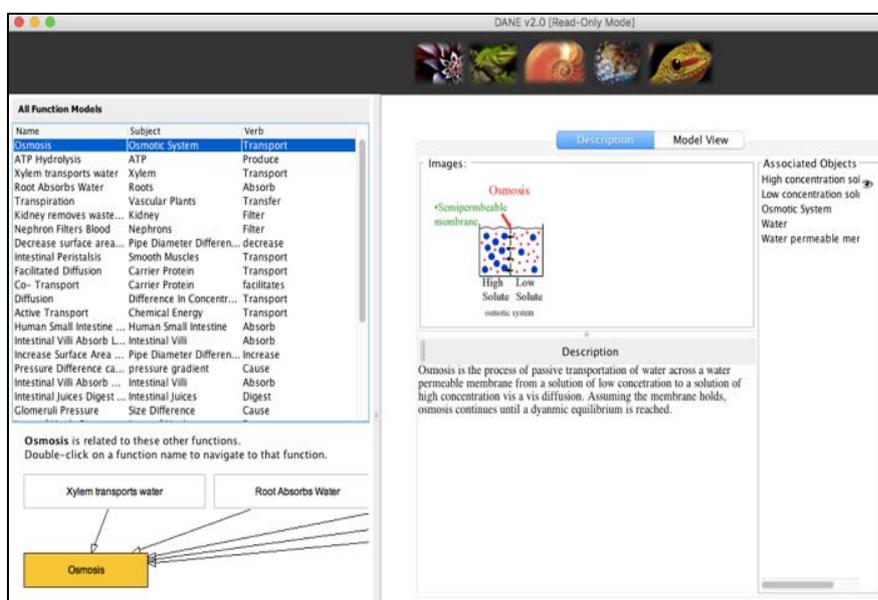


Fonte: (ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011).

## 4.2.7 DANE (2012)

Semelhante ao Idea-Inspire, o DANE (GOEL, 2012) é uma ferramenta computacional que explora o estímulo de soluções biológicas para a resolução de problemas de projeto. As soluções são representadas a partir da modelagem SBF e armazenadas em banco de dados, formando um conjunto de sistemas conectados entre si e com diferentes níveis de complexidade. O DANE é um *software* executado de forma isolada no computador do usuário, o que limita o compartilhamento de informações com outros projetistas. A Figura 37 apresenta a tela de consulta a sua base de soluções.

Figura 37: Interface DANE.



Fonte: (GOEL, 2012).

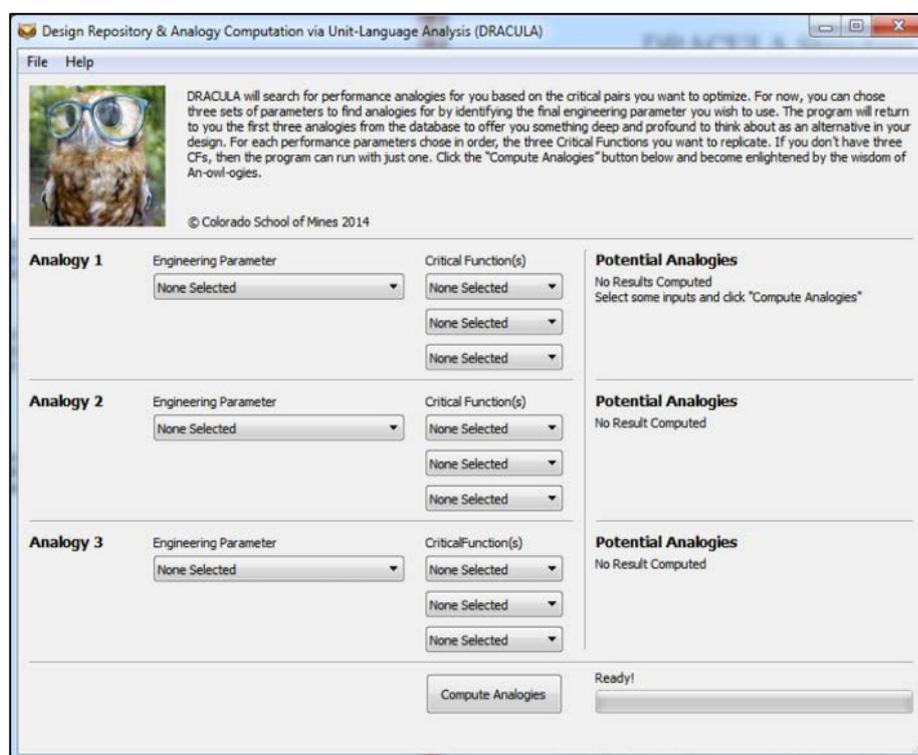
O experimento realizado com os usuários demonstrou que diversos sistemas estavam representados de forma incompleta na aplicação. Uma das razões identificadas para tal inconformidade apontou que a modelagem SBF foi realizada por um grupo de alunos com pouca ou nenhuma experiência em sistemas biológicos, assim como a incapacidade dos participantes de modelar adequadamente o conhecimento de design através dos modelos SBF. Outro fator, este ligado ao nível de detalhamento das soluções, foram as próprias limitações da modelagem utilizada, onde um modelo hierárquico pode não ser suficiente para representar um sistema biológico altamente complexo, no qual os eventos podem ocorrer sequencialmente e

simultaneamente em vários níveis sistêmicos para alcançar uma funcionalidade pretendida (GOEL, 2012; GOEL; MCADAMS; STONE, 2014).

#### 4.2.8 DRACULA (2014)

A pesquisa de Lucero (2014) desenvolveu o *software* chamado DRACULA (Design Repository & Analogy Computation via Unit-Language Analysis) que uniu o repositório de conhecimento Design Repository de Bohm (2009) associado a um sistema com algoritmos que mapeiam as relações analógicas a partir de métricas de desempenho de engenharia e funcionalidades do produto. Através de uma interface, o usuário seleciona um único parâmetro de desempenho de engenharia associado a um conjunto sequencial de até três funções críticas do produto. O *software* recebe os parâmetros, executa a busca e retorna ao usuário somente as analogias encontradas em seu repositório, sem informações ou detalhes adicionais, cabendo ao projetista interpretar o resultado e compreender em que contexto o mesmo pode ser aplicado ao seu problema de projeto. A interface do *software* DRACULA pode ser visualizada na Figura 38.

Figura 38: Interface DRACULA.



Fonte: (LUCERO, 2014).

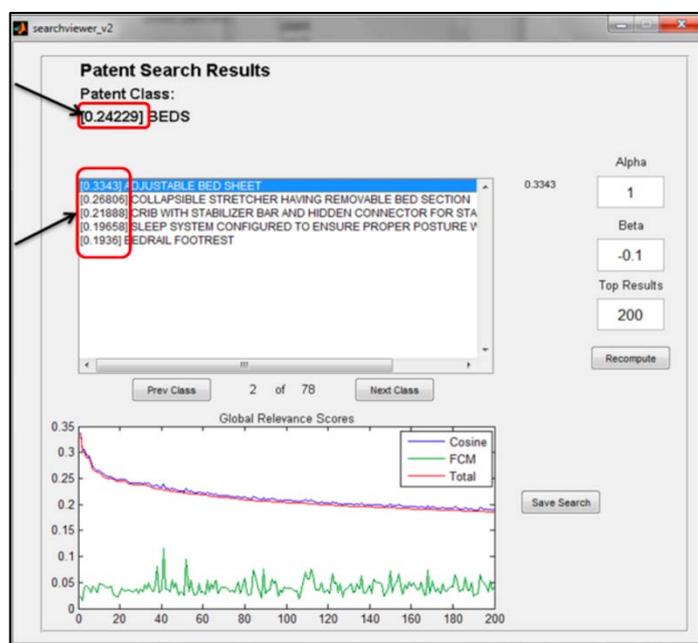
Este estudo apresentou um grande potencial em seus resultados, porém os autores indicam experimentos mais detalhados que estão em andamento e ainda não foram publicados (TOMKO *et al.*, 2015).

#### 4.2.9 Patent Search (2014)

O sistema de busca de analogias em patentes (MURPHY *et al.*, 2014) visa facilitar a descoberta de analogias no design através da extensa base de patentes americana United States Patent and Trademark Office (USPTO). A estratégia adotada pelo estudo utiliza uma taxonomia que relaciona os verbos de funções existentes nas patentes com as funções mapeadas na Functional Basis, promovendo uma extensão da linguagem. A construção destes relacionamentos de linguagem proposta na taxonomia é realizado com o auxílio da base de dados lexical WordNet (MILLER, 1995), que agrupa as palavras em conjuntos de sinônimos chamados *synsets*, interligados por meio de relações conceituais-semânticas e lexicais auxiliando no PLN.

A Figura 39 apresenta a interface do *software* de Murphy *et al.* (2014).

Figura 39: Interface Patent Search.



Fonte: (MURPHY *et al.*, 2014)

Segundo os autores, o resultado do estudo mostrou que as patentes foram consideradas fontes de analogias e conceitos que contribuem positivamente para o processo de desenvolvimento de soluções inovadoras.

#### 4.2.10 Retriever (2018)

A abordagem proposta pelo Retriver (HAN *et al.*, 2018) utiliza ontologias como apoio ao raciocínio analógico para estimular a geração de ideias criativas. Essa abordagem foi implementada em uma ferramenta computacional para auxiliar projetistas novatos e experientes durante os estágios iniciais do processo de design.

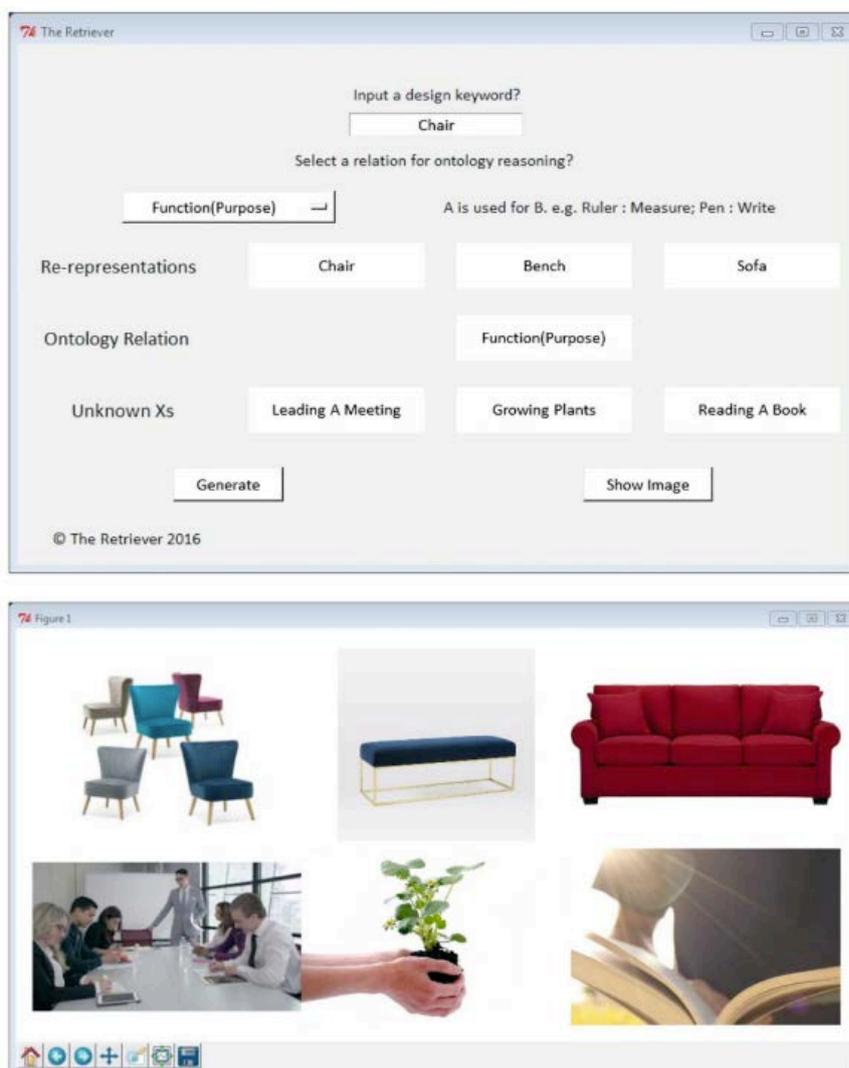
A ferramenta pode recuperar conceitos ou ideias em texto e formas visuais de acordo com a entrada do usuário e, assim, provocar a geração de novas ideias. A base ConceptNet, uma base semântica existente de senso comum, é adotada como o banco de dados de conhecimento para a recuperação de conceitos e construção de ontologias para o Retriever.

A ferramenta constrói uma ontologia ou parte de uma ontologia a partir da recuperação de X ou Xs desconhecido(s) com base em um termo C conhecido em uma ontologia distante (ontologia alvo). E, utiliza uma relação de ontologia próxima abstraída de A:B (ontologia fonte). Esta relação é descrita como uma geração de problemas de analogia proporcional para  $A:B :: C:X$ .

Para exemplificar o seu funcionamento, o estudo apresenta um caso de uso para um projeto de uma nova cadeira (Figura 40). A palavra-chave “cadeira”, considerada o termo conhecido C, é o dado de entrada do usuário. A relação da ontologia “função (propósito)” abstraída de A:Bs em ontologias conhecidas é selecionada para explorar quais cadeiras são comumente usadas. O sistema de busca do Retriever recupera duas re-representações: “banco” e “sofá”. De acordo com a entrada do usuário e as re-representações são produzidas três ideias: “liderar uma reunião”, “cultivar plantas” e “ler um livro”. As saídas recuperadas são apresentadas em formas de texto, conforme a parte superior da Figura 40, acompanhando uma galeria de imagens correspondentes, conforme a parte inferior da Figura 40.

O exemplo apresentou uma recuperação distante, na qual ideias com um grau inferior de relação são recuperadas, para evitar o *design fixation* e estimular a ideação criativa. Para o Retriever, as ideias desconhecidas (Xs) que estão fortemente relacionadas pela ontologia através do termo C ou das re-representações são recuperadas antes dos com pouca correlação. Usando a entrada “cadeira” e “função (propósito)” como exemplo, ideias como “descansar” seriam recuperadas antes de “liderar uma reunião”.

Figura 40: Interface Retriever.



Fonte: (HAN *et al.*, 2018).

A avaliação realizada pelo estudo indicou que a ferramenta pode ser eficaz e útil para a geração de ideias. Os resultados indicaram que a ferramenta apresentada pode melhorar significativamente a fluência e flexibilidade de geração de ideias e a utilidade das ideias, bem como aumentar ligeiramente a originalidade das ideias, para o estudo de caso em questão.

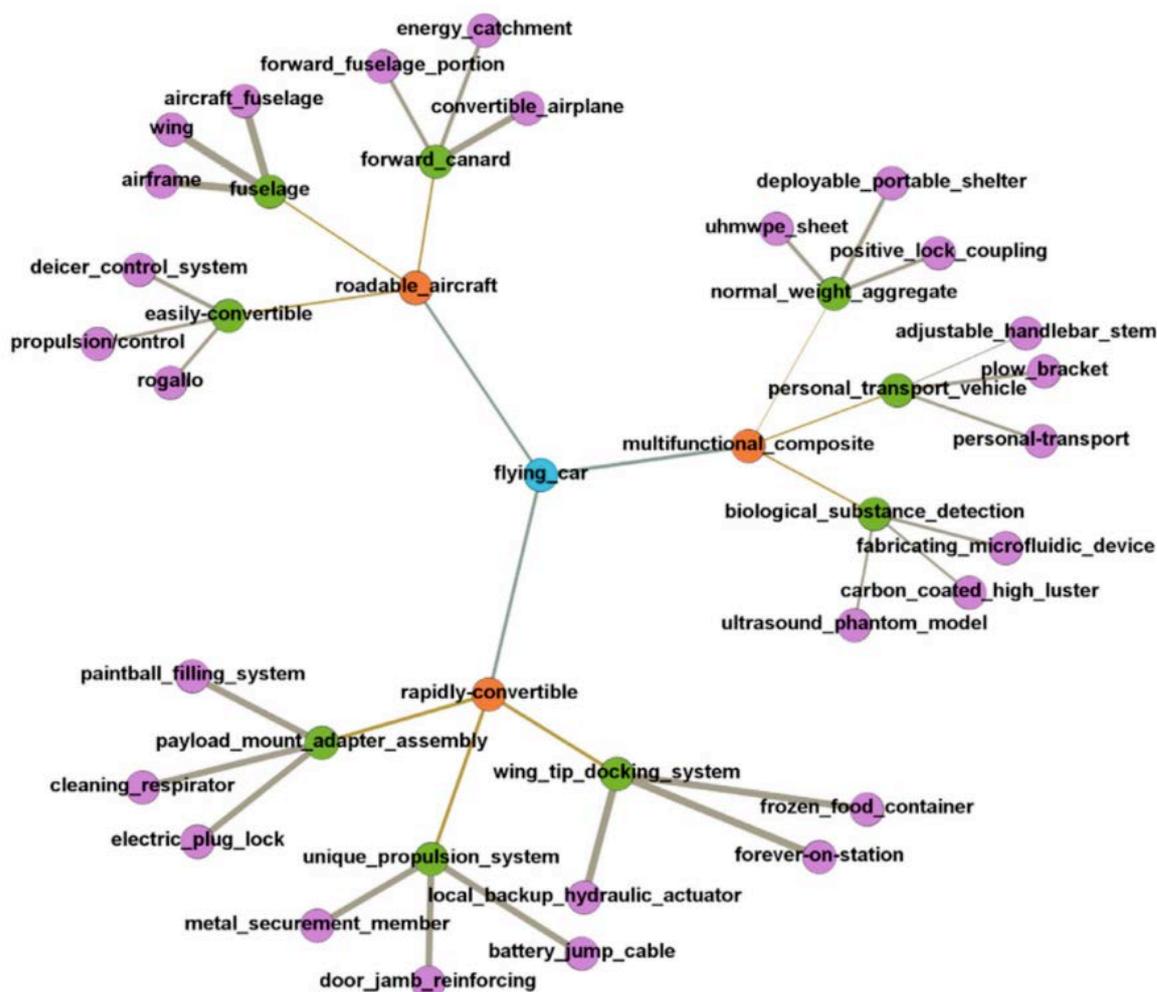
#### 4.2.11 TechNet (2020)

O sistema TechNet (SARICA; LUO; WOOD, 2020) é uma rede semântica de tecnologia que abrange conceitos elementares em todos os domínios da tecnologia e suas associações semânticas através do banco de dados de patentes dos Estados

Unidos de 1976. Para o seu desenvolvimento, técnicas de PLN são utilizadas para extrair termos de grandes textos das patentes e algoritmos são empregados para vetorizar tais termos e estabelecer suas relações semânticas.

A partir de um determinado termo ou texto (raiz), o usuário pode descobrir novos conceitos relevantes associados por meio de uma pesquisa gráfica no formato de árvore. O algoritmo gera primeiro os ramos para novos termos mais relevantes. Ao selecionar um termo gerado, novos ramos são descobertos a partir deste, permitindo uma pesquisa orientada à profundidade. A Figura 41 apresenta a interface do TechNet para o conceito raiz “*flying\_car*”.

Figura 41: Interface TechNet.



Fonte: (SARICA; LUO; WOOD, 2020).

Para os autores, o TechNet preenche uma lacuna no desenvolvimento de redes semânticas de tecnologia em grande escala com o propósito de aprimorar a inteligência de aplicações baseadas no conhecimento para o contexto da engenharia e do design.

O estudo é considerado uma contribuição inicial para a área e sugere como próximos passos a necessidade de avaliação das redes semânticas geradas e do avanço da base de dados de patentes. Também, é mencionada a integração com a base lexical ConcepNet para ampliar as possibilidades de PLN.

Por fim, o TechNet deve servir também como uma infraestrutura para permitir o desenvolvimento de novos sistemas de inteligência artificial para projetos de engenharia, gestão do conhecimento e inovação tecnológica. A ferramenta está disponível em [www.tech-net.org](http://www.tech-net.org).

#### **4.2.12 InnoGPS (2021)**

O InnoGPS (LUO; SARICA; WOOD, 2021) é um sistema especialista baseado em conhecimento para explorar estímulos de design a partir de um banco de dados de patentes nos níveis de conceito, documento e campo, simultaneamente, de acordo com a distância de conhecimento entre campos, para apoiar a analogia e a ideação no design.

A distância do conhecimento orienta a exploração baseada em rede e a recuperação de estímulos inspiradores para inferências em campos próximos e distantes para gerar novas ideias de design por analogia e combinação. A avaliação realizada no estudo demonstra a eficácia do uso do sistema para gerar novas ideias de design para resolução de problemas. Também, demonstrou que o processo de ideação auxiliado pelo computador é visualmente inspirador e rápido.

Através de um termo de busca informado pelo usuário o sistema busca o conjunto de patentes no banco de dados em seus títulos e resumos, identifica as classificações das patentes recuperadas e determina o vetor de posição para o termo informado. A Figura 42 apresenta a interface do sistema, a intensidade da cor vermelha dos nós corresponde às ocorrências de patentes para o termo informado nas respectivas classes de patentes. Os nós cinzas não contêm patentes relacionadas para a busca.



alternativas inovadoras. Por sua vez, o seu repositório teve origem a partir da integração de taxonomias existentes, entre elas a Functional Basis. O repositório conta com aproximadamente 660 princípios de solução da natureza cadastrados.

A partir do método proposto, a ferramenta permite realizar buscas através do problema ou da solução. Os filtros disponibilizados ao usuário possibilitam a seleção dos termos da taxonomia para descobrir os dispositivos relacionados. Da mesma forma, o usuário pode pesquisar a solução proporcionada pelo dispositivo para obter o princípio utilizado na natureza. O último passo do método consiste no esforço do pesquisador em estabelecer as relações dos princípios da natureza encontrados com as questões de projeto e realizar as devidas transferências. A Figura 43 apresenta a interface do artefato.

Figura 43: Interface de busca para o repositório BIOsign.

The screenshot shows the BIOsign search interface. On the left is a sidebar with filter options: 'Filtrar por condição', 'Filtrar por valores', and a search input field. Below the search field are various action buttons: Regular temperatura, Remover, Reproduzir, Rotacionar, Segurar, Selecionar (checked), Transladar, Transmitir, Transportar, and Vincular. At the bottom of the sidebar are 'Cancelar' and 'OK' buttons. The main area displays a table with the following columns: 'O', 'QUAL O OBJETO DA AÇÃO?', 'EM QUE MEIO?', 'DISPOSITIVO', 'PRINCÍPIO FÍSICO', 'EXEMPLO', and 'PG'. The table contains 18 rows of data, each representing a biological principle with its corresponding physical principle and an example.

O	QUAL O OBJETO DA AÇÃO?	EM QUE MEIO?	DISPOSITIVO	PRINCÍPIO FÍSICO	EXEMPLO	PG
	líquido		Poros nucleares (como	autorização de entrada de	proteín membrana nuclear das c	78
	líquido		Poros nucleares (como	autorização de entrada de	proteín membrana nuclear das c	78
	líquido		Reticulo endoplasmátic	por englobamento em suas mem	organelas das células	79, 80
	líquido		Reticulo endoplasmátic	através do sistema de redes de	tul organelas das células	79, 80
	líquido		Complexo de Golgi	por empacotamento, proteínas	sã organelas das células	81
	líquido		Complexo de Golgi	por fusionamento de membrana	organelas das células	81
	líquido		Complexo de Golgi	por brotamento de vesículas	organelas das células	81
	líquido		Fagossomo	por fagocitose, devido a	formação organelas das células	82
	líquido		lisossomo	por hidrólise: a digestão	inicia pelc organelas das células	82
	líquido		lisossomo	por autofagia. Organelas	são engl organelas das células	82
	líquido		mitocôndrias	conversão de energia química	em respiração celular	83
	líquido		cloroplastos	fotossíntese: realizada por	uma ex fotossíntese	84
	líquido		citoesqueleto (microfila	por formação de rede com	longas estrutura celular	87
	líquido		citoesqueleto (microfila	por formação de rotas	através da estrutura celular	87
	líquido		cílios	por deslizamento dos	microtúbulc batimento dos cílios	89
	líquido		proteínas motoras	por movimento sobre os	trilhos de proteínas motoras que t	90
	sólido		paredes celulares	por rigidez	parede celular vegetal	91
	líquido		lâmina basal, matriz ext	filtração por viscosidade	células dos rins	91
	líquido		proteínas integrais de n	por adesão, atravessando	complet proteínas de membrana	98

Fonte: (DETANICO, 2021).

A quantidade e o detalhamento das informações armazenadas no repositório proporcionam amplas possibilidades de apoio aos usuários na busca por soluções de projeto mais qualificadas. Além disso, o artefato oferece a opção para que outros pesquisadores possam incluir novos princípios ao repositório, considerando uma análise e verificação prévia.

### 4.3 ANÁLISE DOS ARTEFATOS REVISADOS

Os resultados dos estudos selecionados comprovam as potencialidades das analogias para o reuso do conhecimento no processo de design e o fator decisivo que o processamento computacional pode exercer como recurso facilitador desta abordagem. Esta combinação contribui de forma efetiva para o desenvolvimento de novos artefatos ou ferramentas de apoio na concepção de novos produtos.

Porém, o desafio observado está no equilíbrio de implementar ferramentas de fácil adoção pelos times de projeto para as atividades previstas e na efetividade das respostas destes sistemas em relação às necessidades do usuário. Isso indica uma tendência apresentada pelos estudos para o desenvolvimento de sistemas mais inteligentes, que se aproximem da linguagem e dos processos mentais humanos, especialmente abordados pela IA. Da mesma forma, o aprofundamento da compreensão das necessidades do usuário e do contexto das atividades desenvolvidas nas etapas projetuais são essenciais para o desenvolvimento de novos artefatos centrados no usuário.

Inicialmente, esta análise permite compreender sob quais aspectos foram desenvolvidas as primeiras ferramentas para atender o contexto investigado e de que forma estes estudos vêm sendo conduzidos até o presente momento.

De modo geral, apesar das diferentes abordagens, todos os artefatos analisados compartilham duas características comuns que compõem estes sistemas, a saber: um método adotado para promover o reuso do conhecimento a partir do raciocínio analógico e técnicas computacionais para facilitar a recuperação do conhecimento gerado em uma base de dados devidamente estruturada. Além disso, explorar os aspectos que envolvem as funções de um produto como estratégia para o reuso do conhecimento demonstrou ser a alternativa mais utilizada pelos estudos.

Os modelos computacionais IDEAL (BHATTA; GOEL, 1996) e Kritik2 (GOEL; BHATTA; STROULIA, 1997) são considerados o ponto de partida para as primeiras ferramentas em DbA e influenciaram na sistematização dos métodos aplicados e das estratégias de solução para o processo de analogia.

As pesquisas científicas que deram origem à Functional Basis e ao Design Repository (STONE; WOOD, 2001; SZYKMAN *et al.*, 2000) foram estudos que proporcionaram meios de organizar e recuperar o conhecimento de design em

ferramentas digitais. As ferramentas que aplicaram estes estudos buscam soluções baseadas na estrutura funcional de um produto, onde a solução para cada subfunção pode surgir a partir de uma analogia com produtos existentes, de um domínio próximo ou distante. O vocabulário da FB atua como elo destes mapeamentos para que a recuperação do conhecimento seja possível. Entre as ferramentas identificadas neste contexto estão o MEMIC e o DRACULA. Já o Patent Search e o BIOsign adotaram a taxonomia FB nas suas aplicações.

Para representar o conhecimento em meio digital, a taxonomia Functional Basis (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002) demonstrou, através da sua aplicação nos estudos analisados, ser um vocabulário maduro e robusto para classificar os produtos ou sistemas em bases de conhecimento, no contexto das funções de um produto.

Conforme já descrito, o Design Repository é uma base de conhecimento em design estruturada a partir da Functional Basis, criada para armazenar as informações de projeto. Apesar de sua estrutura adequada, não houve evidências de avanços neste projeto ou utilização deste estudo após 2014. A necessidade de uma base com grande volume de informações de design de projetos já desenvolvidos é fundamental para as estratégias de analogia adotadas pelas ferramentas. A dificuldade para organizar e indexar o grande volume destas informações prévias de design em uma nova base pode ter sido um dos motivos da sua não evolução.

Por sua vez, a base de patentes americana USPTO é uma extensa fonte de informações de projeto existente que contém dados de invenções desde 1790. Porém, apesar da possibilidade de integração, a sua forma própria de indexação das informações e o grande volume de dados requer o uso de técnicas avançadas de IA para extrair a informação que atenda as necessidades de uma determinada aplicação. Entretanto, a utilização de sua base de dados pode ser identificada em estudos mais recentes: Patent Search (MURPHY *et al.*, 2014), TechNet (SARICA; LUO; WOOD, 2020) e InnoGPS (LUO; SARICA; WOOD, 2021).

É notável a tendência de uso de bases léxicas (ConceptNet, WordNet, entre outras) e técnicas de PLN para lidar com a semântica das informações, principalmente em estudos que optam por uma integração com bases de dados externas como a USPTO. Todos os estudos analisados que seguem este caminho citaram que suas iniciativas correspondem a primeiros esforços, e que precisam aplicar novas técnicas

de IA para aprimorar os resultados e desenvolver novos estudos para avaliar o uso destas ferramentas.

Para o contexto destas ferramentas em DbA, as bases léxicas permitem a classificação e relação semântica de termos do senso comum para que algoritmos ampliem a capacidade de entendimento a partir das requisições realizadas pelo usuário. A integração com estas bases associadas às técnicas de IA auxiliam para melhoria dos resultados em tarefas que envolvem o processo de raciocínio analógico. Estudos que apresentaram estes aspectos foram identificados em WordTree Express (ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011), Patent Search (MURPHY *et al.*, 2014), TechNet (SARICA; LUO; WOOD, 2020) e InnoGPS (LUO; SARICA; WOOD, 2021).

Os artefatos com inspiração na natureza seguem estratégias e modelos semelhantes às demais ferramentas, porém têm seus esforços voltados à transferência do conhecimento entre a natureza e o design de produtos. Logo, seus repositórios de conhecimento são voltados a extração e relação das informações entre estes dois contextos. Entre as ferramentas analisadas neste escopo estão o BIOsign (DETANICO, 2021), o Idea-Inspire, que gerou novas versões a partir da evolução do seu estudo (CHAKRABARTI *et al.*, 2005, 2017), DANE (GOEL, 2012) e AskNature (ASKNATURE.ORG, 2017; THE BIOMIMICRY INSTITUTE, 2008).

Entre todos os artefatos também é possível perceber o diferente grau de abstração das informações de projeto, disponível de acordo com o tipo de atividade que a ferramenta pretende auxiliar durante a etapa conceitual. Alguns destes artefatos são mais indicados para a geração de ideias em estágios iniciais da etapa conceitual, para projetos com poucas definições ainda. Outros artefatos exigem mais detalhes, quando já existe uma noção de estrutura funcional e comportamento do produto que será criado, o que permite realizar buscas por analogias mais específicas e com maior detalhe técnico. Portanto, os problemas que o artefato se propõe a resolver influenciam na seleção de quais recursos devem ser utilizados para o seu desenvolvimento. Deste modo, não há uma solução única ou recomendada para o seu desenvolvimento, mas sim a possibilidade de diferentes combinações dos recursos disponíveis para atender ao momento do processo de design pretendido.

Os artefatos também são analisados sob critérios de qualidade, a partir dos aspectos de usabilidade e de suas funcionalidades. Estas análises são captadas a

partir dos estudos que geraram os artefatos e das observações realizadas pelo autor desta pesquisa.

Em relação aos fatores de usabilidade, a maioria das interfaces gráficas do usuário analisadas apresentaram deficiências. As interfaces que utilizam somente representações textuais dificultam a interpretação dos dados nos casos aplicados. Para as atividades apoiadas por tais ferramentas, a utilização de imagens, vídeos e outros esquemas visuais na interface exercem uma influência positiva para os processos de analogia (ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011). Outro fator importante para a melhoria da interação e experiência de uso do sistema é oferecer diferentes possibilidades para o usuário explorar as informações da base de conhecimento, estabelecendo mecanismos de navegação coerentes aos processos cognitivos do indivíduo para a produção de analogias.

Entre as limitações apontadas pelos experimentos das ferramentas descritas, de modo geral, um dos aspectos percebidos está relacionado à qualidade dos resultados que os artefatos retornam a partir dos termos informados pelo usuário que, em determinados casos, foi constatado que poderiam ser mais eficientes. Por isso, as questões relacionadas à semântica são um fator importante na implementação de sistemas mais intuitivos que se aproximem da linguagem natural (FU *et al.*, 2014; ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011).

Em relação à estrutura funcional do produto para a representação do conhecimento, os participantes dos estudos de Bohm (2003) e Goel (2012) apontaram um nível elevado de complexidade para representar as soluções, geralmente ocasionado pela pouca experiência dos usuários na modelagem funcional, atividade fundamental que, se mal desempenhada, compromete a eficiência da recuperação do conhecimento nestas bases. Inclusive para os profissionais com maior experiência, a modelagem funcional não é uma tarefa trivial, exige conhecimento e habilidade durante a aplicação. Mesmo assim, é considerada uma das principais técnicas para comunicar o conhecimento em design.

Outro ponto, pouco explorado pelas ferramentas existentes, é a possibilidade de promover ambientes colaborativos que acelerem a produção e a troca de conhecimento entre os usuários. A *web*, por exemplo, proporciona a infraestrutura necessária para a implementação de ambientes deste tipo. Esta característica está diretamente relacionada com o ambiente que o artefato foi programado para ser

executado. Entre os artefatos analisados o AskNature, Design Repository, Idea-Inspire 3.0, TechNet e InnoGPS executam na *web*, o que permite oportunidades de evolução neste sentido.

Também, é relevante assinalar que nenhum estudo analisado permite qualquer integração ou possibilidade de extensão a partir dos artefatos existentes. No entanto, servem de referência para o desenvolvimento de novos artefatos através das suas propostas e aprendizado gerado.

Para sintetizar esta análise e evidenciar as características dos artefatos revisados, o Quadro 12 apresenta os pontos relevantes observados de cada artefato através dos resultados apresentados. O quadro foi elaborado conforme os critérios estabelecidos na metodologia deste estudo e as ocorrências listadas na ordem crescente da data de publicação.

Portanto, os artefatos analisados permitiram a identificação de tendências e oportunidades no desenvolvimento de novas propostas para o campo de DbA. As lacunas identificadas possibilitam explorar alternativas para dar continuidade aos estudos e artefatos gerados. Esta análise e reflexão serve como base para a definição de requisitos para o artefato deste estudo, apresentado no próximo item.

Quadro 12: Artefatos revisados.

Artefato	Objetivo	Recursos	Características de qualidade (Funcionalidade/Usabilidade)  
<b>IDEAL*</b> (BHATTA; GOEL, 1996) <b>Kitric2*</b> (GOEL; BHATTA; STROULIA, 1997)	Sugerir melhorias para o projeto de design com base no banco de soluções existente	- Modelagem SBF	 Automatiza tarefas de design  Dificuldade na modelagem SBF
<b>Design Repository</b> (BOHM; STONE; SZYKMAN, 2005)	Fornecer um repositório compartilhado de conhecimento em design	- Taxonomia FB - Base de dados própria	 Modelo robusto de base de conhecimento e ambiente compartilhado  Permite navegação na estrutura do repositório e utiliza imagens e modelos para representação de produtos  Não permite inserir soluções e não oferece mecanismos de busca
<b>Idea-Inspire 3.0</b> (CHAKRABARTI <i>et al.</i> , 2005, 2017)	Explorar estratégias de solução inspirada nas analogias da natureza	- Modelagem SBF e SAPPhIRE - Base de dados própria	 Permite a busca por modelos funcionais  Utiliza imagens e vídeos para as representações das informações
<b>MEMIC</b> (BRYANT; STONE; MCADAMS, 2008)	Sugerir alternativas de solução para o problema de projeto	- Taxonomia FB - Base de dados própria	 Automatiza a geração de alternativas para o projeto conceitual  Não permite inserir soluções  Dificuldade de interpretação dos resultados (somente textual)
<b>AskNature</b> (THE BIOMIMICRY INSTITUTE, 2008)	Explorar estratégias de solução inspiradas em analogias da natureza	- Taxonomia Biomimicry - Base de dados própria	 Ambiente <i>web</i> compartilhado  Interface permite explorar a taxonomia e realizar buscas  Não permite inserir soluções
<b>WordTree Express</b> (ORIAKHI; LINSEY; PENG, 2011)	Estimular o aumento do número de analogias para o método WordTree	- Árvores hierárquicas - Integração Wordnet	 Utiliza recursos semânticos  Informação somente textual e não recupera informações anteriores  Necessita de <i>softwares</i> terceiros para entregar o resultado do método
<b>DANE</b> (GOEL, 2012)	Explorar estratégias de solução inspiradas em analogias da natureza	- Modelagem SBF - Base de dados própria	 Informações detalhadas sobre as analogias da natureza  Dificuldade na modelagem SBF
<b>DRACULA</b> (LUCERO, 2014)	Sugerir analogias com base nas funções críticas a partir de parâmetros de engenharia	- Taxonomia FB - Base de dados própria	 Utiliza estratégias de analogia considerando parâmetros de engenharia  Não informa como utilizar a analogia  Informação somente textual
<b>Patent Search</b> (MURPHY <i>et al.</i> , 2014)	Sugerir soluções para o problema de projeto com base na analogia de patentes	- Taxonomia FB - Integração Wordnet - Base de patentes USPTO	 Utiliza uma base expressiva de patentes  Utiliza recursos semânticos  Informação somente textual
<b>Retriever</b> (HAN <i>et al.</i> , 2018)	Gerar ideias através do método de analogia proporcional para os estágios iniciais de projeto	- Analogia proporcional e ontologias - Integração ConceptNet	 Utiliza uma base expressiva de patentes  Utiliza recursos semânticos  Interface com poucos recursos
<b>TechNet</b> (SARICA; LUO; WOOD, 2020)	Gerar uma estrutura de rede semântica a partir dos termos de classificação das patentes da USPTO	- Árvores hierárquicas - Base de patentes USPTO	 Utiliza uma base expressiva de patentes  Representação visual através de árvores
<b>InnoGPS</b> (LUO; SARICA; WOOD, 2021)	Explorar estímulos de design a partir de um banco de dados de patentes nos níveis de conceito, documento e campo	- Árvores hierárquicas - Base de patentes USPTO	 Utiliza uma base expressiva de patentes  Mapa em rede para representar a distância e relevância entre os conceitos
<b>BIOsign</b> (DETANICO, 2021)	Explorar estratégias de solução inspiradas em analogias da natureza	- Taxonomia FB e outras - Base de dados própria	 Ambiente <i>web</i> compartilhado  Interface permite explorar a taxonomia e realizar buscas  Permite inserir soluções  Requer outros recursos para executar os primeiros passos do método

Fonte: o autor.

#### **4.4 PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO PARA RESOLVER O PROBLEMA ESPECÍFICO**

A revisão da literatura e o resultado obtido da análise dos artefatos existentes através da RSL serviram como fonte para delinear o escopo do artefato proposto e suas fronteiras. Os requisitos identificados compreendem tanto os aspectos para a definição do método para o reuso do conhecimento baseado em DbA, quanto da ferramenta computacional, esta última, responsável pela execução do artefato em seu ambiente.

Por isso, o método idealizado deve considerar as questões computacionais para o seu funcionamento. A proposição do artefato, portanto, reúne um conjunto de definições que descrevem o método para o reuso do conhecimento e os requisitos iniciais necessários para o desenvolvimento da ferramenta computacional para atender aos objetivos desta pesquisa.

Conforme descrito na fundamentação teórica, a atividade de modelar funcionalmente o produto é um processo iterativo e decisivo para a busca de soluções na etapa de geração de alternativas no PDP. Geralmente, a busca por princípios de solução para atender uma determinada função de um novo produto inicia simultaneamente à modelagem funcional. Logo, permitir o projetista integrar ambas as atividades em uma única interface, apoiada por funcionalidades que permitam o reuso do conhecimento, com o apoio de uma ferramenta computacional, pode ser uma oportunidade de contribuir para o processo.

Em seguida, a atividade de desenvolver as alternativas de solução exige dos projetistas a combinação dos diversos princípios de solução encontrados para formar a configuração da arquitetura de uma solução e, deste modo, gerar o maior número possível de conceitos. A matriz morfológica é uma ferramenta consolidada para esta atividade e seu princípio de uso serve como referência para o artefato proposto.

Além disso, atender estas atividades permite o artefato digital registrar as informações geradas durante o uso pelas equipes de projeto em uma base de dados. O armazenamento adequado destas informações torna possível sua futura recuperação, o que possibilita o reuso do conhecimento gerado de acordo com as estratégias adotadas.

Logo, o método proposto deve apoiar as atividades investigadas da etapa de geração de alternativas do PDP (ROZENFELD *et al.*, 2006), conforme identificadas no item 2.1.2 deste trabalho. As atividades de (i) modelar funcionalmente o produto, (ii) desenvolver princípios de solução para as funções e (iii) desenvolver as alternativas de solução, orientam a sequência dos passos definidos. A compreensão destas atividades que compõe o ambiente externo do artefato, permite identificar as oportunidades para a aplicação das estratégias de reuso do conhecimento baseadas em DbA. De forma geral, o artefato deve ser capaz de auxiliar o projetista no seguinte percurso:

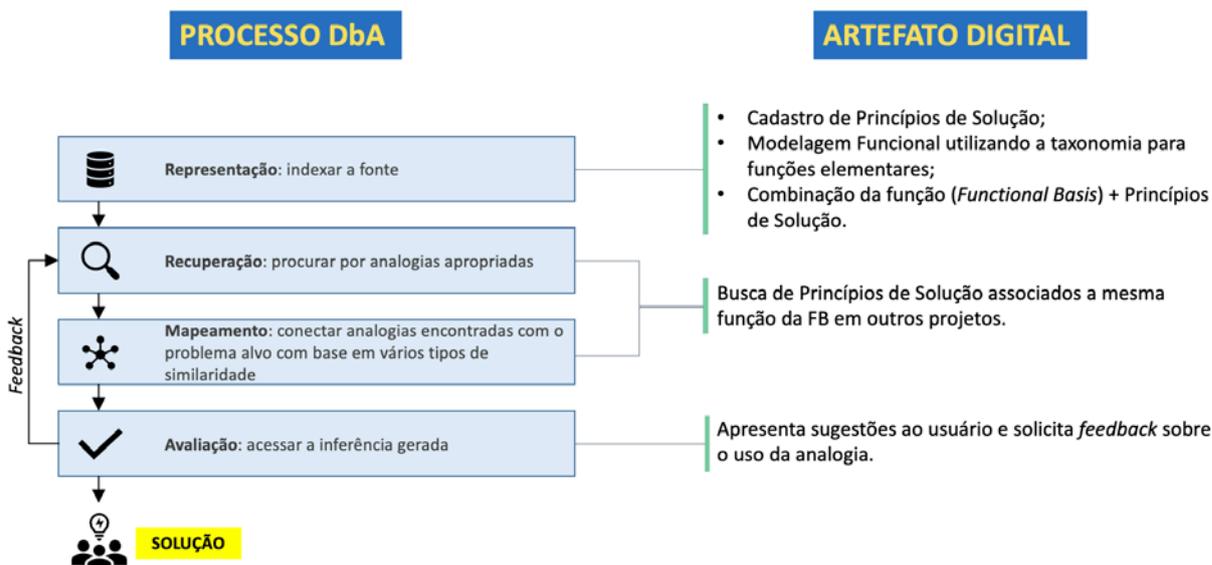
- i. formular a função global do produto;
- ii. modelar funcionalmente o produto através de uma árvore funcional;
- iii. identificar as funções elementares que podem ser associadas a um princípio de solução;
- iv. buscar um ou mais princípios de solução para cada função elementar;
- v. apresentar princípios de solução e sugerir soluções a partir de analogias com outros sistemas;
- vi. associar um ou mais princípios de solução para cada função elementar e registrar o *feedback* sobre as analogias sugeridas, quando houver;
- vii. armazenar combinações para sugerir novas analogias;
- viii. combinar os princípios de solução selecionados e funções para gerar uma ou mais alternativas.

Outro ponto relevante para esta pesquisa é o enquadramento do artefato produzido no contexto do campo de DbA. Para isso, a Figura 44 apresenta o processo tradicional DbA apresentado por Jiang *et al.* (2021) e a relação de suas etapas com as funcionalidades previstas do artefato.

As características mapeadas dos artefatos similares, através do Quadro 12, apresentado anteriormente, auxiliou na formação dos requisitos iniciais de *software*. As características identificadas foram agrupadas de acordo com as semelhanças existentes no contexto de cada artefato.

Deste modo, foram definidos os requisitos e associados a estes agrupamentos, representado pela Figura 45.

Figura 44: Relação entre o processo DbA e o artefato digital.



Fonte: o autor.

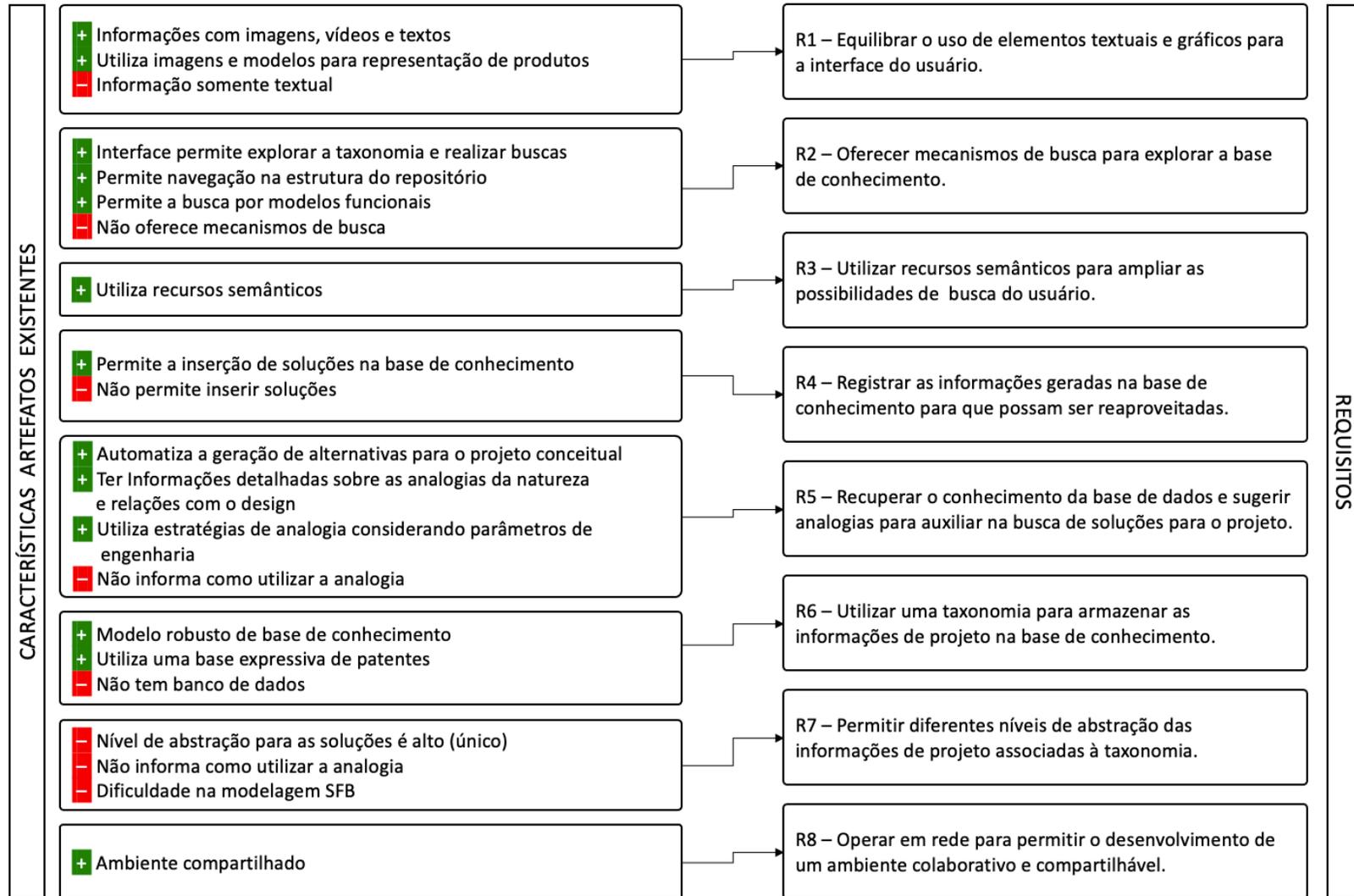
Em relação ao requisito R8 da Figura 45, o artefato desenvolvido pretende proporcionar um ambiente favorável para a colaboração. Para isso, a tecnologia aplicada no seu desenvolvimento será compatível com a *web*, o que facilita o acesso dos usuários através da internet. A própria característica deste estudo, sob a ótica do reuso do conhecimento, pressupõe a colaboração dos seus usuários. Apesar de não ser o foco deste trabalho, o artefato proposto gera oportunidades para que o desenvolvimento desta temática possa ser explorado em trabalhos futuros.

Neste momento, a combinação entre o conhecimento da revisão da literatura, a conscientização do problema, o método idealizado e os requisitos iniciais gerados deram origem a proposta do artefato digital.

Considerando este cenário, o Apêndice D (p. 206), apresenta o protótipo criado para a proposição do artefato. A sequência de telas simula o fluxo de utilização do usuário em uma suposta situação de uso. Também, para cada tela, há um descritivo sobre as funcionalidades propostas.

O protótipo desenvolvido contou com a colaboração de pesquisadores do grupo de pesquisa do PGDesign. A partir da contextualização do projeto de pesquisa, os colaboradores auxiliaram no desenho da proposta com sugestões para as interações do usuário, funcionalidades existentes, estratégias de busca, entre outras.

Figura 45: Requisitos iniciais do artefato.



Fonte: o autor.

Este protótipo foi apresentado a um grupo de especialistas com o objetivo de validar o modelo e realizar os ajustes necessários para avançar para a etapa de projeto do artefato.

#### **4.4.1 Grupo Focal**

A realização deste grupo focal teve como objetivo apresentar a proposição do artefato e contribuir com o seu refinamento e assim avançar para a etapa de projeto.

O encontro teve a participação de cinco especialistas do grupo de pesquisa do PGDesign, além do pesquisador, na figura de moderador, e seu orientador. A formação e atuação dos integrantes contou com: dois professores doutores de pós-graduação e graduação, dois professores doutores da graduação e um pesquisador doutorando. Todos envolvidos com atividades relacionadas a docência e pesquisas na área do Design, especialmente no processo de desenvolvimento de produtos. Por este motivo, todas as pessoas se conheciam, o que dispensou a etapa de apresentações.

Inicialmente, os participantes receberam um termo de consentimento para assinatura (Apêndice A, p. 202). Também, foram informados que a dinâmica seria gravada (áudio e vídeo), a partir daquele momento, para posterior análise e coleta de dados de forma qualitativa. A atividade teve duração de uma hora e trinta minutos. Conforme o roteiro proposto, que pode ser consultado no Apêndice B (p. 204), a primeira parte esclareceu o objetivo do grupo focal, a contextualização da pesquisa e o artefato que estava sendo proposto.

A seguir, o protótipo de telas de baixa fidelidade para o artefato foi apresentado ao grupo, a partir do material do Apêndice D (p. 206). Através de um caso de uso proposto para o grupo focal, para cada tela apresentada, o pesquisador explicou as possibilidades de interação do usuário, como o sistema processaria as entradas e saídas dos dados e a justificativa da solução proposta para o contexto em que o artefato deve ser inserido. Neste momento, os participantes iniciaram suas contribuições através de questionamentos e sugestões sobre o que estava sendo apresentado. Houve um debate espontâneo durante toda a apresentação entre todos os participantes sobre aspectos relacionados ao ambiente interno e externo do artefato.

Ao final da apresentação, os participantes avaliaram positivamente as possibilidades de contribuição do artefato para o processo de design. Além disso, surgiram ideias para o desenvolvimento de novas pesquisas a partir deste trabalho, algumas delas registradas no capítulo final desta pesquisa. Durante o encerramento do grupo focal, o moderador agradeceu a participação de todos e anunciou que um novo encontro deveria ocorrer com o objetivo de validar o artefato desenvolvido.

A partir da gravação do encontro, foi realizado processo de análise dos dados coletados e compiladas todas as contribuições dos participantes. A fim de organizar os dados e facilitar seu aproveitamento, as informações foram agrupadas em categorias considerando o contexto do artefato: ambiente interno e externo. O Quadro 13 apresenta este conteúdo.

Quadro 13: Contribuições dos participantes.

(continua)

Contexto do Artefato	Contribuição dos participantes	
<b>Ambiente Interno</b>	C1	Durante a modelagem funcional é importante o artefato exibir os requisitos de projeto e usuário, pois estes têm influência direta nas decisões de projeto.
	C2	A modelagem funcional é uma atividade iterativa em que o projetista testa várias possibilidades durante o seu desenvolvimento. Portanto, a manipulação da estrutura da árvore funcional deve ser flexível.
	C3	A utilização da taxonomia no idioma português facilitaria o uso no contexto dos usuários deste idioma. Mesmo assim, ter a possibilidade de manter no sistema o idioma original (inglês).
	C4	Permitir o usuário informar as entradas e saídas (energia, material ou fluxo) de cada subfunção elaborada na estrutura funcional.
	C5	Permitir a inclusão de novos princípios de solução, caso o usuário não encontre algum apropriado no sistema. Os princípios de solução têm papel decisivo no grau de inovação para a solução que está sendo desenvolvida.
	C6	Registrar as atividades do usuário permite gerar estatísticas de uso para cada princípio de solução, dos itens da taxonomia e suas combinações.
	C7	As analogias propostas pelo artefato devem estar facilmente reconhecíveis para o projetista.
	C8	O artefato pode contribuir para promover a sistematização dos processos e o registro de conhecimento. Este aspecto tem grande relevância também para o âmbito educacional para estimular o uso de processos sistemáticos no início da formação de profissionais.

Quadro 13: Contribuições dos participantes.

(conclusão)

Contexto do Artefato	Contribuição dos participantes	
<b>Ambiente Externo</b>	C9	Projetistas menos experientes e estudantes tem dificuldade de adotar ferramentas durante a etapa conceitual. Já projetistas mais experientes não tanto, pois possuem mais familiaridade com processos sistematizados. A dificuldade de modelar funcionalmente o produto e a percepção que o uso de ferramentas pode prejudicar o processo criativo estão entre os principais motivos apontados.
	C10	Artefatos com este propósito são de extrema importância para auxiliar a tomada de decisão de projetos na etapa conceitual.
	C11	O artefato poderia estar integrado a um ambiente com outras ferramentas que atendam outras etapas do processo de design. Isto possibilitaria a integração do fluxo de informações de todo o ciclo de projeto. Esta contribuição está relacionada com a proposta do projeto Virtus (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010).
	C12	O artefato deve apresentar de forma clara ao projetista as atividades que estão sendo apoiadas. Também, os limites que a ferramenta pode contribuir para a etapa conceitual.
	C13	O artefato pode auxiliar projetos de maior complexidade. As funcionalidades do artefato e sua podem facilitar a tomada de decisão entre sistemas integrados ou modularizados. Este aspecto tem diversos impactos para o desenvolvimento do projeto.

Fonte: o autor.

As contribuições confirmam a relevância do trabalho sob o ponto de vista dos especialistas. A realização do grupo focal foi de extrema importância para reforçar as particularidades do ambiente externo do artefato e aprimorar os requisitos para as características internas do artefato proposto.

A próxima etapa consiste no projeto do artefato. Todas as saídas geradas pelas diversas etapas desta pesquisa até a proposição do artefato são transferidas para a fase de projeto e adaptadas ao processo de desenvolvimento de *software* adotado neste trabalho.

#### 4.5 PROJETO DO ARTEFATO

O projeto do artefato inicia a partir das definições do ambiente interno do artefato e do contexto em que irá operar. Nesta etapa devem ser descritos todos os procedimentos de construção e avaliação do artefato (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

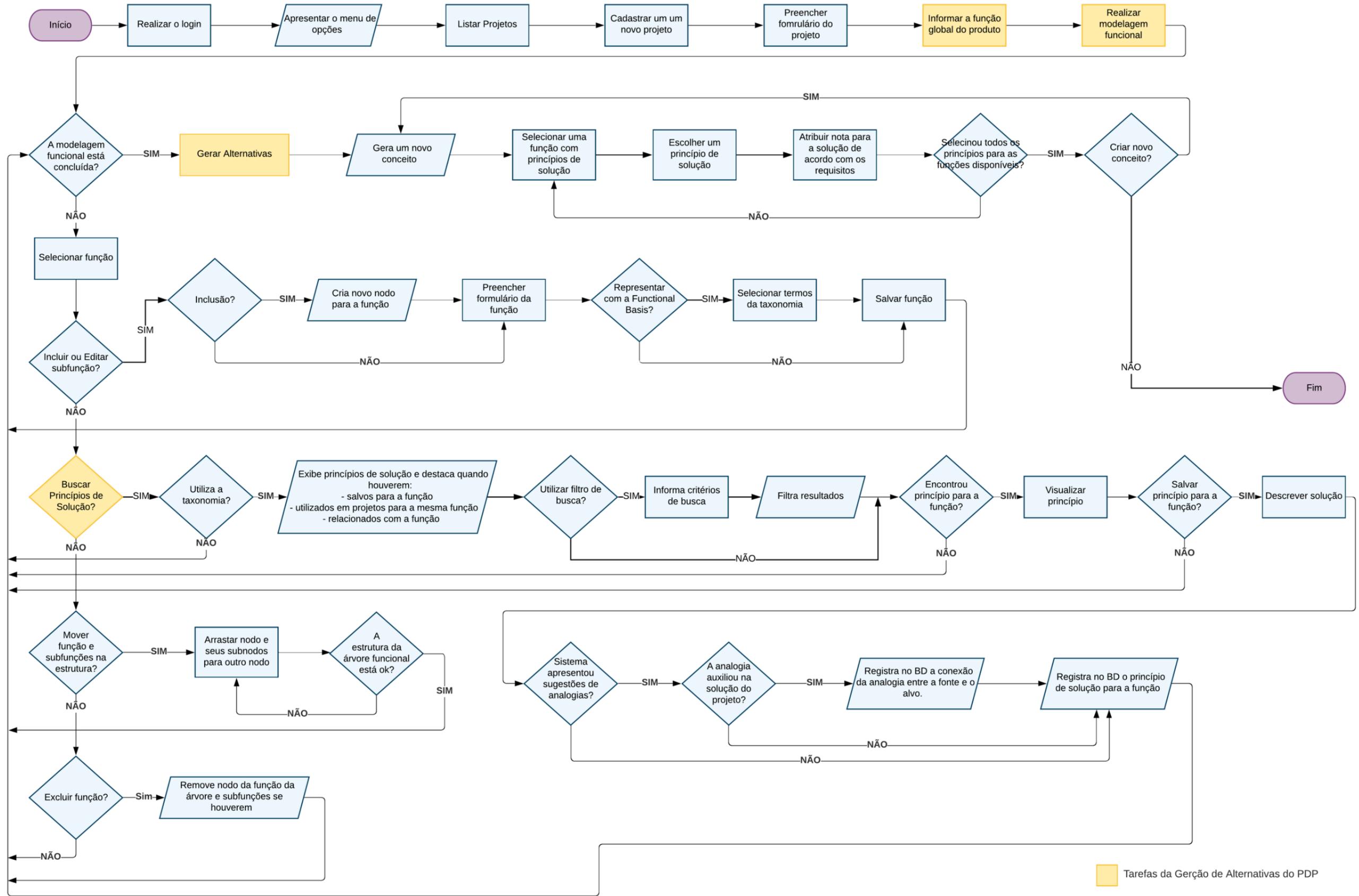
O projeto prevê a aplicação do método proposto através do desenvolvimento do artefato digital para sua operacionalização. Logo, para atender ao escopo do artefato e apoiado no processo de desenvolvimento de *software* através dos métodos ágeis e suas práticas, esta seção aborda as seguintes atividades de projeto:

- A definição de personas para auxiliar na delimitação dos perfis de usuário do artefato;
- A escrita das histórias de usuário e seu mapeamento contendo o escopo completo das funcionalidades do artefato digital a partir dos requisitos gerados durante a investigação;
- A elaboração de uma ontologia para guiar a construção de uma base de dados que permita o reuso do conhecimento no domínio explorado;
- A estruturação da base de dados para armazenar o conhecimento mapeado pela ontologia;
- E as tecnologias selecionadas para a construção dos elementos que compõe o artefato digital.

Inicialmente, o protótipo de telas (Apêndice D, p. 206) apresentado ao grupo de especialistas e os ajustes realizados a partir de suas contribuições (Quadro 13) é transferido para um fluxograma. A Figura 46 corresponde ao fluxo principal do artefato digital e evidencia a sequência de atividades e a lógica do seu algoritmo para atender ao método proposto. No esquema são destacados em amarelo os processos que correspondem às tarefas de geração de alternativas do PDP.

O fluxograma tem o objetivo de representar visualmente o funcionamento do ambiente interno do artefato e seus pontos de interação com o ambiente externo com foco somente nas funcionalidades relacionadas às atividades previstas do PDP para o recorte desta pesquisa. Este material serve como base para o detalhamento das histórias de usuário e o mapeamento de outras histórias necessárias para o seu desenvolvimento completo. Entretanto, antes de iniciar a escrita das histórias de usuário, são definidos os perfis de usuário do artefato digital através de personas.

Figura 46: Fluxograma artefato para o método DbA.



Fonte: o autor.

### 4.5.1 Personas

A partir da compreensão do ambiente externo do artefato e do desenho inicial do seu ambiente interno, é possível identificar os tipos de usuários e as suas necessidades observadas neste contexto. O uso de personas permite comunicar facilmente o perfil dos utilizadores e registrar as expectativas de cada personagem em relação ao artefato, auxiliando a construção das histórias de usuário.

Durante a investigação foi observada a participação de equipes de projeto multidisciplinares durante o processo de design. No entanto, as atividades da etapa conceitual no desenvolvimento de produtos abordados por esta pesquisa envolvem com mais intensidade os campos da Engenharia e do Design. Além disso, o conhecimento técnico e a experiência do profissional influenciam diretamente no resultado do uso das ferramentas disponíveis que podem ser aplicadas nas atividades previstas.

Com base nestas premissas, para o artefato projetado são identificados e definidos dois tipos de usuários: o **Projetista** e o **Projetista Especialista**. O Quadro 14 apresenta as personas para este artefato.

Quadro 14: Personas do artefato digital.

(continua)

Persona	 FOTO E NOME	 DETALHES	 OBJETIVOS
Projetista Especialista	 Clara	Clara é doutora em Design e consultora na área de inovação de produtos para grandes organizações. É docente em disciplinas de pós-graduação do curso de Design com foco na área de desenvolvimento de produtos em uma universidade federal. Participa de grupos de pesquisa no estudo de novas ferramentas de gestão do conhecimento e de sistematização dos processos de design.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerar novos conhecimentos para contribuir com os processos de inovação;</li> <li>- Aproximar as pesquisas científicas realizadas no âmbito acadêmico para a indústria;</li> <li>- Buscar formas de compartilhar o conhecimento para que este possa ser reaproveitado nos processos de design;</li> <li>- Desenvolver ferramentas que automatize e agilize os processos de desenvolvimento de produto.</li> </ul>

Quadro 14: Personas do artefato digital.

(conclusão)

<b>Projetista</b>	 Roberto	Roberto é recém graduado em engenharia e trabalha na área de P&D de uma empresa multinacional de produtos para a cozinha. É integrante de um time multidisciplinar responsável pelo desenvolvimento de novos produtos. Participa de comunidades que trocam experiências sobre técnicas e ferramentas para gerar inovação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criar produtos inovadores e atraentes para os usuários;</li> <li>- Ser um especialista na área de desenvolvimento de produtos;</li> <li>- Ser referência como profissional que domina as técnicas e ferramentas para concepção de novos produtos na sua área;</li> <li>- Encontrar ferramentas que auxiliem o seu trabalho para buscar soluções originais para os produtos que a empresa produz;</li> <li>- Achar formas de ter acesso mais fácil ao conhecimento gerado para aplicar no seu trabalho.</li> </ul>
-------------------	--	---	--

Fonte: o autor.

Estas duas personas representam os dois perfis de usuários do artefato digital. Cada persona serve como um guia para auxiliar na especificação das funcionalidades do artefato, que devem contribuir com seus objetivos. A seguir, para detalhar e registrar estas especificações são desenvolvidas as histórias de usuário para o artefato digital.

#### 4.5.2 Histórias de Usuário e *Backlog* do Produto

As histórias do usuário definem as funcionalidades que compõem o artefato digital. Todas as histórias desenvolvidas formam o *Backlog* do Produto (*Product Backlog*) que representa todo o trabalho que deve ser realizado na construção do artefato digital.

Cada história de usuário é escrita a partir do ponto de vista da persona e suas necessidades em relação ao artefato. Cabe ao autor deste trabalho realizar este levantamento e preencher todos os atributos necessários para que cada história seja considerada válida para o desenvolvimento.

Entre os atributos que devem ser preenchidos, os critérios de aceite atestam se o que foi desenvolvido está em conformidade, caso contrário a história não é considerada entregue. Neste estudo, para as histórias relacionadas com a etapa de geração de alternativas do PDP, os critérios de aceite também devem ser aproveitados para validar o artefato na etapa de validação.

Durante as análises de projeto foram identificadas necessidades de desenvolvimentos de módulos extras para suportar o artefato. O artefato digital requer funcionalidades de manutenção do seu ambiente, como por exemplo, gestão dos usuários do sistema, autenticação de usuários e permissões de acesso, cadastros de dados relevantes para o ambiente, entre outros. Todos estes itens devem ser detalhados e registrados como parte do escopo de desenvolvimento do artefato digital.

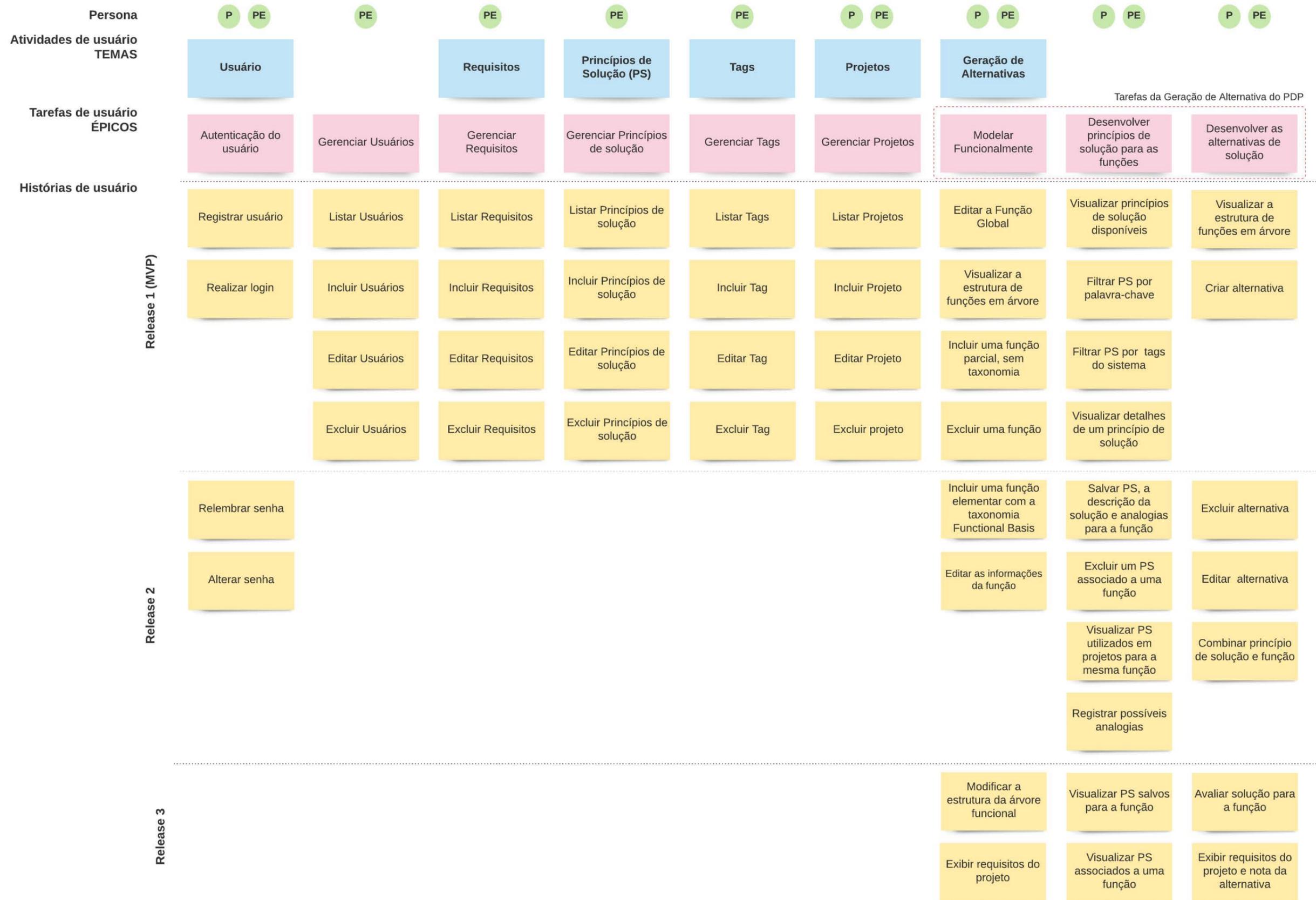
As *releases* do artefato digital foram divididas em três entregas. Para cada *release* foram definidas as histórias que fazem parte do seu desenvolvimento de acordo com os critérios estabelecidos pelo autor deste trabalho. No contexto deste projeto, fez sentido gerar partes do sistema que cumprissem um determinado objetivo para o artefato e independentes para serem testadas e validadas internamente.

Para organizar o trabalho, o mapeamento das histórias de usuário é aplicado e apresenta os temas, épicos e histórias de usuário definidas para o artefato digital. A Figura 47 exhibe o mapeamento realizado, as personas do artefato associadas a cada conjunto de histórias, bem como a divisão das histórias em *releases*. Também, são destacados os épicos relacionados com as tarefas da fase de geração de alternativas do PDP e suas histórias.

Portanto, esta seção gerou duas saídas: o mapeamento das histórias de usuário (Figura 47) e o *Product Backlog* (Apêndice E, p. 208) com os atributos detalhados de cada história.

Com base nas necessidades evidenciadas pelas funcionalidades do artefato e para atender as questões de organização e recuperação do conhecimento, a próxima etapa compreende a elaboração da ontologia do artefato digital.

Figura 47: Mapeamento das Histórias de Usuário do artefato.



Fonte: o autor.

### 4.5.3 Ontologia

A elaboração de uma ontologia permite facilitar a representação do conhecimento do domínio explorado e estabelecer as relações e regras entre os conceitos existentes, necessários para formar uma base de conhecimento. No caso deste trabalho, é um artefato que formaliza estes pontos para suportar o reuso do conhecimento. Também, contribui para a estruturação da base de dados do artefato digital.

O uso de taxonomias para compor uma ontologia favorece os processos de manipulação das informações através da padronização da linguagem do domínio mapeado. A revisão da literatura identificou a taxonomia Functional Basis (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002) que é aplicada em artefatos e repositórios de design para representar as funcionalidades de um produto, foco deste estudo. Alinhada às necessidades desta pesquisa, a FB é adotada e faz parte da ontologia proposta.

Para guiar o desenvolvimento desta ontologia, a proposta de Noy e McGuinness (2005) conduziu esta atividade através dos passos descritos na metodologia deste trabalho e os resultados apresentados a seguir:

- i. **determinar o domínio e o alcance da ontologia:** através de um conjunto de perguntas básicas sobre o propósito da ontologia. As perguntas e respostas para a ontologia proposta são apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15: Alcance da ontologia.

Pergunta	Resposta
<b>Qual o domínio que a ontologia deve abranger?</b>	A representação funcional e a combinação de princípios de solução para a geração de alternativas no processo de design.
<b>Para que a ontologia será utilizada?</b>	Será aplicada ao domínio do artefato digital gerado por este trabalho para definir as regras e relações entre os conceitos utilizados e orientar a estruturação de sua base de dados.
<b>Que tipo de perguntas a informação na ontologia deverá prover respostas?</b>	A ontologia deve ser capaz de responder as perguntas relacionadas ao domínio da ontologia e do contexto do artefato, descritas pelos requisitos do artefato nas histórias de usuário.
<b>Quem usará e manterá a ontologia?</b>	A ontologia desenvolvida será interna ao artefato. O desenvolvimento de novas funcionalidades para o artefato exige a revisão e possíveis alterações na ontologia, realizadas pelo pesquisador.

Fonte: o autor.

A seguir, são formuladas as perguntas de competência, compostas por questões que a ontologia deve ser capaz de responder. As questões elaboradas para a ontologia focam nos aspectos específicos do domínio, apresentadas no Quadro 16.

Quadro 16: Perguntas de competência da ontologia.

Pergunta	Descrição da Pergunta
P1	Qual a função global do produto de um projeto?
P2	Quais as funções parciais e elementares associadas a uma função global?
P3	Quais as entradas e saídas de uma função?
P4	Quais os princípios de solução disponíveis para uma função que utiliza a taxonomia?
P5	Quais os princípios de solução sugeridos à uma determinada função elementar?
P6	Quais os princípios de solução utilizados em outros projetos para uma função elementar?
P7	Quais os termos disponíveis na taxonomia para as funções elementares de um produto?
P8	Quais os sinônimos para cada termo da taxonomia?
P9	Qual o rótulo denominado pelo projetista para uma função elementar em um projeto?
P10	Quais as analogias estabelecidas para um projeto?

Fonte: o autor.

- ii. **considerar a reutilização de ontologias existentes:** a partir da RSL e dos artefatos analisados não foram identificadas formalizações explícitas de uma ontologia que pudessem ser reaproveitadas para este artefato. Porém, alguns estudos permitiram aplicar o conhecimento gerado em contextos semelhantes. O estudo do Design Repository (SZYKMAN; SRIRAM, 2006) apresentou uma base de conhecimento em design que utiliza o vocabulário controlado da Funcional Basis (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002). Através do seu modelo e da aplicação da taxonomia, o Design Repository contribuiu como exemplo para a estrutura da ontologia desta pesquisa.
- iii. **enumerar termos importantes para a ontologia:** a partir do domínio investigado, foram elencados os principais termos utilizados nas atividades relacionadas, registradas no Quadro 17.

Quadro 17: Lista de termos da ontologia.

Lista de termos importantes		
Ação	Objeto da Ação	Fluxo de Saída
Projetista	Geração de Alternativas	Tag
Projetista Especialista	Modelagem Funcional	Princípios de Solução
Requisito de Projeto	Função Global	Dispositivo
Requisito de Usuário	Taxonomia	Princípio Físico
Projeto Conceitual	Função	Functional Basis
Função Parcial	Subfunção	Sinônimos
Processo de design	Fluxo de Entrada	Função elementar
Efeito físico	Analogia	Projeto

Fonte: o autor.

- iv. **definir as classes e as suas hierarquias:** foi realizado um processo combinado (*top-down* e *bottom-up*) a partir dos conceitos identificados. Inicialmente, os termos listados auxiliaram na identificação das classes. As classes, por sua vez, foram organizadas em termos de níveis para estabelecer as relações hierárquicas entre elas;
- v. **definir as propriedades das classes:** após a identificação das classes, foram estabelecidas as propriedades para cada entidade, considerando os dados necessários para que a ontologia seja capaz de fornecer as respostas previstas;
- vi. **definir as facetas das propriedades:** para cada propriedade foi definido o tipo de valor e a cardinalidade existente entre os relacionamentos.
- vii. **criar as instâncias:** o último passo consiste em criar as instâncias individuais das classes na hierarquia. Para a ontologia desenvolvida é criada a instância de uma nova função elementar para a modelagem funcional de um projeto de produto. O preenchimento dos atributos para a classe “Elementar” pode ser observado a seguir:
  - **Projeto:** Descascador de Batatas (instância da classe “Projeto de Produto”);
  - **Função pai:** Remover a Casca (instância da classe “Parcial”);
  - **Título:** Cortar a Casca;
  - **Ação:** Remover (instância da classe “FB Ação”);
  - **Objeto da ação:** Sólido (instância da classe “FB Objeto da Ação”);

- **Entrada:** Batata com casca;
- **Saída:** Batata sem casca e a casca.

Para os passos (iv), (v) e (vi) o Quadro 18 apresenta o trabalho desenvolvido para a definição das classes, propriedades e suas facetas.

Quadro 18: Lista de classes da ontologia, seus relacionamentos e propriedades.

(continua)

#	Classe	Descrição e Relacionamentos	Propriedades
1	Projetista	É o perfil do usuário que vai acessar o artefato. Superclasse de #2; pode ter #3.	- nome: <i>String</i> - email: <i>String</i> - senha: <i>String</i> - ativo: <i>Boolean</i>
2	Especialista	É uma especialização do perfil projetista para o controle de permissão de acessos ao sistema. Subclasse de #1.	
3	Projeto de Produto	É o registro do projeto de um produto. Tem #1 #4 #6 #18.	- nome: <i>String</i> - descrição: <i>String</i> - imagem: <i>String</i> - tags: <i>Instance</i> #5 - requisitos: <i>Instance</i> #4 - membros: <i>Instance</i> #1
4	Requisito	São os requisitos que podem ser utilizados em mais de um projeto. Tem #3; pode ter #5.	- nome: <i>String</i> - descrição: <i>String</i> - tipo: <i>Enumerated</i> - tags: <i>Instance</i> #5
5	Tag	São um meio de classificação que permite ampliar as possibilidades de buscas do usuário. Pode ter #4 #14.	- nome: <i>String</i> - descrição: <i>String</i>
6	Modelagem Funcional	Agrupa as funções de uma estrutura funcional associada a um projeto de produto. Classe agregadora de #7; tem #3 #8 #10; pode ter #9.	- projeto: <i>Instance</i> #3; - global: <i>Instance</i> #8; - parcial: <i>Instance</i> #9; - elementar: <i>Instance</i> #10;
7	Função	Representa todos os tipos de funções. Parte de #6; superclasse de #8 #9 #10.	- título: <i>String</i> - entrada: <i>String</i> - saída: <i>String</i> - descrição: <i>String</i> - parcial: <i>Instance</i> #9 - elementar: <i>Instance</i> #10
8	Global	É a Função Global do produto. Subclasse de 7; tem #10; pode ter #9.	
9	Parcial	É a Função Parcial do produto. Subclasse de 7; tem #8; pode ter #9 #10.	- função pai: <i>Instance</i> #7

Quadro 18: Lista de classes da ontologia, seus relacionamentos e propriedades.

(conclusão)

#	Classe	Descrição e Relacionamentos	Propriedades
10	Elementar	É a Função Elementar do produto que pode ser associada à taxonomia e aos princípios de solução. Subclasse de 7; tem #11 #12; pode ter #9 #10 #14 #18.	- função pai: <i>Instance</i> #7 - ação: <i>Instance</i> #12 - objeto da ação: <i>Instance</i> #11
11	FB Objeto da Ação	São os termos da taxonomia para o objeto da ação. Tem #10; tem #13.	- nome: <i>String</i> ; - sinônimos: <i>String</i> ; - descrição: <i>String</i> ;
12	FB Ação	São os termos da taxonomia para a ação. Tem #10; tem #13.	- nome: <i>String</i> ; - sinônimos: <i>String</i> ; - descrição: <i>String</i> ;
13	Taxonomia Funcional Basis	São os termos da taxonomia <i>Funcional Basis</i> . É superclasse de #11 e #12.	- ação: <i>Instance</i> #12 - objeto da ação: <i>Instance</i> #11
14	Princípio de Solução	São os princípios de solução para as funções elementares. Pode ter #5 #10 #16;	- nome: <i>String</i> - descrição: <i>String</i> - dispositivo: <i>String</i> - efeito físico: <i>String</i> - imagem: <i>String</i> - tags: <i>Instance</i> #5
15	Alternativa	São as alternativas de solução geradas pelo artefato. Agrega #16; tem #3.	- nome: <i>String</i> ; - descrição: <i>String</i> ; - projeto: <i>Instance</i> #3;
16	Combinação	É a combinação entre um princípio de solução e uma função. A combinação pode ser avaliada para cada requisito do projeto. É parte de #15; tem #17 #14 #10.	- princípio de solução: <i>Instance</i> #14 - função elementar: <i>Instance</i> #10
17	Avaliação	É a nota de uma combinação relacionada a um requisito. Tem #16;	- função elementar: <i>Instance</i> #10 - score: <i>Number</i> ;
18	Analogia	Armazena uma conexão entre projetos para uma função. Tem #3 #10;	- função elementar: <i>Instance</i> #10 - alvo: <i>Instance</i> #3 - fonte: <i>Instance</i> #3

Fonte: o autor.

O processo de elaboração da ontologia permitiu a organização do conhecimento e orientou a estruturação da base de dados utilizada pelo artefato. A ontologia completa pode ser visualizada na Figura 48 através da sua representação em UML, a partir da proposta de Cranefield (1999).



#### 4.5.4 Base de conhecimento

A base de conhecimento é construída de acordo com as necessidades de armazenamento e recuperação das informações do artefato digital, registradas nas histórias de usuário e na ontologia proposta. Para isso, é adotada uma base de dados e definida sua estrutura.

Para esta pesquisa, o estudo que gerou o artefato Design Repository (SZYKMAN; SRIRAM, 2006) demonstrou partes da implementação da sua estrutura e do uso da Funcional Basis (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002) para representar as funcionalidades de um produto em base de dados. Apesar dos objetivos semelhantes ao deste estudo, sua estrutura não foi replicada, pois existem diferenças entre seus elementos e relacionamentos no contexto aplicado. Além disso, o nível de abstração em relação às informações de projeto em ambos os artefatos é distinto. Mesmo assim, o estudo serviu de exemplo e base para a construção de uma nova estrutura.

A partir da ontologia desenvolvida foi realizada a transferência das classes, suas propriedades e relacionamentos para entidades com atributos e chaves de relacionamento em uma estrutura de banco de dados relacional. Por este motivo, a estrutura do banco de dados é muito semelhante à representação da ontologia.

A seguir, são apresentadas as tecnologias utilizadas para construir o artefato digital.

#### 4.5.5 Tecnologias utilizadas no artefato

As tecnologias para desenvolver o artefato digital foram avaliadas e adotadas de acordo com os requisitos de projeto do artefato. Além disso, duas premissas básicas orientaram esta seleção: a preferência por tecnologias gratuitas e aplicáveis para o ambiente *web*.

Algumas tecnologias aplicadas no projeto Inspædia foram reutilizadas para este desenvolvimento. O *framework* Laravel demonstrou excelente produtividade no desenvolvimento e boa performance para a aplicação. Outro elemento foi o *framework* Bootstrap para o desenvolvimento do *front-end*, que corresponde à interface gráfica do usuário.

As tecnologias adotadas para a construção do artefato digital foram as seguintes:

- **Laravel PHP:** *framework* em PHP de código aberto para auxiliar o desenvolvimento de aplicações *web* de forma estruturada e segura. Disponível em <https://laravel.com/>;
- **HTML:** *Hyper Text Markup Language* é uma linguagem de marcação de hipertexto para desenvolver páginas na internet;
- **CSS:** *Cascading Style Sheets* é uma "folha de estilos" utilizada para definir a apresentação de páginas da internet em conjunto com a linguagem HTML;
- **Javascript:** linguagem de programação interpretada estruturada utilizada para gerar páginas interativas que executam do lado do cliente;
- **Orgchart:** biblioteca *javascript* gratuita para a implementação da estrutura da árvore utilizada para a funcionalidade da modelagem funcional. Disponível em <https://github.com/dabeng/OrgChart>;
- **Stisla:** *framework* front-end para o desenvolvimento da interface gráfica baseado na biblioteca Bootstrap. Disponível em <https://getstisla.com/>;
- **MySQL:** base de dados Disponível em <https://www.mysql.com/downloads>;
- **GitHub:** repositório de código-fonte gratuito para fins educacionais. Disponível em <https://github.com/>;
- **Dropbox:** repositório de armazenamento e compartilhamento de arquivos, utilizado para armazenar as imagens e documentos dos anexos do artefato. Disponível em <https://www.dropbox.com/>;
- **Heroku:** infraestrutura na nuvem para hospedar aplicações *web*. Disponível em <https://www.heroku.com>.

Gerados os artefatos de *software* previstos para a etapa de projeto e definidas as tecnologias utilizadas, a etapa de desenvolvimento do artefato digital é iniciada.

## 4.6 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

O desenvolvimento do artefato consiste na implementação do código-fonte necessário para que o artefato digital execute as funcionalidades descritas nas histórias de usuário.

O *framework* Scrum sugere a divisão das entregas do trabalho em *Sprints*, que correspondem a uma unidade de tempo em que ocorre o ciclo completo de desenvolvimento de uma parte do *software*. Geralmente, as *Sprints* duram entre 15 e 30 dias, dependendo do contexto do projeto, das características dos times e da organização. No âmbito deste trabalho, o desenvolvimento do artefato foi conduzido pelo pesquisador e seus orientadores. De acordo com as necessidades do trabalho, as *Sprints* não foram utilizadas para coordenar as entregas realizadas. Por sua vez, as entregas foram divididas em *releases* que agrupam as funcionalidades necessárias para as estratégias definidas deste trabalho, alinhadas com o cronograma de pesquisa.

#### **4.6.1 Release 1**

A *release* 1 do artefato digital teve como objetivo principal entregar as funcionalidades básicas para suportar o artefato. Foram identificados os módulos necessários para fins de cadastros das informações em base de dados, de segurança para autenticação e permissão de acesso aos usuários, e das primeiras funcionalidades para executar o método DbA proposto. Neste momento, foi selecionado e adaptado o componente utilizado na modelagem funcional. A importância de oferecer uma interface gráfica intuitiva e flexível orientou este desenvolvimento. Logo, as funcionalidades planejadas e desenvolvidas buscaram proporcionar a liberdade necessária para o projetista estruturar funcionalmente o produto. Também, foram desenvolvidas as primeiras buscas para os princípios de solução cadastrados, de modo a executar as estratégias de indexação dos conteúdos para a sua recuperação através das palavras-chaves, *tags* de categorização e descrições.

Após a conclusão da *release* 1 ocorreu a primeira validação do artefato. Para isso, foi realizado o teste funcional de cada história de usuário para avaliar a conformidade com as suas definições e os critérios de aceite. Durante os testes, as inconformidades identificadas foram registradas e corrigidas pontualmente antes do início da próxima *release*. Este ciclo se repete para cada uma das *releases* até a conclusão do projeto. Os critérios de aceite de cada história de usuário e suas respectivas confirmações podem ser consultadas no Apêndice E (p. 208) para todas as *releases* desenvolvidas.

Em conjunto com o desenvolvimento da *release* 1, também houve a necessidade de preparar a infraestrutura necessária para a operação do artefato digital na *web*. A implantação do código-fonte foi realizada na plataforma em nuvem Heroku integrada ao repositório GitHub, promovendo a maior segurança do ambiente e a rastreabilidade do histórico das modificações realizadas no artefato digital. A base de dados MySQL também foi estruturada nesta plataforma para o armazenamento dos dados da aplicação.

Finalizadas estas tarefas, após a *release* 1, foram criados os primeiros usuários para acesso ao artefato digital. O perfil de usuário **projetista especialista** foi atribuído ao pesquisador e orientadores da pesquisa. Já o perfil de usuário do tipo **projetista** foi atribuído para alguns integrantes do grupo de pesquisa que contribuíram para a criação dos primeiros exemplos do sistema. Estas pessoas receberam orientação de como acessar o artefato digital e operar as primeiras funcionalidades disponíveis.

#### 4.6.2 Release 2

A *release* 2 teve início com o desenvolvimento da integração da taxonomia Functional Basis ao sistema. Durante a implementação, foi realizado o trabalho de tradução da taxonomia, originalmente no idioma inglês. A tradução para o idioma português foi uma sugestão do primeiro grupo focal desta pesquisa e incluída no escopo do trabalho. A taxonomia foi estruturada na base de dados do artefato, o que permitiu o desenvolvimento dos algoritmos de busca para suportar o método DbA. Ao final da *release* 2, o artefato era capaz de sugerir soluções ao usuário através das analogias estabelecidas com base na combinação entre os princípios de solução e as funções da taxonomia selecionadas pelo usuário durante a modelagem funcional do produto.

Nesta versão do artefato, o projetista era capaz de desenvolver a modelagem funcional completa do produto, buscar e receber sugestões de princípios de solução e associar os princípios às funções elementares. Com estas informações registradas pelo artefato, era possível gerar as alternativas para o produto, funcionalidade incluída nesta *release*.

Para a geração de alternativas, último módulo do artefato, o projetista conta com uma interface semelhante à da modelagem funcional para realizar o trabalho, que consiste em escolher um dos princípios de solução selecionados para cada uma das funções elementares a fim de gerar a estrutura funcional que representa uma

alternativa de solução para o produto. Este processo iterativo permite a geração de inúmeras combinações de acordo com o número de princípios selecionados para cada função na etapa anterior. Deste modo, o artefato pretende agilizar esta tarefa para que o projetista possa incluir o número de alternativas necessárias para avançar para a próxima etapa do PDP.

### **4.6.3 Release 3**

A *release 3* é última, compreendeu funcionalidades importantes para a melhoria da experiência do usuário nas atividades desenvolvidas. A exibição dos requisitos de projeto e usuário, a possibilidade de reorganizar a estrutura da árvore funcional existente e a avaliação da combinação entre princípios de solução e função para cada alternativa gerada foram os principais desenvolvimentos desta entrega.

A conclusão da *release 3*, seguido da sua respectiva validação e ajustes, marca o final da etapa de desenvolvimento do artefato para esta pesquisa. Neste momento, o artefato digital está apto para a etapa de avaliação.

O término do desenvolvimento das *releases* previstas para o artefato digital não significa o final do seu desenvolvimento. O escopo definido compreendeu todos os aspectos investigados nesta pesquisa para propor o desenho da sua solução. Naturalmente, a evolução deste artefato digital depende do seu uso. A partir da aplicação prática pelos seus usuários e de novas pesquisas devem surgir outras necessidades, e conseqüentemente, novos ciclos para o seu desenvolvimento.

Com o objetivo de demonstrar seu funcionamento, a seguir, o artefato digital é apresentado através do processo de captura da sua interface. A partir de um exemplo prático é possível percorrer a jornada do usuário guiada pelo método DbA desenvolvido neste trabalho.

### **4.6.4 O artefato digital e o método DbA**

Para evidenciar os resultados da sua performance, o artefato digital é demonstrado através da apresentação da sua interface gráfica, das possibilidades de interação e a explicação do seu funcionamento. Para esta pesquisa, é relevante apresentar a jornada do usuário associada ao método DbA proposto no item 4.4. Neste caso, as

demais funcionalidades do sistema não são abordadas neste formato, mas podem ser consultadas através das histórias de usuário e do *backlog* do produto.

As informações previamente cadastradas no artefato digital foram extraídas de exemplos da literatura e serviram para validar as funcionalidades do sistema. O conteúdo destas informações não representa necessariamente a qualidade e o nível de detalhes aplicados na realidade do processo de design. Portanto, o seu objetivo é apenas demonstrar a aplicação do método DbA e verificar a interação do usuário com o artefato digital.

Ao realizar o acesso ao artefato digital, após os procedimentos de autenticação do usuário, a Figura 49 apresenta a interface inicial da jornada que envolve o método DbA. A interface exibe a lista de projetos cadastrados no artefato, os projetistas integrantes da equipe e a data de criação. Também, é possível realizar uma busca para filtrar os resultados da lista. A coluna “Processo de Design” tem um botão “Projeto Conceitual”, que ao clicar, o usuário é redirecionado para o ambiente desenvolvido para a geração de alternativas do projeto selecionado.

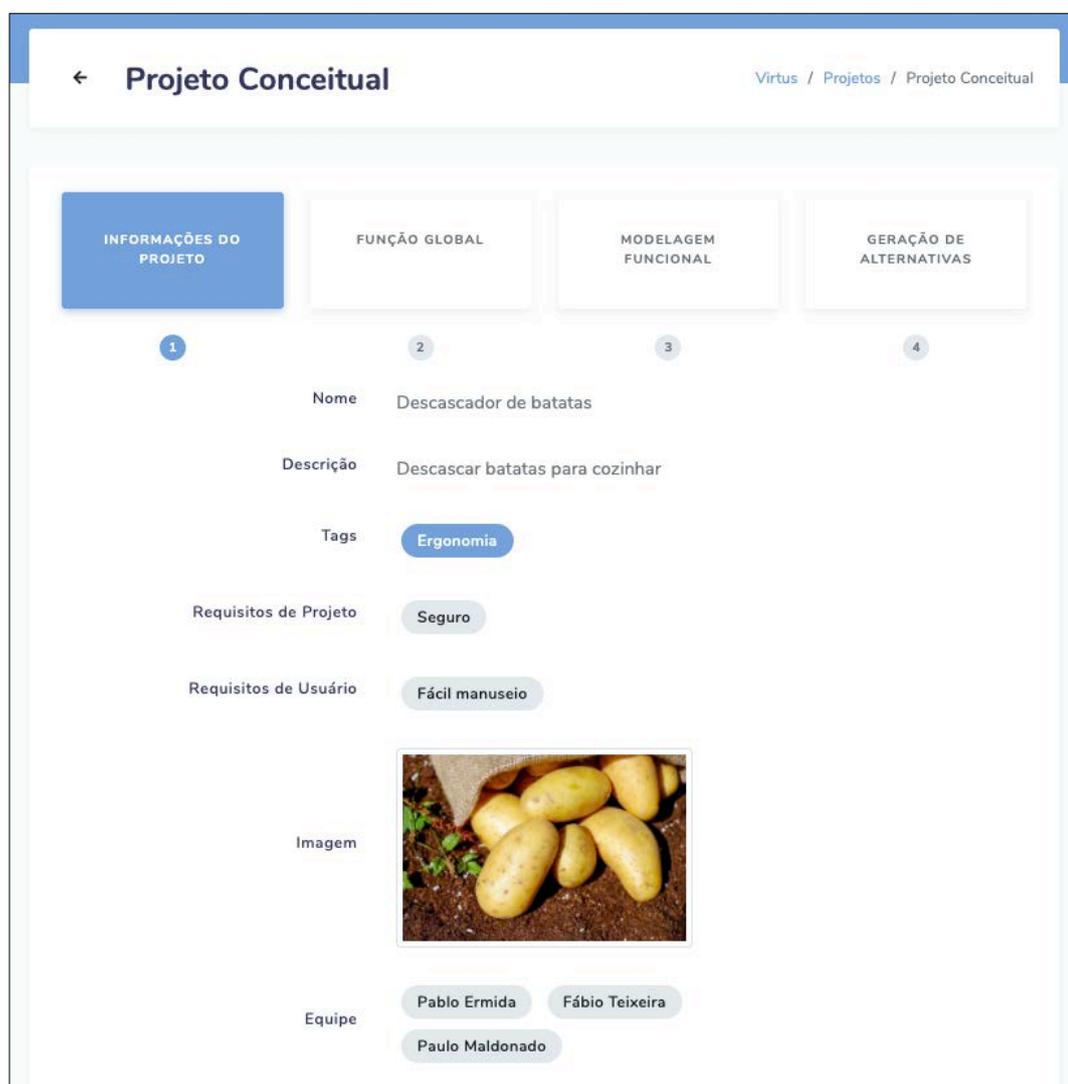
Figura 49: Lista de projetos exemplo cadastrados.

<input type="checkbox"/>	Nome	Processo de Design	Projetistas	Criado em
<input type="checkbox"/>	Cafeteira	<a href="#">Projeto Conceitual</a>		Nov 19, 2019
<input type="checkbox"/>	Descascador de batatas	<a href="#">Projeto Conceitual</a>		Sep 25, 2021
<input type="checkbox"/>	Máquina de lavar pratos	<a href="#">Projeto Conceitual</a>		Sep 25, 2021
<input type="checkbox"/>	Máquina de lavar roupas	<a href="#">Projeto Conceitual</a>		Feb 17, 2019

Fonte: o autor.

A Figura 50 exibe os quatro módulos em abas na parte superior, elaborados para organizar e facilitar a interação do usuário a partir das suas necessidades e da divisão do trabalho proposta pelo PDP. O módulo 1 permite visualizar as informações cadastradas para o projeto e um botão para edição, caso o projetista queira modificar alguma informação. O produto do projeto utilizado como exemplo é um descascador de batatas manual extraído do livro de Baxter (2011).

Figura 50: Visualização das informações do projeto.



← Projeto Conceitual Virtus / Projetos / Projeto Conceitual

INFORMAÇÕES DO PROJETO FUNÇÃO GLOBAL MODELAGEM FUNCIONAL GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

1 2 3 4

Nome Descascador de batatas

Descrição Descascar batatas para cozinhar

Tags **Ergonomia**

Requisitos de Projeto Seguro

Requisitos de Usuário Fácil manuseio

Imagem 

Equipe Pablo Ermida Fábio Teixeira Paulo Maldonado

Fonte: o autor.

Na Figura 51 que representa o módulo 2, a interface possibilita ao projetista executar o primeiro passo do método DbA: **(i) formular a função global do produto;**. No formulário, o usuário deve preencher os campos título da função, os fluxos de entrada e saída, além da descrição.

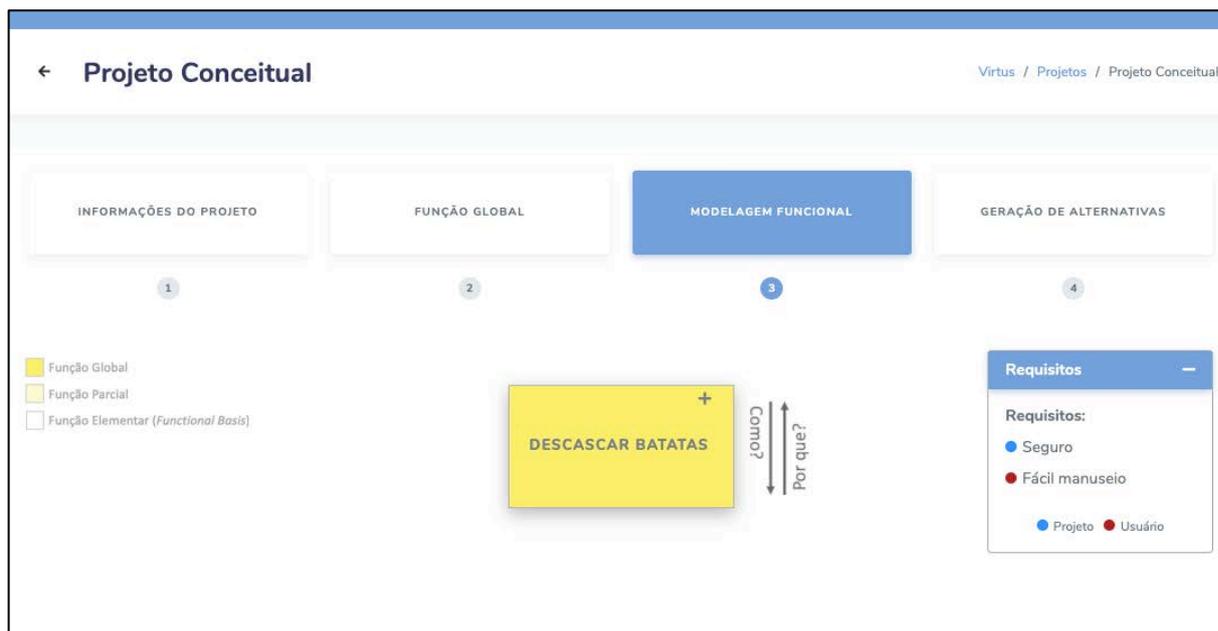
Figura 51: Inclusão da função global.

Fonte: o autor.

O próximo módulo, Figura 52, apresenta a interface que permite a criação dinâmica da árvore funcional do produto e representa o passo 2 do método DbA: **(ii) modelar funcionalmente o produto através de uma árvore funcional**;. O nodo raiz na cor amarela com a função global “Descascar batatas” é criado automaticamente com as informações do módulo anterior.

Os requisitos de projeto e usuário são apresentados para apoiar o projetista nas decisões de projeto durante a modelagem. Do lado esquerdo da tela, uma pequena legenda orienta o significado das cores para cada tipo de função que compõe a estrutura de funções, a saber: função global, parcial e elementar.

Figura 52: Início da modelagem funcional.



Fonte: o autor.

O nodo com a função global exibe o ícone “+” para adicionar uma nova função à árvore. Ao acionar o ícone, é exibido o formulário com os campos de inclusão de uma nova função (Figura 53). O campo título para a função é livre, porém é sugerido ao usuário utilizar um verbo e um substantivo para a representação.

A escolha por utilizar a taxonomia Functional Basis determina se a função será parcial ou elementar. Somente as funções elementares podem ser associadas à taxonomia. Há um campo de descrição caso o projetista deseje adicionar informações complementares sobre a função que está sendo criada.

Através dos campos “entrada” e “saída”, o usuário pode informar as entradas e saídas da função (sinal, material ou energia). Por fim, o campo “dependência” permite a seleção de outra função da árvore funcional, caso exista essa relação.

Figura 53: Inclusão de uma nova função.

A imagem mostra uma interface de usuário para a edição de uma subfunção. O formulário é intitulado "Editar subfunção" e contém os seguintes campos:

- Título da Subfunção** (verbo + substantivo): "Remover a casca"
- Taxonomia** (Functional Basis):  Sim
- Descreva a subfunção**: Campo de texto vazio.
- Entrada** (sinal, material ou energia): "Batata com casca"
- Saída** (sinal, material ou energia): "Batata sem casca"
- Dependência**: Campo de texto vazio com uma seta para baixo.

Na base do formulário, há dois botões: "Cancelar" e "Salvar".

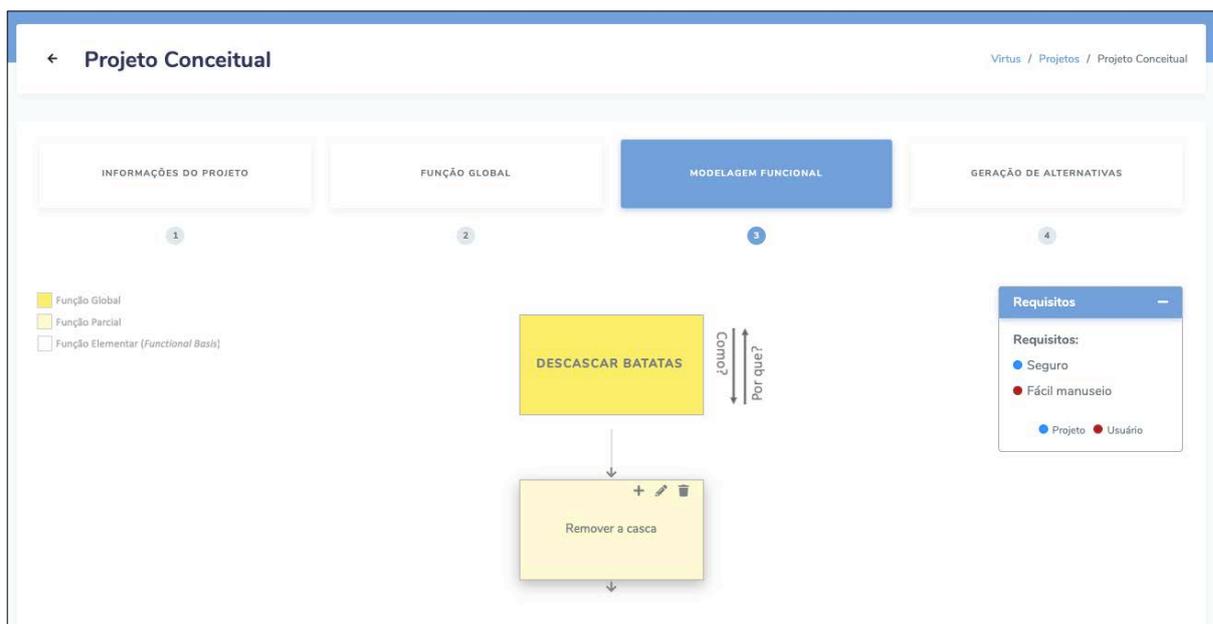
Fonte: o autor.

Ao salvar o formulário, a função é criada na árvore funcional (Figura 54). Neste caso, a taxonomia não foi utilizada, logo a função criada é do tipo parcial. Este processo se repete para cada nova função que o usuário acrescentar, formando assim a estrutura lógica de uma árvore hierarquizada.

Novas funções podem ser criadas a partir de qualquer função da árvore funcional, gerando novos elementos que são conectados logo abaixo da estrutura do nodo escolhido.

Caso desejar, o usuário ainda pode editar ou excluir qualquer função da árvore. Além disso, a qualquer momento, o usuário pode mover uma função de lugar na estrutura da árvore, carregando suas subfunções quando houver, e conectar a uma outra função existente, reorganizando a estrutura da árvore funcional automaticamente.

Figura 54: Função parcial.



Fonte: o autor.

O exemplo apresenta a função global e a primeira função parcial do produto. A próxima função incluída é um desdobramento da função “Remover a casca”.

A Figura 55 exibe o mesmo formulário de inclusão para a função, porém agora utilizando a taxonomia Functional Basis. Para a função elementar “Cortar a casca da batata” o usuário deve buscar na taxonomia uma correspondência para a “ação” e o “objeto da ação”.

O componente de seleção do artefato digital auxilia o usuário ao permitir a navegação por todos os termos da taxonomia e realizar a busca ou filtro pelos itens existentes e seus sinônimos. Ao selecionar um termo, o artefato também apresenta a descrição e o exemplo de aplicação existente na taxonomia do item escolhido.

Para o exemplo, o par “Remover Sólido” é associado ao rótulo “Cortar a casca da batata”. Ao salvar esta função, o artefato registra a conexão entre a função criada pelo usuário e os termos selecionados da taxonomia.

Para o artefato digital, é um dos pontos importantes de indexação utilizados para as estratégias de busca do método DbA.

Figura 55: Inclusão de função elementar.

**Editar subfunção** X

Defina a ação e o objeto da subfunção:

**Título da Subfunção**  
(verbo + substantivo)

**Taxonomia** (Functional Basis)  Sim

**Ação**

Para tirar uma parte de um fluxo de seu lugar prefixado. Exemplo: uma lixadeira remove pequenos pedaços da superfície da madeira para alisar a madeira.

**Objeto da Ação**

**Descreva a subfunção**

- Material
- Humano (mão, pé, cabeça)
- Gasoso (homogêneo)
- Líquido (incompressível, compressível, homogêneo)
- Sólido (corpo rígido, corpo elástico)**
- Objeto
- Partícula

**Entrada**  
(sinal, material ou energia)

**Saída**  
(sinal, material ou energia)

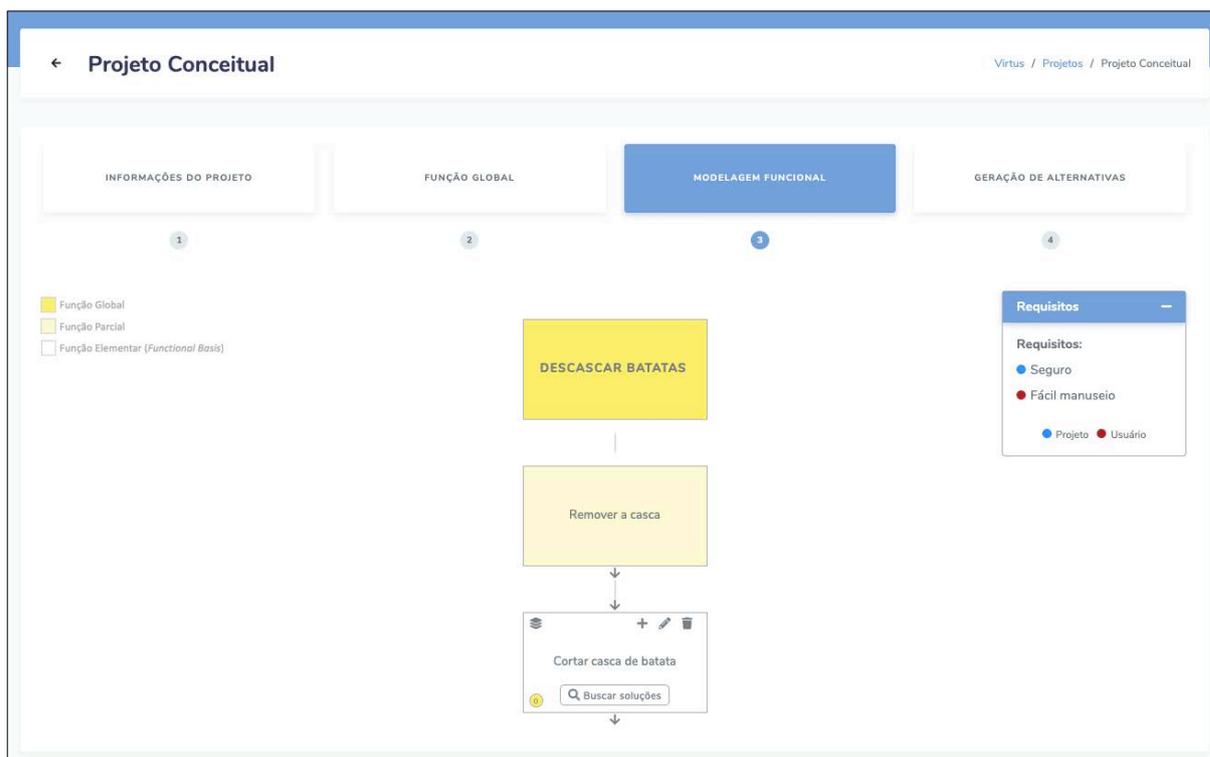
**Dependência**

Fonte: o autor.

A Figura 56, atende ao passo **(iii) identificar as funções elementares que podem ser associadas a um princípio de solução**; A partir da primeira função elementar disponível, o botão para buscar princípios de solução é apresentado no nodo que representa a função.

Neste instante, o usuário pode seguir modelando funcionalmente o produto ou realizar uma busca por princípios de solução para a função elementar “Cortar casca da batata”.

Figura 56: Buscar princípios de solução.



Fonte: o autor.

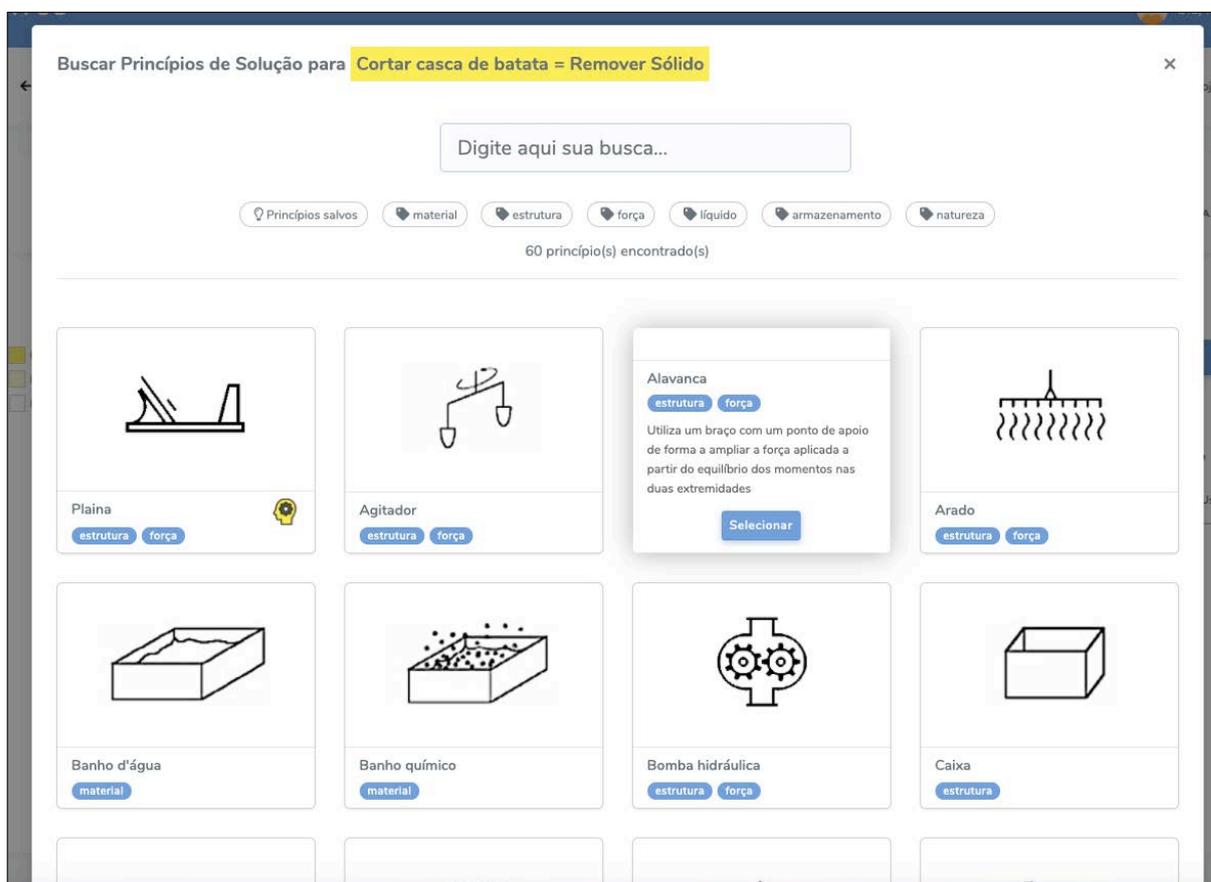
O artefato digital não interfere nesta decisão, ficando a critério do usuário escolher a próxima ação. Considerando que o usuário opte por buscar os princípios de solução, a Figura 57 exibe a interface de busca que corresponde ao passo do método DbA: **(iv) buscar um ou mais princípios de solução para cada função elementar**;

Os princípios de solução cadastrados no artefato e suas representações visuais foram retiradas do estudo de Scalice (2003) e de Baxter (2011). Ao exibir a interface de busca são recuperados todos os princípios de solução cadastrados. É possível filtrar os itens por palavras-chaves, *tags* pré-definidas ou princípios salvos para a função, onde para cada filtro aplicado a interface é reconstruída dinamicamente, restando somente os princípios que atenderem aos critérios de busca informados.

Além disso, o artefato digital recupera as possíveis analogias para sugerir ao projetista. Para o par de termos selecionados na taxonomia que representam a função, o artefato busca em sua base de dados quais princípios de solução foram utilizados para a mesma combinação. Caso existam ocorrências, o sistema posiciona

estes itens no topo da lista, identificados por um ícone que indica uma possível analogia.

Figura 57: Busca de princípios de solução.

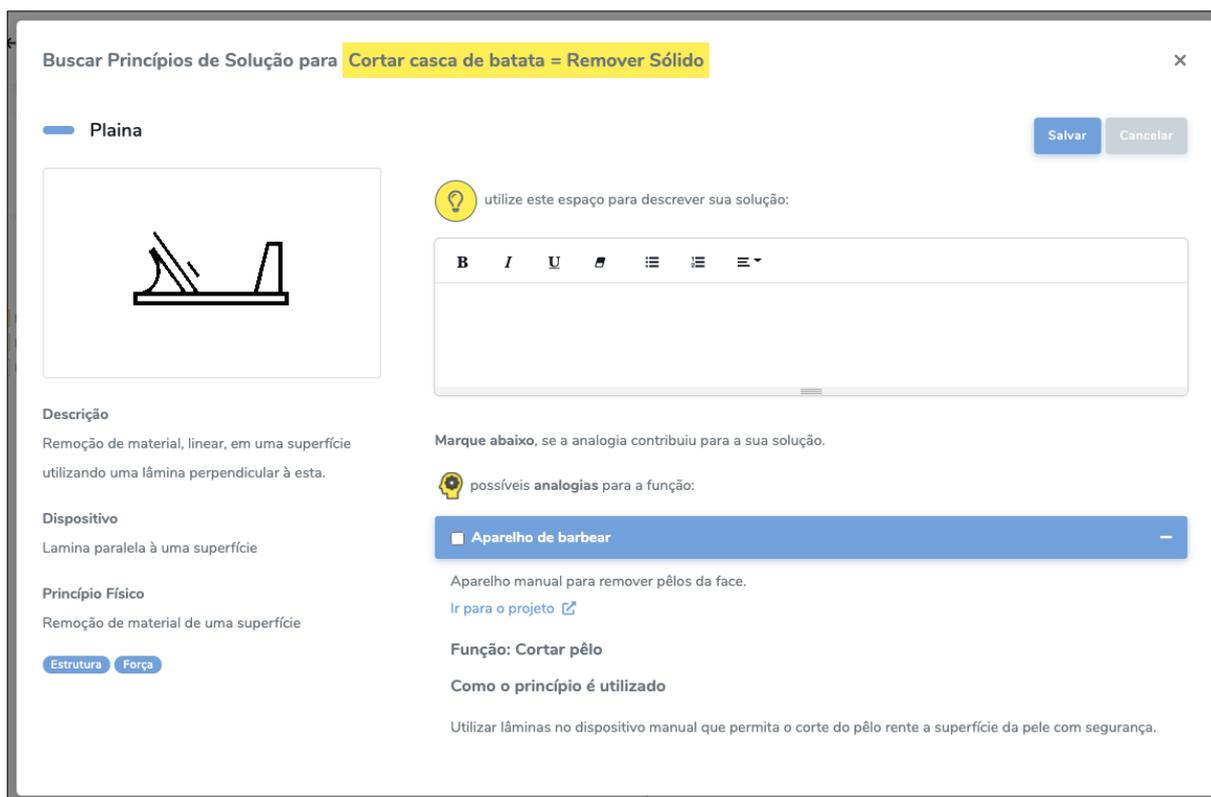


Fonte: o autor.

Na Figura 57 pode ser observado este exemplo através do primeiro item: a Plaina. O cenário descrito representa o seguinte passo do método DbA: **(v) apresentar princípios de solução e sugerir soluções a partir de analogias com outros sistemas;**.

Ao escolher e selecionar um princípio de solução da lista exibida, o usuário é redirecionado para a interface com informações detalhadas do item. A Figura 58 exibe do lado esquerdo informações sobre o funcionamento e composição do princípio de solução. Do lado direito, há um campo de texto para o projetista descrever a solução pretendida. Caso existam sugestões de analogias, abaixo deste campo, é exibida a lista de projetos encontrados.

Figura 58: Seleção do princípio de solução.



Fonte: o autor.

No caso do exemplo apresentado na Figura 58, o artefato identificou no projeto “Aparelho de barbear” a utilização do princípio de solução da “Plaina” para a função “Cortar pêlo”.

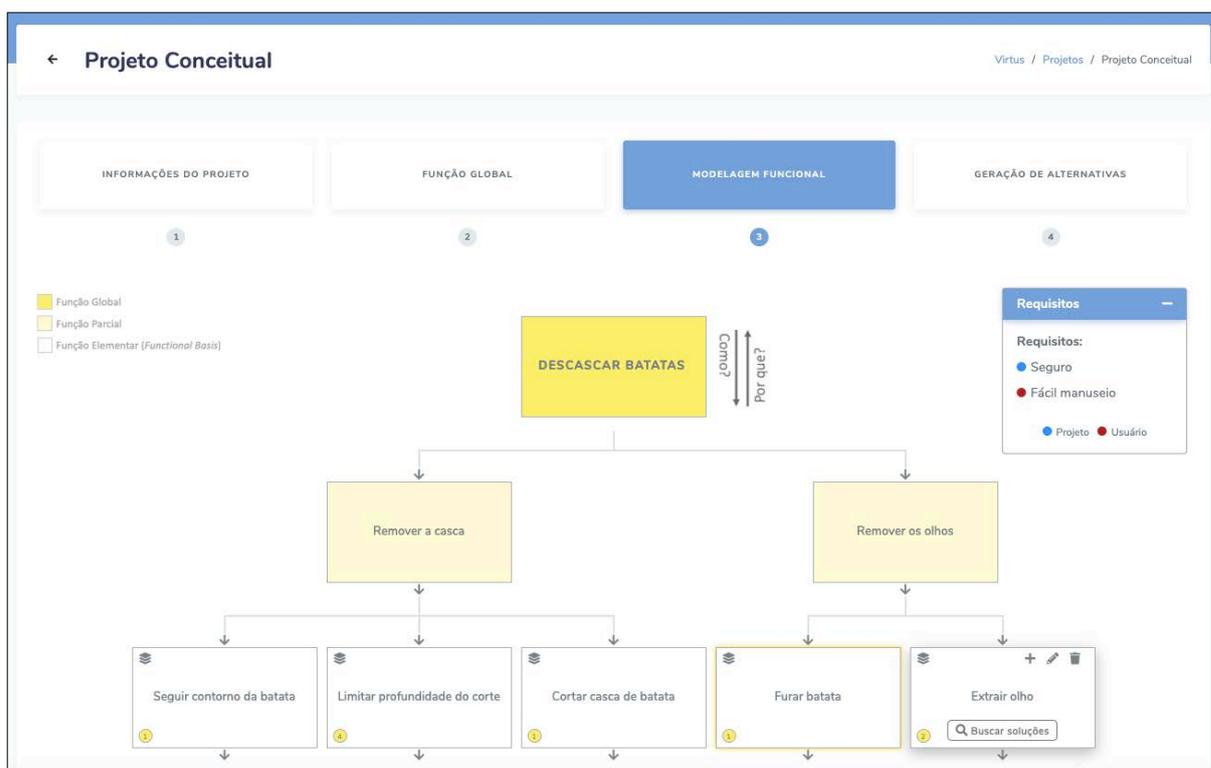
O projetista deve avaliar a analogia através das informações apresentadas, caso houver necessidade, há também um link para acesso às informações detalhadas do projeto. A partir do processo de análise e raciocínio do projetista, a analogia sugerida pode provocar o reuso do conhecimento existente em um novo contexto. Se esta circunstância se confirmar é necessário que o projetista informe o artefato desta ocorrência. Para isso, deve ser anotada a caixa de seleção (*checkbox*) ao lado do nome do projeto, sinalizando que houve o reuso do conhecimento através de uma analogia com um projeto de produto existente.

Este processo está relacionado pelo seguinte passo do método DbA: **(vi) associar um ou mais princípios de solução para cada função elementar e registrar o feedback sobre as analogias sugeridas, quando houver;**

Ao salvar o princípio de solução para a função elementar, o artefato registra esta conexão, as informações da solução descrita pelo projetista e a possível aplicação das analogias sugeridas pelo artefato. Esta parte corresponde ao passo do método DbA: **(vii) armazenar combinações para sugerir novas analogias;**

O sistema retorna para a lista de princípios de solução, assinalando o princípio salvo e permitindo o usuário associar mais princípios à mesma função ou retornar para a interface de modelagem funcional. Após realizar as iterações necessárias para as demais funções do produto, o resultado da modelagem funcional concluída para o exemplo apresentado pode ser visualizado através da Figura 59.

Figura 59: Modelagem funcional completa.



Fonte: o autor.

As analogias registradas no projeto podem ser visualizadas ao clicar no nodo da função global. A Figura 60 mostra a interface com as informações. A fonte para a analogia é representada pelo nome do projeto e a função. Já o alvo indica a função e os termos utilizados da taxonomia em que ocorre o reuso do conhecimento.

Figura 60: Analogias do projeto.

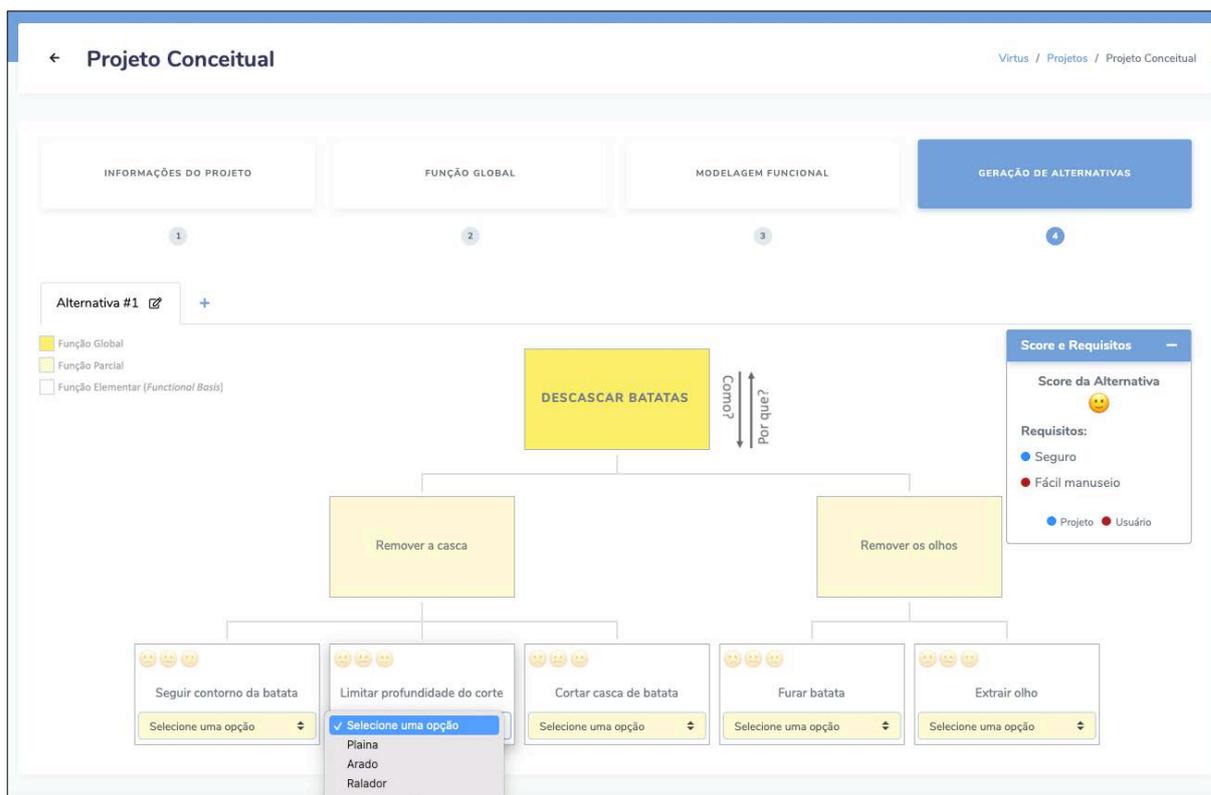


Fonte: o autor.

O próximo e último módulo corresponde à geração de alternativas. A Figura 61 apresenta a interface do módulo 4, a qual a árvore funcional modelada na etapa anterior é exibida novamente. A primeira alternativa é criada para que o projetista escolha para cada função elementar da estrutura funcional um dos princípios selecionados a fim de gerar a primeira configuração para o produto.

Inspirado no princípio de funcionamento da matriz morfológica, o projetista pode criar quantas alternativas forem necessárias para explorar o número de combinações possíveis e viáveis de acordo com os requisitos envolvidos. Cabe ressaltar que o artefato não gera automaticamente estas combinações, pois o esforço dos projetistas nesta atividade projetual é essencial para estabelecer as relações das informações de projeto e definir a solução. Neste contexto, o artefato contribui para agilizar o processo e registrar as informações geradas.

Figura 61: Seleção dos princípios de solução para a geração de alternativas.

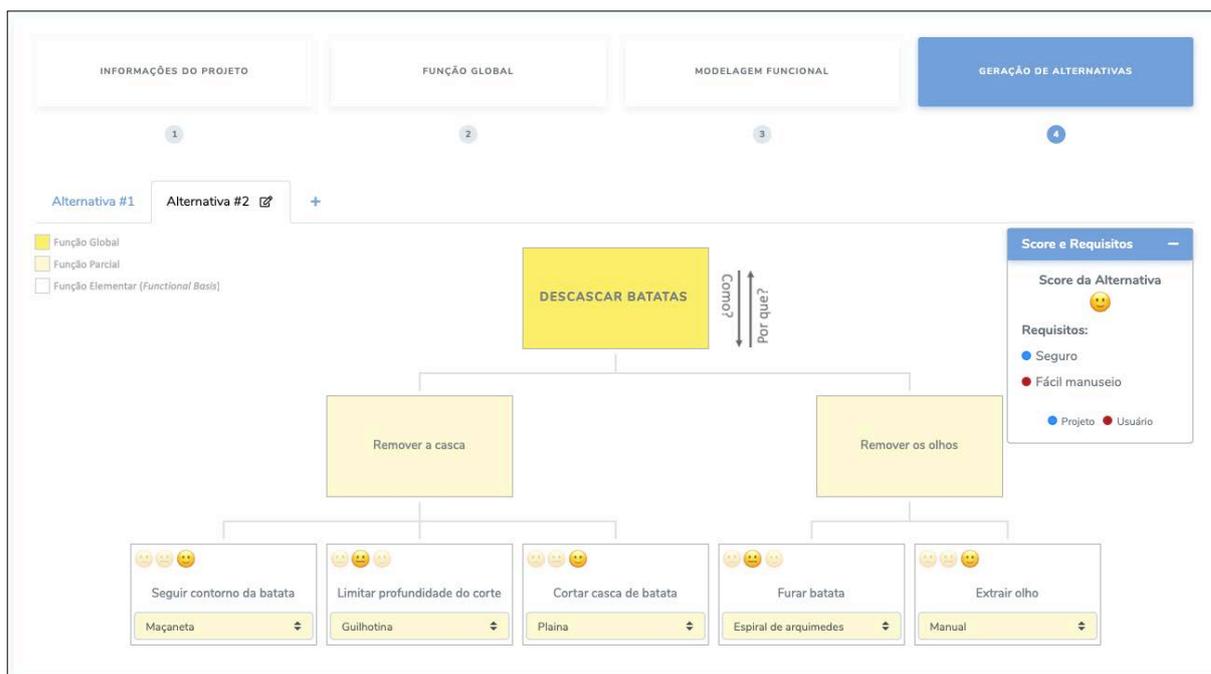


Fonte: o autor.

A Figura 62 apresenta a geração de uma nova alternativa. Cada alternativa é adicionada a uma nova aba do sistema, permitindo a fácil navegação e visualização entre as alternativas existentes. Outra funcionalidade disponível do artefato permite realizar a avaliação de cada combinação existente de uma alternativa. Em uma escala de três pesos, representada por ícones, o projetista pode atribuir uma nota que avalia o grau de satisfação da solução em relação aos requisitos de projeto e usuário. O artefato utiliza todas as notas para calcular a média geral de uma determinada alternativa. No entanto, o score gerado para uma alternativa não determina o resultado de sua avaliação. Apesar da avaliação de alternativas do PDP não fazer parte do recorte desta pesquisa, o registro de uma pré-avaliação na etapa atual pode contribuir como uma nova entrada para o desenvolvimento desta atividade.

A atividade realizada no módulo 4 está relacionada ao último passo do método proposto: **(viii) combinar os princípios de solução selecionados e funções para gerar uma ou mais alternativas.**

Figura 62: Pré-avaliação das alternativas.



Fonte: o autor.

A demonstração do artefato digital apresentou um exemplo de uso para as atividades previstas na geração de alternativas do PDP. Esta mesma jornada foi apresentada ao grupo de especialistas na etapa de avaliação do artefato. Logo, os resultados obtidos na avaliação podem ser relacionados à apresentação dos passos descritos nesta seção.

A seguir, são apresentados o processo de avaliação do artefato e os resultados obtidos.

## 4.7 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Finalizado o desenvolvimento do artefato digital, são iniciados os procedimentos de avaliação do artefato. Inicialmente, é importante confirmar se o comportamento do artefato em operação está em conformidade com as suas definições. A seguir, observar o artefato em seu ambiente para poder avaliar sua contribuição na melhoria ou solução do problema de pesquisa. Também, para este estudo, é relevante confirmar se o artefato produzido pode ser enquadrado no campo do DbA e, deste modo, contribuir para o avanço dos estudos da área.

Para a avaliação do artefato foram adotadas duas abordagens. A primeira correspondeu à validação interna do artefato, realizada a partir da confirmação dos critérios de aceite definidos nas histórias de usuário. E a segunda, a partir da demonstração do artefato em seu estado funcional através de um grupo focal formado por especialistas. Para esta abordagem foram definidos alguns cenários de uso para demonstrar o comportamento do artefato. Em seguida, foi aplicado um questionário aos participantes a fim de obter a avaliação dos especialistas para o artefato no contexto apresentado.

#### **4.7.1 Validação interna**

A validação interna é realizada através de teste funcional para cada uma das histórias de usuário desenvolvidas para o artefato digital. Ao finalizar cada *release*, a lista de histórias foi revisada através do *backlog* de produto, onde os critérios de aceite eram confirmados. Os critérios não confirmados eram assinalados no *backlog* para controle. Para esses casos, os ajustes necessários eram realizados e o teste funcional executado novamente. Este processo ocorreu de forma iterativa até que todos os critérios de aceite fossem atendidos.

Além dos testes funcionais, também foram considerados na validação os aspectos de desempenho do sistema, como o tempo de resposta da aplicação e qualidade de interação da interface gráfica. Estas características foram constantemente observadas e avaliadas em todas as entregas de partes do *software*, que ao apresentar algum tipo de deficiência, era encaminhada alguma ação corretiva.

É interessante observar que parte do processo de validação iniciou paralelamente com a etapa de desenvolvimento do artefato, uma prática comum dos métodos ágeis.

#### **4.7.2 Grupo focal**

O grupo focal reuniu de modo online todos os participantes para apresentação e avaliação do artefato digital.

O encontro teve a participação dos mesmos cinco especialistas do grupo de pesquisa do PGDesign que participaram do primeiro grupo focal, além do pesquisador, na figura de moderador, e seus orientadores.

Inicialmente, seguindo o mesmo protocolo realizado no grupo focal anterior, os participantes foram informados que a dinâmica seria gravada (áudio e vídeo), a partir daquele momento, para posterior análise e coleta de dados de forma qualitativa. A atividade teve duração de uma hora e trinta minutos. Conforme o roteiro proposto, que pode ser consultado no Apêndice C (p. 205), a primeira parte apresentou o objetivo do grupo focal, a atualização da pesquisa desde o último encontro e a compilação das contribuições realizadas no primeiro grupo focal.

A seguir, o pesquisador iniciou a apresentação do artefato digital com o objetivo de relacionar as etapas do método DbA proposto com as funcionalidades do artefato digital. Através de cenários de uso criados a partir de exemplos da literatura, foi possível explorar a jornada completa do usuário e sua interação com o artefato digital. Durante a dinâmica, os participantes realizaram algumas perguntas sobre as funcionalidades apresentadas, o que gerou um momento espontâneo de debate entre os integrantes sobre as possibilidades e contribuições do artefato digital.

Ao encerrar a apresentação, os participantes foram convidados a responder a avaliação sobre o que foi apresentado através de um questionário. O questionário aplicado foi composto por quatro questões fechadas e uma aberta. Para as questões fechadas foi utilizada a escala *Likert* de 1 a 5 pontos, na qual a nota 1 representa “nada” e a nota 5 “muito”. Para cada questão fechada foi solicitado ao participante justificar sua resposta. Por fim, uma questão aberta e opcional foi inserida para que o participante pudesse contribuir livremente sobre o artefato digital.

A ferramenta Typeform, disponível em <https://typeform.com/>, foi utilizada para a aplicação do questionário online e a posterior compilação dos resultados para análise e apresentação.

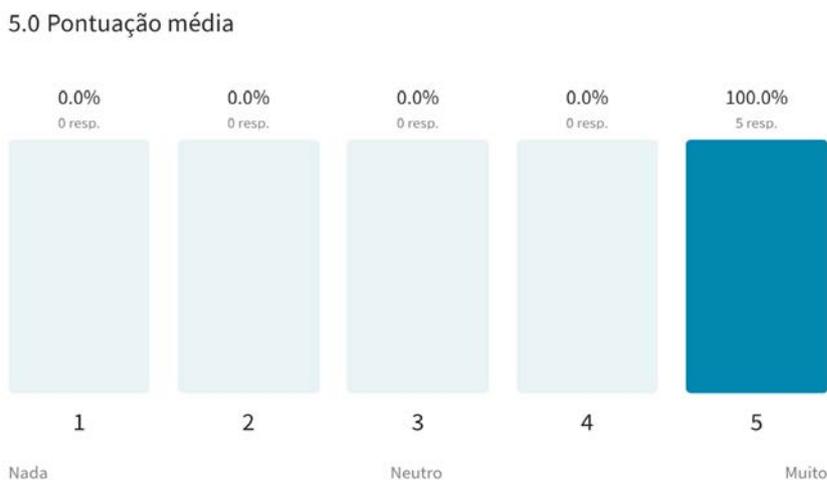
Os cinco participantes responderam ao questionário proposto. Para preservar a identidade de cada especialista, os participantes foram identificados por um número de um a cinco. As perguntas e suas respostas são apresentadas a seguir.

A primeira pergunta pretende confirmar, na visão dos especialistas, se o artefato digital se enquadra no campo DbA. Para auxiliar na análise, a Figura 44 da seção de proposição do artefato do item 4.4 deste trabalho foi apresentada juntamente com a pergunta. A questão formulada foi:

## 1. O artefato digital é aderente ao processo de DbA apresentado?

A pontuação média das respostas para a questão 1 obteve nota 5 (Figura 63).

Figura 63: Respostas para a questão 1 da avaliação do artefato.



Fonte: extraído do *software* Typeform.

As justificativas e notas dos participantes para a questão 1 podem ser verificadas através do Quadro 19:

Quadro 19: Justificativa e nota dos participantes para a questão 1.

Participante (Nota)	Resposta
P1 (5)	"O artefato proposto é abrangente e capaz de atender praticamente todas as etapas do processo do dba"
P2 (5)	"O artefato apresenta funcionalidades que permitem executar as ações conforme o proposto na DbA."
P3 (5)	"É possível verificar que existe uma correspondência entre as etapas do DbA tradicional e artefato digital em foco"
P4 (5)	"O artefato auxilia o processo de seleção de princípios de solução com um mecanismo de sugestão que incorpora o conhecimento gerado em outros projetos."
P5 (5)	"o artefato digital é aderente e relaciona muito bem a todas as etapas do processo de DbA"

Fonte: o autor.

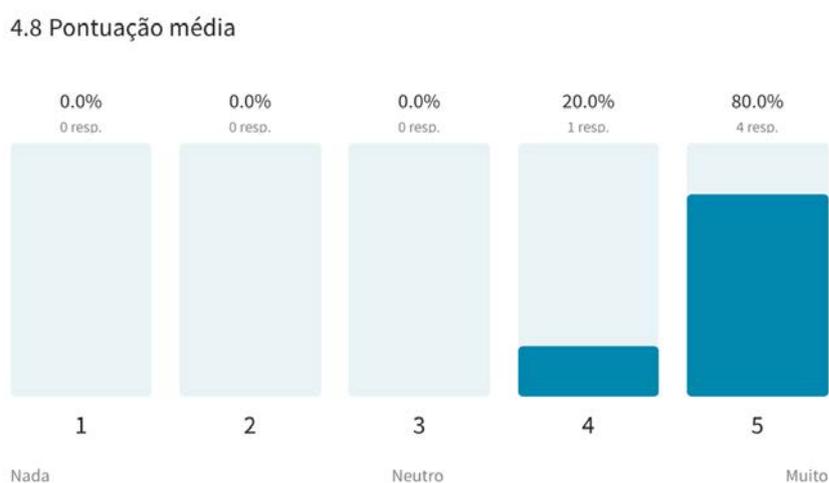
As respostas para a questão 1 apontam de forma unânime o atendimento dos requisitos de enquadramento do artefato digital para o campo do DbA segundo o processo tradicional descrito por Jiang *et al.* (2021).

A segunda pergunta procurou validar os atributos de similaridade utilizados pelo artefato digital para estabelecer as analogias propostas. A questão formulada foi a seguinte:

**2. Os atributos de similaridade adotados (função + princípio de solução) para estabelecer as analogias são adequados para buscar soluções para a geração de alternativas?**

A pontuação média das respostas para a questão 2 obteve nota 4.8 (Figura 64).

Figura 64: Respostas para a questão 2 da avaliação do artefato.



Fonte: extraído do *software* Typeform.

As respostas e considerações sobre a questão 2 confirmam a seleção adequada dos critérios de similaridade para o artefato digital e o benefício da integração da taxonomia Functional Basis como vocabulário padrão para representar as funcionalidades do produto. O artefato digital também apresenta as informações de projeto relevantes para os momentos necessários.

Além disso, os especialistas também consideraram eficiente o mecanismo para a recuperação do conhecimento, proporcionado pelos meios de organização adotados no projeto do artefato digital.

As justificativas e notas dos participantes para a questão 2 podem ser verificadas através do Quadro 20.

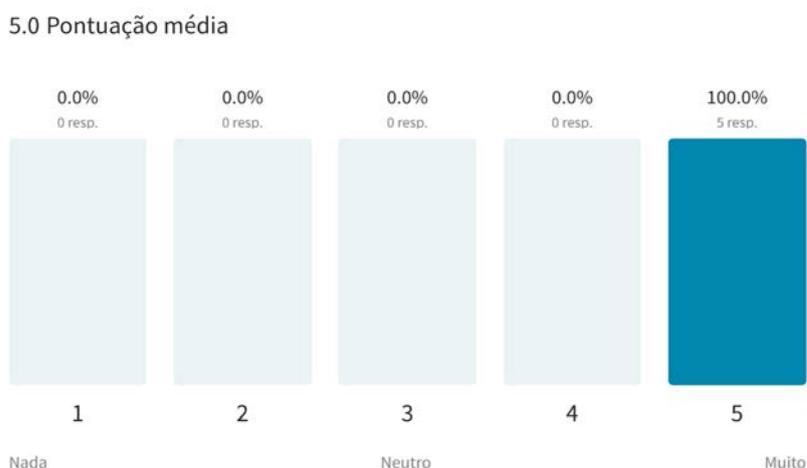
Quadro 20: Justificativa e nota dos participantes para a questão 2.

Participante (Nota)	Resposta
P1 (5)	"Os atributos adotados de "função + princípio de solução" estimulam o exercício de abstração do problema de projeto, o que pode ampliar as possibilidades de soluções na geração de alternativas."
P2 (5)	"A partir da taxonomia da Functional Basis, o artefato foi projetado com categorias de indexação, recuperação e mapeamento que possibilitam estabelecer de forma consistente as similaridades entre a função e os princípios de solução. Também, os princípios de solução sugeridos trazem informações de dispositivos e efeitos, permitindo que seja realizada uma avaliação por parte do projetista que poderá tomar decisão sobre qual princípio de solução adotar, de tal forma a compatibilizar com os requisitos de usuário e de projeto."
P3 (4)	"São as informações mais disponíveis no artefato digital. Considerando que existe o dispositivo e o efeito para geração de possíveis alternativas"
P4 (5)	"O sistema adotado permite que conhecimento gerado e armazenado no artefato ofereça ao projetista diferentes princípios de solução que, por não serem óbvios, não seriam analisados ou adotados no projeto."
P5 (5)	"função + princípio de solução podem auxiliar bastante nas soluções para a geração de alternativas"

Fonte: o autor.

A terceira questão pretende avaliar o potencial do artefato digital em comparação a outras ferramentas existentes para apoiar as atividades da etapa investigada. A pontuação média das respostas para a questão 3 obteve nota 5 (Figura 65).

Figura 65: Respostas para a questão 3 da avaliação do artefato.



Fonte: extraído do *software* Typeform.

A questão formulada foi:

**3. Considerando as técnicas e ferramentas existentes utilizadas para a geração de alternativas, você acredita que o artefato digital pode ser adotado no desenvolvimento das atividades previstas?**

As justificativas e notas dos participantes para a questão 3 podem ser verificadas através do Quadro 21:

Quadro 21: Justificativa e nota dos participantes para a questão 3.

<b>Participante (Nota)</b>	<b>Resposta</b>
<b>P1 (5)</b>	"Além de contribuir para a inovação, o artefato pode ser muito bem utilizado para reunir e organizar as informações de um determinado processo de projeto durante a fase de geração de alternativas."
<b>P2 (5)</b>	"O artefato apresenta condições de atender as necessidades de um projetista ou de uma equipe de projeto, quanto à etapa do projeto conceitual, no que se refere à geração de alternativas. Considerando os limites estabelecidos para o desenvolvimento do artefato, traz a oportunidade de integrar duas ferramentas comumente utilizadas no processo de projeto nesta fase: o desdobramento da função global, estabelecida a partir do escopo do produto, e a matriz morfológica, utilizada para buscar princípios de solução em similares de produto ou similares de função. Ao utilizar o artefato, o processo torna-se mais dinâmico e contribui para otimizar o processo de geração de alternativas, no que se refere a fazer combinações de princípios de solução a partir de uma avaliação pelos projetistas, com isto diminuindo o tempo empreendido neste processo. O tempo de desenvolvimento do projeto é um fator importante para a competitividade. Além disto, a combinação de princípios de solução, obtida a partir da avaliação, traz o potencial para explorar as configurações possíveis para a arquitetura da solução por meio da criatividade, também trazendo benefícios para encontrar a melhor solução."
<b>P3 (5)</b>	"O artefato digital tem muito potencial para ser utilizado na geração de alternativas a partir da modelagem funcional e as analogias."
<b>P4 (5)</b>	"O artefato proposto tem grande potencial de impacto em qualquer área que envolva projetos. O tempo empregado na etapa de projeto, retratada no recorte da pesquisa, pode ser reduzido, além de permitir a retenção do conhecimento gerado em cada projeto para que possa ser reutilizado em outras situações. No âmbito educacional, o artefato poderá ser utilizado, com grande aproveitamento, no ensino de projeto."
<b>P5 (5)</b>	"Com certeza, é uma excelente ferramenta de auxílio no processo criativo"

Fonte: o autor.

A partir das repostas para a questão 3, é possível constatar que o artefato digital pode ter uma contribuição significativa para as atividades de geração de alternativas. Além das contribuições para a retenção e reuso do conhecimento gerado, o artefato

digital chamou a atenção dos especialistas pelo fato de reduzir o tempo de projeto através da agilidade proporcionada para as atividades previstas.

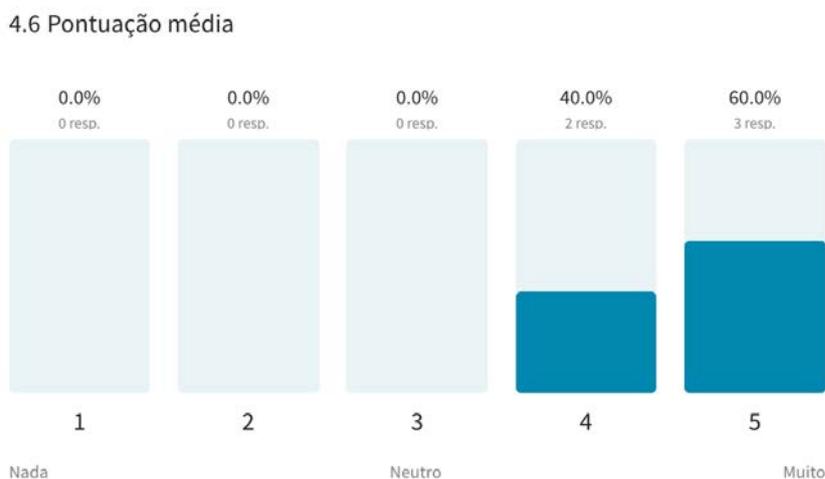
Além de sua aplicação na indústria, para o âmbito educacional pode ter grande influência no ensino de projeto. Também são citadas possibilidades para contribuir com os processos de inovação de produto e o processo criativo do indivíduo, o que oferece oportunidades para novos estudos avaliarem estes contextos.

A quarta pergunta procura verificar a hipótese de aplicação do artefato digital para auxiliar o desenvolvimento de novos produtos. A questão formulada foi:

**4. Na sua opinião, o artefato digital pode contribuir para o desenvolvimento de novos produtos no processo de design?**

A pontuação média das respostas para a questão 4 obteve nota 4.6, conforme a Figura 66.

Figura 66: Respostas para a questão 4 da avaliação do artefato.



Fonte: extraído do *software* Typeform.

No ponto de vista dos especialistas, apesar do artefato digital ser um instrumento com grande potencial de contribuição, o papel do projetista é fundamental para o sucesso da sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos. As justificativas e notas dos participantes para a questão 4 podem ser verificadas através do Quadro 22:

Quadro 22: Justificativa e nota dos participantes para a questão 4.

<b>Participante (Nota)</b>	<b>Resposta</b>
<b>P1 (4)</b>	"A combinação de funções e princípios de solução pode oferecer uma série de soluções inovadoras, porém, para que isso ocorra, é necessário um abastecimento consistente do banco de dados do sistema."
<b>P2 (5)</b>	"O artefato contribui para o desenvolvimento de novos produtos, tanto aqueles que trazem melhorias de produtos existentes, quanto produtos de inovação. Pois o artefato, além de possibilitar desenvolver novos produtos a partir da reutilização e combinação de princípios de solução já adotados em outros produtos e armazenados na base de conhecimentos, permite que sejam criados e cadastrados novos princípios de solução, o que potencializa gerar inovação."
<b>P3 (4)</b>	"O artefato digital contribui para o desenvolvimento de produtos. A inovação do produto vai depender dos dispositivos e das ideias dos projetistas."
<b>P4 (5)</b>	"O processo de projeto envolve grande volume de informação distribuído em diversas áreas do conhecimento. A proposta do artefato, de armazenar o conhecimento adquirido na elaboração da cada projeto, tem o potencial de aprimorar a prática projetual, proporcionando uma ferramenta criativa que auxilia o designer na elaboração, análise e seleção de alternativas, de maneira que o processo de tomada de decisão ocorra de forma mais rápida e assertiva."
<b>P5 (5)</b>	"artefato digital pode contribuir para o desenvolvimento de novos produtos no processo de design no momento em que auxilia na busca de soluções para as gerações de alternativas e no processo criativo destas gerações."

Fonte: o autor.

Além disso, a qualidade das informações de projeto inseridas pelos próprios projetistas e o crescimento desta base de conhecimento são aspectos essenciais para a progressiva melhoria do funcionamento do artefato digital. Esta percepção dos especialistas vai ao encontro do propósito do projeto do artefato. O artefato foi projetado para apoiar o projetista e não realizar o trabalho por ele. As decisões de projeto cabem exclusivamente aos projetistas, o artefato contribui registrando estas decisões para em um novo momento oferecer o reuso do conhecimento gerado em diferentes contextos. Logo, a solução para o problema de design e o grau de novidade que o produto pode ter, ao fim e ao cabo, são do projetista ou da equipe envolvida. É neste contexto que o artefato pretende contribuir.

Por fim, três participantes preencheram a seguinte questão aberta e opcional:

**5. Se você deseja acrescentar alguma outra consideração sobre o artefato digital, por favor, utilize este espaço.**

As considerações dos participantes que responderam à questão 5 podem ser verificadas através do Quadro 23:

Quadro 23: Respostas para a questão aberta opcional.

<b>Participante</b>	<b>Resposta</b>
<b>P1</b>	-
<b>P2</b>	"O artefato digital apresenta plenas condições de ser utilizado para os fins que se destina, trazendo contribuições tecnológicas, acadêmicas, e sociais. Também, apresenta-se como um artefato que pode ser integrado a uma plataforma de desenvolvimento de projeto de produtos, o que amplia seu potencial, permitindo que mais funcionalidades que beneficiam a etapa de projeto possam ser projetadas."
<b>P3</b>	"Como sugestão para o aprimoramento do artefato digital eu sugiro a colocação de exemplos de preenchimento nos formulários de composição das funções e dos princípios de solução. Além de, se for possível, fazer um vídeo de apresentação semelhante ao que foi realizado na apresentação de hoje. Facilita a utilização do artefato digital."
<b>P4</b>	"O artefato proposto será uma grande contribuição na área do design e, certamente, será utilizado tanto no meio acadêmico, quanto no industrial. A ideia de ter um banco de princípios de solução que está associado, por analogia, a diferentes funções, e que será constantemente alimentado, faz com que este artefato seja progressivamente mais útil e mais valioso ao longo do tempo."
<b>P5</b>	-

Fonte: o autor.

As respostas dos especialistas para a última questão destacam a contribuição do artefato digital em distintos contextos e que o seu crescimento pode estar associado ao aumento da sua base de conhecimento e das possíveis integrações com outras ferramentas ou plataformas voltadas ao processo de design. Também, a sugestão do artefato digital oferecer um tutorial de uso e exemplos prontos pode facilitar o uso e contribuir para a qualidade da informação indexada.

No contexto desta pesquisa, a partir da análise das respostas dos especialistas sobre o artefato gerado é possível afirmar que:

- o método de pesquisa DSR adotado foi adequado para alcançar os objetivos de pesquisa;

- o processo de desenvolvimento *software* e as ferramentas adotadas atenderam com efetividade as necessidades de projeto;
- o artefato proposto se enquadra no campo de DbA e, a partir da publicação do seu estudo e da operação do seu artefato digital, contribui diretamente para o avanço da área;
- das 16 respostas obtidas das questões fechadas, 13 receberam a nota máxima 5 e as três restantes a nota 4. Logo, é possível afirmar, pela opinião dos especialistas, que o artefato digital contribui efetivamente para melhorar ou solucionar o problema de pesquisa.

A seguir, são apresentadas as explicitações das aprendizagens da presente pesquisa.

## 5 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS

Este capítulo apresenta os pontos de sucesso e insucesso obtidos durante o projeto de pesquisa. O registro destas informações e do processo de desenvolvimento servem de referência para novos estudos, tanto no âmbito teórico quanto prático (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

O método de pesquisa DSR e os métodos ágeis para o projeto e desenvolvimento do artefato digital demonstraram eficácia para o rigor necessário na geração do conhecimento científico e na produção de um *software*. O modelo gerado pela aplicação desta combinação para a condução deste trabalho pode ser reaproveitado por outros pesquisadores em contextos de pesquisas similares.

As informações de projeto geradas no decorrer deste estudo, bem como a discussão dos resultados do projeto de pesquisa correspondem aos registros de aprendizagem evidenciados neste capítulo.

### 5.1 ARTEFATOS DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Os artefatos de desenvolvimento de *software* são o resultado de um conjunto de atividades representados por documentos de requisitos, modelos, arquitetura e design do *software*, arquivos executáveis, entre outros.

Para este trabalho, representam parte da explicitação das aprendizagens e correspondem aos seguintes itens desenvolvidos:

- **Método DbA proposto** (item 4.4);
- **Enquadramento do artefato no campo DbA** (item 4.4, Figura 44);
- **Requisitos iniciais do artefato** (item 4.4, Figura 45);
- **Protótipo para o artefato** (Apêndice D, p. 206);
- **Fluxograma do artefato digital para o Método DbA** (item 4.5, Figura 46);
- **Personas do artefato digital** (item 4.5.1, Quadro 14);
- **Mapeamento das Histórias de Usuário** (4.5.2, Figura 47);
- **Product Backlog** (Apêndice E, p. 208);
- **Representação da Ontologia em UML** (item 4.5.3, Figura 48);
- **Código-fonte do software**: o código-fonte não é disponibilizado publicamente e é de propriedade do grupo de pesquisa onde foi desenvolvido este trabalho.

## 5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através da revisão da literatura, a primeira fase desta pesquisa procurou identificar a lacuna para o desenvolvimento de um artefato digital e, deste modo, contribuir para a etapa conceitual no processo de design. A compreensão do contexto do ambiente externo foi fundamental para a delimitação da pesquisa e definição do escopo do artefato digital. A identificação do campo DbA surgiu a partir da intenção de aplicar o reuso do conhecimento como estratégia na busca de soluções para o projeto. Os estudos do campo demonstraram a evolução dos métodos e ferramentas gerados ao longo do tempo e a forte relação destes com os recursos computacionais.

A identificação de artefatos similares através da revisão sistemática foi fundamental para confirmar a relevância desta pesquisa e a oportunidade de avanço no campo DbA. O conhecimento produzido de experiências anteriores e a indicação de tendências no desenvolvimento de novas ferramentas influenciaram na elicitação dos requisitos de projeto do artefato digital desta tese, registrados no item 4.4.

Para melhorar o ambiente externo mapeado do artefato foi proposto um método DbA para ser operacionalizado por um artefato digital. Este método levou em consideração o contexto das atividades realizadas a partir das técnicas e ferramentas existentes aplicadas, e das principais dificuldades e necessidades apontadas pelos projetistas. Para materializar a proposta do artefato antes do seu desenvolvimento foi elaborado um protótipo em papel para ser apresentado aos especialistas participantes do grupo focal. A estratégia adotada foi uma forma fácil e rápida de simular o funcionamento do artefato digital para obter as percepções e sugestões dos especialistas e, deste modo, ser mais assertivo na concepção de um artefato digital que contribuísse para a solução do problema de pesquisa formulado.

A etapa de projeto e desenvolvimento do artefato se caracterizaram pela aplicação dos processos de desenvolvimento de *software* adotados. No âmbito deste trabalho, a escolha dos métodos ágeis proporcionou uma gama de recursos que garantiu que todas as etapas indicadas para o ciclo completo de desenvolvimento de *software* fossem cumpridas. Além disso, conforme evidenciado, os artefatos de *software* gerados por este processo contribuem de forma significativa para o registro do conhecimento produzido nesta investigação.

A avaliação do artefato confirmou o cumprimento dos requisitos definidos na fase de projeto e a performance esperada do comportamento do artefato na solução do problema. Assim como na proposição do artefato, o envolvimento dos especialistas na etapa de avaliação foi de extrema importância para alcançar os resultados obtidos. A participação direta do usuário durante o desenvolvimento do projeto permite ampliar o entendimento do que deve ser construído e, conseqüentemente, reduz o risco de retrabalho por possíveis falhas na implementação do artefato. Para o artefato desenvolvido, as ocorrências de ajustes desta natureza foram mínimas. Isso pode ser observado através das repostas do questionário de avaliação aplicado aos especialistas após a demonstração do artefato digital.

O artefato digital em operação demonstrou potencial para melhorar o ambiente externo e alcançar os seus objetivos. A construção de um sistema para promover o reuso do conhecimento, conseqüentemente, gerou uma ferramenta de registro e organização das informações de projeto para o PDP. Além disso, a construção da sua interface procurou seguir a sistematização proposta pelos modelos do PDP, o que resultou em uma interface gráfica atrativa e adequada para as atividades previstas da geração de alternativas.

Apesar do artefato digital estar disponível em ambiente *web* acessível pela internet, até a conclusão desta pesquisa o seu acesso permanece restrito a um grupo limitado de usuários. A possibilidade de seu uso público é apresentada no próximo capítulo na sugestão de trabalhos futuros.

A seguir, são apresentadas as considerações finais desta pesquisa.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta o fechamento da presente pesquisa e está organizado em duas partes. A primeira parte traz a conclusão do estudo e verifica a confirmação da hipótese para o problema de pesquisa descrito no item 1.3, bem como a consecução dos objetivos propostos no item 1.4. Na segunda parte, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros, obtidas a partir das lacunas identificadas ao longo da pesquisa.

### 6.1 CONCLUSÕES

O estudo realizado apresentou um amplo campo de oportunidades para o desenvolvimento de artefatos digitais que apoiam o processo de design. Para as pesquisas em Design-by-Analogy (DbA), foco desta investigação, os estudos produzidos exploram novos caminhos para auxiliar projetistas durante o desenvolvimento de produtos a alcançar soluções inovadoras através do reuso do conhecimento.

Nas últimas décadas, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) revolucionaram os processos de acesso à informação através de ambientes virtuais em rede que conectam indivíduos, sistemas e bases de dados. No entanto, em meio a tanta informação disponível, para o reuso do conhecimento o desafio consiste em recuperar as informações relevantes para um determinado contexto que, se aplicado, gere novos conhecimentos.

Logo, foi evidenciada a importância da tecnologia ao empregar recursos computacionais como meio de viabilizar os modelos propostos pelos estudos em DbA. O campo da Computação fornece o aporte necessário para atender ao desenvolvimento destes *softwares* que, diante do progresso tecnológico e do avanço das técnicas de Inteligência Artificial (IA), constantemente ampliam as possibilidades de aplicação de novos recursos na implementação de sistemas mais inteligentes para lidar com o volume de informações disponíveis.

Diante das oportunidades de pesquisa e da lacuna observada, o presente estudo sugeriu que o reuso do conhecimento poderia contribuir para o desenvolvimento de novos produtos por meio de um artefato digital capaz de registrar e recuperar o conhecimento gerado em design. Para comprovar esta hipótese, foi

proposto, como objetivo geral, um artefato digital como instrumento de apoio para as equipes de projeto na etapa de geração de alternativas do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).

Para atingir este objetivo foram definidos objetivos específicos, desenvolvidos durante as etapas do projeto de pesquisa. A explicitação das aprendizagens, apresentada no capítulo 5, discutiu os resultados obtidos na condução desta pesquisa para a consecução dos seus objetivos.

A etapa de avaliação do artefato, apresentada no item 4.7, também procurou responder o problema de pesquisa. O cumprimento dos requisitos através da confirmação dos critérios de aceite descritos nas histórias de usuário atesta que o artefato digital opera conforme suas definições de projeto. Somado a isso, as perguntas do questionário aplicado aos especialistas após sua interação com o artefato digital ofereceram insumos de análise para responder à questão de pesquisa formulada. Logo, os resultados evidenciados por esta etapa indicam que o objetivo geral foi atingido.

O resultado gerado por esta tese é um instrumento que promove o reuso do conhecimento a partir das necessidades do usuário e das atividades da etapa de geração de alternativas do PDP e, conseqüentemente, um novo artefato digital para o campo DbA.

O artefato foi idealizado para auxiliar os projetistas na tomada de decisão durante o processo de projeto. A investigação realizada evidenciou as características das atividades previstas, bem como as responsabilidades e os desafios dos projetistas durante suas execuções. A compreensão destes aspectos orientou a definição do papel do artefato diante do seu ambiente externo e, deste modo, foi possível modelar o seu comportamento.

A combinação de técnicas já conhecidas dos projetistas, como a modelagem funcional e a matriz morfológica, foram transferidas e adaptadas para o ambiente digital no contexto do método DbA proposto. Logo, o artefato reaproveitou estas técnicas para promover o exercício projetual e armazenar o conhecimento gerado pelos projetistas a partir da aplicação destas técnicas em sua base de dados.

Além de reter o conhecimento gerado, esta abordagem permitiu a aplicação do processo de raciocínio por analogia para sugerir ao projetista soluções encontradas

em outros projetos, armazenadas na base de conhecimento, que pudessem ser reutilizadas. Por sua vez, estas soluções são descobertas a partir das relações estabelecidas por regras definidas no artefato, através do processamento computacional, que agiliza a recuperação destas sugestões e que muitas vezes podem ser não óbvias, o que amplia a possibilidade de gerar soluções mais criativas e inovadoras.

O fluxo de informações produzido pela interação entre o projetista e o artefato através do cadastro de novos projetos e suas funções, dos princípios de solução e das associações entre estes elementos e a taxonomia Functional Basis (FB) formam o tripé para o funcionamento do seu mecanismo. É um ambiente que depende essencialmente do volume e da qualidade das informações produzidas por seus usuários para recuperar o conhecimento relevante que permita o reuso. Esta condição indica que o aumento da sua base de conhecimento torna a ferramenta cada vez mais útil para atender o seu propósito.

No entanto, é relevante destacar as limitações e os pontos de atenção do artefato no que se refere às suas possibilidades de uso em ambiente real e o planejamento da sua evolução.

O início de operação do artefato requer um cadastro mínimo de informações necessárias para o seu funcionamento. A ausência de informações de projeto na base de conhecimento, por exemplo, limita o uso das funcionalidades de busca, principalmente em relação à produção das analogias. Isto não compromete o uso do artefato, tampouco a sua utilidade para o processo de geração de alternativas. A digitalização deste processo, observada pelos especialistas na etapa de avaliação, provocou a otimização na execução das atividades gerando significativa redução do tempo. Considerando que o tempo de projeto é um fator decisivo no PDP, logo, o artefato também colabora para este diferencial competitivo oferecendo maior agilidade para a tomada de decisão.

Também, o cuidado com a qualidade do cadastro das informações requer estratégias de controle durante o uso do artefato e o possível desenvolvimento de novas funcionalidades para auxiliar nesta tarefa. Os perfis de usuário são o primeiro nível de controle disponível no artefato digital. O usuário do tipo “Projetista Especialista”, por exemplo, é o único que pode realizar a gestão dos princípios de solução, elemento essencial para a qualidade da produção das analogias recuperadas

pelo artefato. Portanto, a previsão de crescimento do ambiente indica a necessidade de mecanismos que tornem possível compartilhar a responsabilidade pela gestão das informações da base de conhecimento com outros usuários e ao mesmo tempo garantir o controle da sua qualidade.

Para suportar o crescimento do ambiente, o artefato foi desenvolvido em uma infraestrutura tecnológica robusta. As tecnologias utilizadas na sua construção proporcionam o desenvolvimento de novas funcionalidades, integrações com outros sistemas e a segurança dos dados dos seus usuários. A estrutura da sua base de dados foi construída para suportar um grande volume de dados. Mesmo assim, o início da operação do artefato digital deve ser devidamente acompanhado para monitorar a sua performance a partir do aumento progressivo do volume de usuários e das informações na base de conhecimento.

Outro ponto importante apresentado pela Design Science Research (DSR) que deve ser abordado nos procedimentos finais de pesquisa é a generalização do artefato para uma classe de problemas. Isto possibilita que o artefato elaborado não se limite a respostas pontuais ao problema e contexto investigado. A generalização permite que o conhecimento gerado possa ser acessado e aplicado em situações similares por outros pesquisadores que buscam respostas para problemas da mesma classe (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2014).

Diante deste contexto, o método aplicado pelo artefato pode atender às necessidades de projetistas com diferentes níveis de conhecimento e experiência na atividade projetual. É uma ferramenta que pode apoiar o projetista no desenvolvimento de melhorias em produtos existentes ou na criação de novos. Além disso, os produtos físicos envolvidos podem ter diferentes graus de complexidade, onde o uso do artefato também colabora para a identificação de subsistemas, através das tarefas de decomposição do problema, auxiliando a diminuir a complexidade de projeto.

Também, é relevante destacar as possibilidades de aplicação do artefato tanto na indústria como na academia. No âmbito educacional, o artefato pode ser uma ferramenta útil de apoio ao ensino de projeto, ao explorar exemplos de soluções e estimular as boas práticas de projeto para a formação de novos profissionais. Para a indústria, a versatilidade do artefato permite sua adaptação a organizações que atuam em diferentes nichos de mercado. A aplicação em ambiente real pode ser a

oportunidade de avaliar sua influência para o processo criativo do indivíduo e na geração de inovação para o desenvolvimento de produtos.

Portanto, as conclusões deste trabalho evidenciaram as contribuições de pesquisa e do seu artefato gerado sob diversos aspectos. Através da DSR, o projeto de pesquisa demonstrou a importância da geração do conhecimento científico associado à criação de um artefato que possa causar mudança no ambiente investigado. O avanço da ciência e da tecnologia, por sua vez, amplia o seu alcance ao aproximar a academia do contexto industrial para promover ferramentas embasadas no conhecimento científico para contribuir com os processos de inovação, fundamental para o crescimento de qualquer sociedade.

## **6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Ao longo do seu desenvolvimento, este trabalho identificou oportunidades de novos estudos para aprofundar temas relacionados ao artefato desenvolvido. As sugestões para trabalhos futuros a partir destas oportunidades são apresentadas nesta seção.

A primeira sugestão surgiu a partir de uma contribuição realizada por um dos especialistas no grupo focal que avaliou o artefato. A sugestão propõe que o artefato ofereça meios de esclarecer o seu funcionamento e orientar o usuário no preenchimento das informações para garantir a qualidade dos conteúdos cadastrados. Neste caso, o trabalho proposto poderia observar a utilização do artefato no contexto real e a partir das dificuldades dos seus usuários propor formas de facilitar o seu uso.

Outra oportunidade de pesquisa está relacionada aos princípios de solução armazenados no artefato. O aumento da base de princípios de solução é decisivo para apoiar os processos de inovação no desenvolvimento de novos produtos. Logo, a construção de um módulo mais robusto para a gestão e criação de novos princípios pode contribuir para melhoria do artefato. Neste sentido, a criação de princípios de solução poderia contar com novos recursos, como por exemplo, a inspiração nos princípios de solução da natureza. O trabalho de Detanico (2021), apresentado no item 4.2.13, poderia ser integrado ao artefato para criar novos princípios de solução inspirados na natureza a partir da aplicação do seu método e repositório.

A produção de conhecimento gerada por seus usuários torna o artefato um ambiente favorável à colaboração. Porém, a colaboração é interna ao artefato,

limitando o projetista apenas ao acesso e visualização dos conteúdos de outros usuários. Fomentar a possibilidade de interação entre os usuários do artefato pode gerar um espaço de estímulo à troca de conhecimento. Neste caso, novos estudos poderiam explorar este tema para tornar o ambiente mais colaborativo.

Além do aumento progressivo das informações geradas pelos seus usuários, outra forma de ampliar a base de conhecimento seria através da integração com uma base de dados externa de soluções. A base de patentes americana USPTO, por exemplo, é uma alternativa que vem sendo explorada por estudos recentes (FU *et al.*, 2014; LUO; SARICA; WOOD, 2021; SARICA; LUO; WOOD, 2020). O acesso a este conhecimento gerado ampliaria significativamente as possibilidades de relações para a busca de analogias do artefato digital. Porém, a estrutura das informações armazenadas, o seu nível de abstração e as tecnologias envolvidas tornam a tarefa complexa gerando barreiras para este reaproveitamento. Para este desafio, as técnicas avançadas em IA podem contribuir para a manipulação e interpretação dos dados para que estes possam ser aplicados ao contexto do artefato.

Os estudos mais recentes em DbA indicam uma forte tendência de utilização de técnicas de IA. O presente artefato utilizou alguns conceitos aplicados na IA, como o uso de ontologias, taxonomias e algoritmos de linguagem natural para os processos de armazenamento e recuperação da informação. Porém, estes princípios podem ser considerados básicos em relação às possibilidades que a área apresenta. Logo, o estudo de técnicas avançadas em IA pode gerar novos recursos para tornar o artefato mais inteligente.

O contexto em que o artefato opera está inserido diretamente nas atividades de criação que são executadas pelos projetistas. Logo, durante as atividades o processo criativo do indivíduo é estimulado pela sua interação com o artefato. Este cenário é uma oportunidade de investigação para descobrir a influência do artefato para o processo criativo e, deste modo, aprimorar o seu comportamento.

A geração de inovação no desenvolvimento de produtos é um tópico central na etapa conceitual do PDP. O artefato, por sua vez, pode ter um papel decisivo neste processo ao apoiar o projetista durante as tarefas de criação. Para isso, é necessário avaliar os resultados obtidos durante o processo de geração de alternativa utilizando o artefato digital. Porém, o desafio consiste ainda em desenvolver métodos de

avaliação capazes de medir a contribuição do artefato para o grau de novidade gerado em uma solução.

A integração do artefato digital ao projeto Virtus (TEIXEIRA; SILVA; SILVA, 2010) ampliaria o seu alcance ao fazer parte de uma plataforma que apoia o ciclo completo do PDP. O fluxo de informações geradas poderia ser compartilhado facilmente entre as ferramentas existentes no Virtus. Algumas entradas do artefato digital, por exemplo, poderiam ser recuperadas a partir das saídas de sistemas destinados às etapas que antecedem a geração de alternativas. As informações geradas pelo artefato digital também poderiam ser reaproveitadas por outros sistemas. A ideia de integrar o artefato a uma plataforma para a gestão de projetos de produto também foi citada nas sugestões dos especialistas na etapa de avaliação. Porém, a proposta do projeto Virtus ainda deve ser desenvolvida para que este trabalho seja possível.

Em relação ao campo de DbA, um fator importante para a evolução da área é o desenvolvimento de interfaces de integração entre os artefatos digitais produzidos. O reaproveitamento prático dos estudos permitiria focar o desenvolvimento em artefatos especializados, aproximando os estudos produzidos e acelerando o avanço da área. No entanto, o desafio consiste em provocar um movimento na comunidade de pesquisa para definir padrões de desenvolvimento dos artefatos para facilitar as futuras integrações e sincronizar ações entre os pesquisadores para que os artefatos produzidos atendam as necessidades.

Por fim, a continuação desta pesquisa sugere a disponibilização deste artefato no ambiente *web* através da internet para um grupo de usuários. A operação do artefato em um contexto de uso inicial, torna possível observar seu comportamento e colher os primeiros *feedbacks* dos seus utilizadores. Esta iniciativa é recomendável para obter as primeiras percepções de valor do artefato antes de iniciar um novo ciclo de desenvolvimento e, a partir disso, priorizar suas próximas evoluções.

## REFERÊNCIAS

ALTSHULLER, G. **And Suddenly the Inventor Appeared**. Massachusetts: Technical Innovation Center, Inc., 2004.

ASKNATURE.ORG. **About AskNature**. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://asknature.org/about-asknature>. Acesso em: 1 maio. 2017.

AZIZ BUTT, S. Study of agile methodology with the cloud. **Pacific Science Review B: Humanities and Social Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psr.b.2016.09.007>

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BECK, K. *et al.* **Manifesto for Agile Software Development**. [s. l.], 2001. Disponível em: <http://agilemanifesto.org/>. Acesso em: 1 jan. 2017.

BHATTA, S. R.; GOEL, A. K. From design experiences to generic mechanisms: Model-based learning in analogical design. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 10, n. 2, p. 131–136, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060400001372>

BOHM, M. R. **Information archival and reuse : drawing conclusions from the past**. 2009. - Missouri University Of Science & Technology, Columbia, Missouri, 2009.

BOHM, M. R.; STONE, R. B.; SZYKMAN, S. Enhancing Virtual Product Representations for Advanced Design Repository Systems. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, Chicago, v. 5, n. 4, p. 360, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/1.1884618>

BONSIEPE, G. **Metodologia experimental: desenho industrial**. Brasília: CNPq, 1984.

BRASCHER, M.; CAFÉ, L. Organização da informação ou organização do conhecimento? **Temas de pesquisa em Ciência da Informação no Brasil**, São Paulo: Escola de Comunicação e Artes/USP, 2010.

BRYANT, C. R. **A Computational Theory for the Generation of Solutions During Early Conceptual Design**. 2007. - University of Missouri-Rolla, Columbia, Missouri, 2007.

BRYANT, C. R.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. A.; KURTOGLU, T.; CAMPBELL, M. I. Concept generation from the functional basis of design. *In*: 2005, **International Conference On Engineering Design Iced 05 Melbourne**. [S. l.: s. n.] p. 2–5.

BRYANT, C. R.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. a. Memic: An interactive morphological matrix tool for automated concept generation. **IIE Annual Conference and Expo 2008**, p. 1196–1201, 2008. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-63849173943&partnerID=40&md5=f07684ddaa26422f01818ebe5e38b7fe>

BRYANT, C.; STONE, R. A function-based component ontology for systems design. **International Conference on Engineering Design, ICED'07**, n. August, p. 1–12, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060407000340>

BÜRDEK, B. E. **Diseño. Historia, Teoría y Práctica del Diseño Industrial**. 3. ed. Barcelona: [s. n.], 2002.

CALL, a. N.; GALVANI, P.; NICOLESCU, B.; PAUL, P.; RANDOM, M.; ROSENBERG, M. E. Educação e transdisciplinaridade. **Brasília: UNESCO**, p. 165, 2000.

CHAKRABARTI, A.; SARKAR, P.; LEELAVATHAMMA, B.; B. NATARAJU. A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas. **AIE EDAM**, v. 19, n. 2, p. 113–132, 2005.

CHAKRABARTI, A.; SHEA, K.; STONE, R.; CAGAN, J.; CAMPBELL, M. I.; HERNANDEZ, N. V.; WOOD, K. L. Computer-Based Design Synthesis Research: An Overview. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, v. 11, n. 2, p. 021003, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/1.3593409>

CHAKRABARTI, A.; SIDDHARTH, L.; DINAKAR, M.; PANDA, M.; PALEGAR, N.; KESHWANI, S. **Idea Inspire 3.0 – A Tool For Analogical Design**. 2017. - Centre for Product Design and Manufacturing, Indian Institute of Science, Bengaluru, India, 2017.

COHN, M. **User Stories Applied: For Agile Software Development**. [S. l.]: Addison Wesley, 2004. *E-book*. Disponível em: <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>

CONDOOR, S.; LAVOIE, D. Design fixation: A cognitive model. **International Conference of Engineering Design, ICED'07**, n. August, p. 1–5, 2007.

CORRÊA, P. E.; TEIXEIRA, F. G.; MALDONADO, P. Design-by-Analogy: proposta para um modelo de ferramenta computacional de auxílio ao processo de design. **Design e Tecnologia**, v. 7, n. 14, p. 30, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.23972/det2017iss14pp30-40>

CRANFIELD, S.; PURVIS, M. UML as an ontology modeling language. **IJCAI Workshop of Intelligent Information Integration**, 1999.

CROSS, N. **Engineering Design Methods: Strategies for Product Design**. England: Wiley, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(89\)90020-4](https://doi.org/10.1016/0261-3069(89)90020-4)

CSIKSZENTMIHALYI, M. The Flow of Creativity. **Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention**, New York, New York, USA, p. 107–126, 1996.

CSIKSZENTMIHALYI, M. A Systems Perspective on Creativity. **Handbook of Creativity**, p. 3–17, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807916.018>

CURRÁS, E. Concierto y desconcierto en la organizacion del conocimiento actual y su interseccion con el mundo de la informacion. **Ciencias de la Información (Cuba)**, v. 24, n. 4, 1993.

CURRÁS, E. **Ontologías, taxonomía y tesauros: manual de construcción y uso**. Madrid: Ediciones Trea S L, 2010. v. 15 Disponível em: <https://doi.org/10.3145/epi.2006.jul.11>

DE BONO, E. **Lateral thinking: Creativity step by step**. New York, New York, USA: Harper Colophon, 1990.

DEMIAN, P. **CoMem: Design Knowledge Reuse from a Corporate Memory**. 2004. - Stanford University, Standford, 2004.

DESIGN COUNCIL. **Design for innovation Design**. London: [s. n.], 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2268-5>.

DETANICO, F. B. **Sistematização de princípios de solução da natureza para aplicação no processo criativo do projeto de produtos**. 2011. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2011.

DETANICO, F. B. **Sistematização biomimética para aplicação dos princípios de solução da natureza no processo de desenvolvimento de produtos**. 2021. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2021.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research**. São Paulo: Bookman, 2014.

DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTONIO, J.; ANTUNES, V. Design Science Research : Método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod. vol.20 no.4 São Carlos**, 2013.

FERREIRA, M. G. G. **Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual**. 1997. - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 1997.

FORCELLINI, F. A. Desenvolvimento de Produtos e sua importância para a competitividade. 2002.

FRANKEN, R. **Human Motivation**. 3rd Revise ed. Belmont, CA: Brooks/Cole Pub Co., 1994.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. **Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour**. London: Pinter Publishers, 1988.

FU, K.; MURPHY, J.; YANG, M.; OTTO, K.; JENSEN, D.; WOOD, K. Design-by-analogy: experimental evaluation of a functional analogy search methodology for concept generation improvement. **Research in Engineering Design**, v. 26, n. 1, p. 77–95, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00163-014-0186-4>

GENTNER, D. Structure Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. **Cognitive science**, v. 7, n. 2, p. 155–170, 1983. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(83\)80009-3](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(83)80009-3)

GILL, A. S.; TSOKA, A. N.; SEN, C. Dimensions of product similarity in design by analogy: An exploratory study. **Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference**, v. 7, n. July, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/DETC2019-98252>

GOEL, A. **DANE: Design by Analogy to Nature Engine**. [s. l.], 2012. Disponível em: <http://dilab.cc.gatech.edu/dane/>. Acesso em: 1 maio. 2017.

GOEL, A. K. Biologically inspired design: A New Paradigm for AI Research on Computational Sustainability? **IEEE Intelligent Systems**, v. 28, n. 3, p. 80–84, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MIS.2013.58>

GOEL, A. K.; BHATTA, S. R.; STROULIA, E. **Kritik: An Early Case-Based Design System**. 1997. - Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1997.

GOEL, A. K.; MCADAMS, D. A.; STONE, R. B. **Biologically Inspired Design: Computational Methods and Tools**. New York: Springer, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5248-4>

GRUBER, T. . A translation approach to portable ontologies. **Knowledge Acquisition**, v. 5, p. 199–220, 1993.

GUARINO, N. Formal ontology and information systems. **International Journal of Human-Computer Studies - Special issue: the role of formal ontology in the information technology**, Amsterdam, p. 3–15, 1998.

GUILFORD, J. P. **Creative Talents: Their nature, uses and development**. [S. l.]: Bearly Limited, 1986.

GUNDUZ, M.; YETISIR, T. A design reuse technology to increase productivity through automated corporate memory system. **Neural Computing and Applications**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2586-z>

HALL, E. **Just Enough Research**. 2nd Edition ed. [S. l.]: A Book Apart, 2019.

HAN, J.; SHI, F.; CHEN, L.; CHILDS, P. R. N. A computational tool for creative idea generation based on analogical reasoning and ontology. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM**, v. 32, n. 4, p. 462–477, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060418000082>

HIRTZ, J.; STONE, R. B.; MCADAMS, D. a. A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. **Research in Engineering Design**, v. 13, p. 65–82, 2002. Disponível em: <https://doi.org/DOI: 10.1007/s00163-001-0008-3>

HUNDAL, M. A Systematic Method for Developing Function Structures, Solutions and Concept Variants. **Mechanism and Machine Theory**, p. 25(3):243-256, 1990.

ICSID. **International Council of Societies of Industrial Design**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <http://www.icsid.org/about/definition/>

JANSSON, D. G.; SMITH, S. M. Design fixation. **Design Studies**, Texas, v. 12, 1991.

JEFFRIES, R. **Essential XP: Card, Conversation, Confirmation**. [s. l.], 2001. Disponível em: <https://ronjeffries.com/xprog/articles/expcardconversationconfirmation/>. Acesso em: 31 ago. 2021.

JIANG, S.; HU, J.; WOOD, K. L.; LUO, J. Data-Driven Design-by-Analogy: State of the Art and Future Directions. 2021. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2106.01592>

KARSNITZ, J. R.; O'BRIEN, S.; HUTCHINSON, J. P. **Engineering Design: An Introduction**. 2. ed. Boston, Massachusetts, EUA: Cengage Learning, 2012.

KESHWANI, S.; CHAKRABARTI, A. Towards automatic classification of description of analogies into SAPPhIRE constructs. *In: Smart Innovation, Systems and Technologies*. [S. l.: s. n.]. v. 66p. 643–655. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3521-0\\_55](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3521-0_55)

KOGUT, P.; CRANEFIELD, S.; HART, L.; DUTRA, M.; BACLAWSKI, K.; KOKAR, M.; SMITH, J. UML for ontology development. **Knowledge Engineering Review**, v. 17, n. 1, p. 61–64, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0269888902000358>

LE COADIC, Y.-F. **A Ciência da Informação**. 2.ed ed. Brasília: Briquet de Lemos,

2004.

LIBARDI, P. L. O.; BARBOSA, V. **Métodos Ágeis**. 2010. - Universidade Estadual de Campinas, [s. l.], 2010.

LIMA, J. L. O.; ALVARES, L. Organização e representação da informação e do conhecimento. **Organização da Informação e do Conhecimento**, p. 248, 2012. Disponível em: [http://www.b4editores.com.br/images/capitulos/Organização\\_capitulo.pdf](http://www.b4editores.com.br/images/capitulos/Organização_capitulo.pdf)

LINSEY, J. S. **Design-by-analogy and representation in innovative engineering concept generation**. 2007. - University of Texas at Austin, Texas, 2007. Disponível em:

[http://search.proquest.com/docview/849452735?accountid=14116%5Cnhttp://ensor.lib.strath.ac.uk/sfxlcl41?url\\_ver=Z39.88-](http://search.proquest.com/docview/849452735?accountid=14116%5Cnhttp://ensor.lib.strath.ac.uk/sfxlcl41?url_ver=Z39.88-)

[2004&rft\\_val\\_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:book&genre=book&sid=ProQ:Mechanical+&+Transportation+Engineering+Abstracts&atitle=&title=Design-by-a](http://search.proquest.com/docview/849452735?accountid=14116%5Cnhttp://ensor.lib.strath.ac.uk/sfxlcl41?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:book&genre=book&sid=ProQ:Mechanical+&+Transportation+Engineering+Abstracts&atitle=&title=Design-by-a)

LINSEY, J.; TEXAS, A.; MARKMAN, A. WordTrees : A Method for Design-by-Analogy. **American Society for Engineering Education**, Texas, 2008.

LÖBACH, B. **Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. Rio de Janeiro, Brasil: Editora Edgard Blücher Ltda., 2001. *E-book*. Disponível em: <http://books.google.com/books?id=hm0hAAAACAAJ&pgis=1>

LUCERO, B. M. **Design-Analogy Performance Parameter System (D-APPS)**. 2014. - Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2014.

LUO, J.; SARICA, S.; WOOD, K. L. Guiding data-driven design ideation by knowledge distance. **Knowledge-Based Systems**, v. 218, n. February, p. 106873, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106873>

MALDONADO, P. **Inspirar aprendizes de feiticeiro (alunos de Design)**. Buenos Aires: In: Actas de Diseño – V Congreso Latinoamericano de Enseñanza del Diseño. Año IX, 2014.

MALDONADO, P. **Inspædia: inovação, design et cetera**. Lisboa: Universidade Lusíada Editora, 2017.

MALDONADO, P.; DUARTE, J.; CORREIA, N.; ERMIDA, P. Inspædia report : an inspired research itinerary The research journey that we report on in this article took place in 3 working contexts: n. July, 2017 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60582-1>

MALDONADO, P.; DUARTE, J. P.; CÂMARA, A.; CORREIA, N.; FERRÃO, L.; ERMIDA, P. Inspædia Report: An Inspired Research Itinerary. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 588, p. 432–442, 2017 b. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60582-1\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60582-1_43). Acesso em: 6 fev. 2022.

MALDONADO, P.; FERRÃO, L. **Inspædia: uma rede de inteligência colaborativa inspiradora**. Buenos Aires: [s. n.], 2013.

MALDONADO, P.; FERRÃO, L. Inspiration Mining: Intersecting Improbable Connections in a New Landscape of Cultural Reflection and Influence. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 966, p. 480–489, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20151-7_45). Acesso em: 6 fev. 2022.

MALDONADO, P.; FERRÃO, L.; ERMIDA, P. Inspædia: Changing the landscape of cultural reflection and influence through user experience design. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 588, n. July, p. 462–468, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60582-1\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60582-1_46). Acesso em: 6 fev. 2022.

MALDONADO, P. J. C. **Inovação, design et cetera**. 2012. - Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

MALDONADO, P.; SILVA, F. M. da; TEIXEIRA, F.; FERRÃO, L.; ERMIDA, P.; PASSOS, M.; MOREIRA, F.; TEIXEIRA, F.; FERRÃO, L.; ERMIDA, P.; PASSOS, M. Inspædia user experience design (UXD). *In*: 2015, **6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE**. : Elsevier, 2015. p. 6044–6051. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2015.07.727>

MALDONADO, P.; SILVA, F. M. da; TEIXEIRA, F. G. **Inspædia, inspiring a collaborative intelligence network: designing the user experience**. [S. l.]: Set: Proceedings of the 5th AHFE Conference 19-23 July, 2014.

MALDONADO, P.; TEIXEIRA, F.; DUARTE, J. P.; CÂMARA, A.; ERMIDA, P.; CORREIA, N.; FERRÃO, L.; ERMIDA, P.; PASSOS, M. Inspædia : [almost] everything about simplicity , playfulness and inspiration. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 486, n. March 2018, p. 231–243, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41685-4>. Acesso em: 6 fev. 2022.

MALMQVIST, J.; AXELSSON, R.; JOHANSSON, M. A Comparative Analysis of the Theory of Inventive Problem Solving and the Systematic Approach of Pahl and Beitz. **ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference August 18-22, 1996, Irvine, California**, n. January 1996, p. 96- DETC/DTM-1529, 1996.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

MEDEIROS, J. D. S.; CAMPOS, M. L. D. A. Tesouro conceitual e ontologia de fundamentação: Análise de elementos similares em seus modelos de representação de domínios. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 776, p. 213–218, 2011.

MILLER, G. A. WordNet: a lexical database for English. **Communications of the ACM**, v. 38, n. 11, p. 39–41, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/219717.219748>

MKHININI, M. M.; LABBANI-NARSIS, O.; NICOLLE, C. Combining UML and ontology: An exploratory survey. **Computer Science Review**, v. 35, p. 100223, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2019.100223>

MOREIRA, A. Uso de ontologia em sistemas de informação computacionais. **Perspectivas em ciência da informação**, v. v. 7, n. 031, p. 49–60, 2002. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/view/413>

MORENO, D. P.; HERNÁNDEZ, A. A.; YANG, M. C.; OTTO, K. N.; HÖLTTÄ-OTTO, K.; LINSEY, J. S.; WOOD, K. L.; LINDEN, A. Fundamental studies in Design-by-Analogy: A focus on domain-knowledge experts and applications to transactional design problems. **Design Studies**, v. 35, n. 3, p. 232–272, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2013.11.002>

MORGAN, D. L. **Focus Groups as Qualitative Research**. Second Edition. London: SAGE PUBLICATIONS, 1997. v. 16

MORGENTHALER, P. R. **Analogy Matching with Function, Flow and Performance**. 2016. - Faculty and the Board of Trustees of the Colorado School of Mines, [s. l.], 2016.

MURPHY, J.; FU, K.; JENSEN, D.; WOOD, K.; YANG, M. Facilitating Design-By-Analogy: Development Of A Complete Functional Vocabulary And Functional Vector Approach To Analogical Search. **Journal of Mechanical Design**, v. 136, n. 10, p. 101102, 2014.

MURPHY, J. T. **Patent-based analogy search tool for innovative concept generation**. 2011. - The University of Texas at Austin, [s. l.], 2011.

NAGEL, J. K. S.; STONE, R. B. A computational concept generation technique for biologically-inspired, engineering design. **4th International Conference on Design Computing and Cognition, DCC'10**, p. 721–740, 2011. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80052117175&partnerID=40&md5=690add4f7cbdf9b348b427bfd59e05>

NAGEL, J. K. S.; STONE, R. B. A computational approach to biologically inspired design. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 26, n. November, p. 161–176, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0890060412000054>

NGO, P. **SURVEYING TRENDS IN ANALOGY-INSPIRED PRODUCT INNOVATION by COPYRIGHT © 2014 BY PETER NGO SURVEYING TRENDS IN ANALOGY-INSPIRED**. 2014. - Georgia Institute of Technology, [s. l.], 2014.

NOVICK, L. R. Analogical Transfer Problem Similarity, and Expertise. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, 1988.

NOY, N.; MCGUINNESS, D. Desarrollo de Ontologías-101: guía para crear tu primera ontología. **De Ontologías-101: Guía Para Crear Tu Primera Ontología**, Stanford, p. 1–29, 2005.

OECD. Manual de Oslo: Diretrizes para a Coleta e Interpretação de dados sobre Inovação Tecnológica. **OCDE, Eurostat e Financiadora de Estudos e Projetos**, p. 184, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264065659-es>

ORIAKHI, E. V.; LINSEY, J. S.; PENG, X. Design-by-analogy using the wordtree method and an automated wordtree generating tool. **International Conference on Engineering Design, ICED'11**, n. August, 2011.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design A Systematic Approach**. London: Springer, 1988.

PARREIRA, S. I. M. **DESIGN-EN-PLACE: Processo de design e processo criativo na alta cozinha**. 2014. - Universidade de Lisboa, [s. l.], 2014.

PATTON, J. **User Story Mapping**. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10354-004-0110-z>

PAWAR, R. P. A Comparative study of Agile Software Development Methodology and traditional waterfall model. **IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)**, p.

1–8, 2015.

PICHLER, R. **Strategize: Product Strategy and Product Roadmap Practices for the Digital Age**. [S. l.]: Pichler Consulting, 2016. v. 53

PINHEIRO, I. R.; GONTIJO, L. A. Sobre a definição de inovação em design: O uso da análise de redes para explorar conceitos complexos. **Revista Brasileira de Design da Informação**, p. 357–375, 2015.

PMI. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK®)**. 5. ed. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2013. Disponível em: <https://doi.org/19073-3299>

POMBO, F.; TSCHIMMEL, K. O Sapiens e o Demens no pensamento do design : a percepção como centro. **Revista Design em Foco**, v. II, p. 63–76, 2005. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66120206>

PRUITT, J.; GRUDIN, J. **Personas : Practice and Theory**. 1995.

ROMEIRO FILHO, E. **Projeto do Produto**. São Paulo, Brasil: Elsevier, 2010.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L. da; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SALES, de R.; CAFÉ, L. Diferenças entre tesouros e ontologias. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 14, n. 1, p. 99-116, jan./abr., 2009.

SARICA, S.; LUO, J.; WOOD, K. L. TechNet: Technology semantic network based on patent data. **Expert Systems with Applications**, v. 142, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112995>

SCALICE, R. K. **Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e beneficiamento de mexilhões**. 2003. - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, [s. l.], 2003.

SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. **The Scrum Guide - The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2009.08.012>

SILVA, D. L. da; DEMARQUES, E. A.; SOUZA, R. R.; OLIVEIRA, G. A. B. de. Ontologies and Unified Modeling Language: an approach to representation of domains of knowledge. **Revista de Ciência da Informação**, v. 10, 2009.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3rd Editio ed. Cambridge, Massachusetts, EUA: The MIT Press, 1996.

SMITH, A. **A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

SOMMERVILLE, I. **Ingeniería del Software - 7ª edición**. Madrid: Pearson Addison Wesley, 2005.

STERNBERG, R. J.; LUBART, T. I. The concept of creativity: Prospects and Paradigms. In: **Handbook of Creativity**. Melbourne: STERNBERG, R., 1999.

STONE, R. B.; WOOD, K. L. Development of a Functional Basis for Design. **Journal**

of **Mechanical Design**, p. 1–36, 2001.

STRAWBRIDGE, Z.; MCADAMS, D. A.; STONE, R. B. A computational approach to conceptual design. **ASME Design Engineering Technical Conference**, p. 15–25, 2002. Disponível em: <https://doi.org/DETC2002/DTM-34001>

SZYKMAN, S.; RACZ, J. W.; SRIRAM, R. D. The Representation Of Function In Computer-Based Design. *In*: 1999, Las Vegas, Nevada. **Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences**. Las Vegas, Nevada: [s. n.], 1999. p. 1–14.

SZYKMAN, S.; SRIRAM, R. D. Design and implementation of the web-enabled nist design repository. **ACM Transactions on Internet Technology**, v. 6, n. 1, p. 85–116, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1125274.1125278>

SZYKMAN, S.; SRIRAM, R. D.; BOCHENEK, C.; RACZ, J. W.; SENFAUTE, J. Design Repositories: Engineering Design's New Knowledge Base. **IEEE Intelligent Systems**, p. 48–55, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/5254.846285>

TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R. P. da; SILVA, T. L. K. da. Um Sistema on-Line Para O Design De Produtos. **9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em DesignAnais...**, n. June, 2010. Disponível em: <http://blogs.anhembri.br/congressodesign/anais/artigos/70069.pdf>

THE BIOMIMICRY INSTITUTE. Ask Nature! **BioInspired!**, v. 6, n. 3, 2008.

TOMKO, M.; LUCERO, B.; TURNER, C.; LINSEY, J. Establishing Functional Concepts Vital for Design by Analogy. **IEEE**, 2015.

TSENG, I.; MOSS, J.; CAGAN, J.; KOTOVSKY, K. The role of timing and analogical similarity in the stimulation of idea generation in design. **Design Studies**, p. 203–221, 2008.

TULI, A.; HASTEER, N.; SHARMA, M.; BANSAL, A. Empirical Investigation of agile software development: A Cloud Perspective. **ACM SIGSOFT Software Engineering Notes**, v. 39, n. 4, p. 1–6, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2632434.2632447>

ULLMAN, D. **The mechanical design process**. New York, New York, USA: McGraw-Hill, 2010. *E-book*. Disponível em: [http://maelabs.ucsd.edu/mae3/Assignments/Energy\\_Analysis/factor\\_of\\_safety/FactorOfSafetyGuidelines-Ullman.pdf](http://maelabs.ucsd.edu/mae3/Assignments/Energy_Analysis/factor_of_safety/FactorOfSafetyGuidelines-Ullman.pdf)

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 6. ed. New York, New York, USA: McGraw-Hill, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

VERHAEGEN, P. A.; D'HONDT, J.; VANDEVENNE, D.; DEWULF, S.; DUFLOU, J. R. Identifying candidates for design-by-analogy. **Computers in Industry**, v. 62, n. 4, p. 446–459, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2010.12.007>

VIARO, F.; HALPERN, M.; SILVA, T. K.; SILVA, R. P. da. Pesquisa visual e Ideação na prática projetual: um estudo de caso da plataforma Inspaedia. p. 2492–2505, 2019. Disponível em: [https://doi.org/10.5151/ped2018-3.3\\_aco\\_61](https://doi.org/10.5151/ped2018-3.3_aco_61)

VOSNIADOU, S. Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a

developmental perspective. **Similarity and analogical reasoning**, 1989. Disponível em:

[http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6lNZNzZs03oC&oi=fnd&pg=PA413&dq=Analogical+reasoning+as+a+mechanism+in+knowledge+acquisition:+a+developmental+perspective&ots=Ald8ef6U\\_u&sig=hECIRW-UlcQbdEawaQNy92L7V58](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=6lNZNzZs03oC&oi=fnd&pg=PA413&dq=Analogical+reasoning+as+a+mechanism+in+knowledge+acquisition:+a+developmental+perspective&ots=Ald8ef6U_u&sig=hECIRW-UlcQbdEawaQNy92L7V58)

ZAVADIL, P.; SILVA, R. P.; TSCHIMMEL, K. Modelo Teórico do Pensamento e Processo Criativo em Indivíduos e em Grupos de Design. **Design & Tecnologia 12 (2016)**, v. 12, 2016.

ZHANG, R.; CHA, J.; LU, Y. A conceptual design model using axiomatic design, functional basis and TRIZ. **2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, p. 1807–1810, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IEEM.2007.4419504>

## APÊNDICES

### APÊNDICE A

#### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Artefato digital de apoio à geração de alternativas no processo de design

Você está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. O objetivo deste trabalho é propor um artefato digital para o processo de design como instrumento de auxílio para as equipes de projeto na busca por soluções na etapa de geração de alternativas. Sua colaboração neste estudo é voluntária e será de muita importância para o desenvolvimento e validação do artefato proposto, mas, se desistir a qualquer momento, isso não lhe causará nenhum prejuízo.

O participante da pesquisa fica ciente que:

- i. deverá participar de dois grupos focais, ambos com duração de aproximadamente 1 hora e 30 minutos cada. Sendo assim, será necessário que você compareça ao encontro de forma presencial ou remota, conforme orientação do organizador, para as atividades em duas oportunidades. No primeiro grupo, será apresentado o artefato em protótipo de papel aos participantes e, no segundo, o *software* em seu estado funcional. Durante as atividades, nos dois encontros, você será convidado(a) a compartilhar sua opinião com o grupo, identificando pontos de concordância e especificidades do que foi apresentado. Para acompanhamento da atividade serão feitos registros de áudio e vídeo para posterior transcrição dos dados coletados. O pesquisador se disponibiliza a esclarecer eventuais dúvidas antes, durante e após o curso da dinâmica;
- ii. Benefícios: para o(a) participante há a possibilidade de contribuir para o avanço da área de pesquisa do design relacionada aos processos de design. Para a comunidade acadêmica, busca-se ampliar o conhecimento dos processos de design, de forma a gerar inovação e contribuições para os processos de ensino de projeto. Para a comunidade em geral, será disponibilizada uma nova ferramenta de auxílio ao projeto;
- iii. Riscos: a pesquisa apresenta riscos mínimos aos participantes que podem ser o constrangimento ou desconforto por se expor nos grupos focais ou pelo fato do registro de áudio ou vídeo das atividades. Estes riscos serão minimizados com a garantia ao participante em se negar a responder ou participar e retirar seu consentimento em qualquer momento;
- iv. os dados coletados serão tratados sempre de forma agrupada, protegendo a sua identidade. Todos os dados, inclusive as imagens e vozes, serão

armazenados sob inteira responsabilidade do pesquisador e serão mantidos em sigilo pelos pesquisadores, assegurando ao(à) participante a privacidade quanto aos dados confidenciais envolvidos na pesquisa;

- v. os resultados poderão ser divulgados em publicações científicas, mantendo sigilo dos dados pessoais;
- vi. durante a realização da pesquisa, serão obtidas as assinaturas dos participantes da pesquisa e do(a) pesquisador(a). Também constarão em todas as páginas do TCLE as rubricas do(a) pesquisador(a) e do(a) participante da pesquisa;
- vii. Caso o(a) participante da pesquisa desejar, poderá pessoalmente, ou por meio de e-mail, entrar em contato com o(a) pesquisador(a) responsável para tomar conhecimento dos resultados parciais e finais desta pesquisa.

CONSENTIMENTO: recebi claras explicações sobre o estudo, todas registradas neste formulário de consentimento. Os investigadores do estudo responderam e responderão, em qualquer etapa do estudo, a todas as minhas perguntas, até a minha completa satisfação. Portanto, estou de acordo em participar do estudo. Este Formulário de Consentimento Pré-Informado será assinado por mim e arquivado na instituição responsável pela pesquisa. O pesquisador me informou que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa CEP-UFRGS (Av. Paulo Gama, 110 - Sala 321; Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro; Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060; Fone: +55 51 3308 3738; E-mail: [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br)).

Assim, declaro minha ciência sobre os procedimentos desta pesquisa e minha condição voluntária de participante.

Nome do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do participante: \_\_\_\_\_

Nome do pesquisador responsável: Pablo Ermida Corrêa ([pablo.ermida@ufrgs.br](mailto:pablo.ermida@ufrgs.br))

Assinatura do pesquisador: \_\_\_\_\_

Porto Alegre, 01 de fevereiro de 2019.

## APÊNDICE B

### Roteiro para o Grupo Focal 1: apresentação do protótipo em papel

#### **Introdução (15')**

1. Agradecimento inicial pela presença de todos;
2. Instruções gerais de como o grupo será conduzido e sobre o uso de gravadores, o sigilo das informações e o tempo de duração;
3. Apresentação dos objetivos da pesquisa e do grupo focal;
4. Rodada inicial possibilitando a todos um comentário geral sobre o tema;

#### **Apresentação do protótipo em papel (30')**

5. Apresentação das funcionalidades existentes do artefato e dos principais conceitos que guiaram o seu desenvolvimento;
6. Apresentação de exemplos hipotéticos contendo um problema de projeto específico para ser resolvido durante a etapa conceitual do processo de design;
7. Explicação do fluxo de interação, através de protótipo em papel, que representa a sequência de telas da interface gráfica em que o usuário interage com o artefato para auxílio na resolução do problema;
8. Apontar as contribuições do artefato no contexto apresentado;

#### **Perguntas para guiar a discussão (caso necessário) – (30')**

9. Qual percepção inicial de cada um sobre o protótipo?
10. Quais os pontos positivos e negativos identificados no protótipo?
11. Se pudessem fazer uma ou mais alterações, o que fariam?
12. De 1 a 5, (sendo 1 nota mínima e 5 a nota máxima), como avaliam o potencial do protótipo para atender ao objetivo da pesquisa? Por que?

#### **Encerramento (15')**

13. Última rodada de considerações finais para dúvidas ou sugestões;
14. Agradecimento final e encerramento do grupo.

## APÊNDICE C

### Roteiro para o Grupo Focal 2: apresentação do artefato digital

#### Introdução (15')

1. Agradecimento inicial pela presença de todos;
2. Instruções gerais de como a atividade será conduzida e informar questões sobre o uso de gravadores, o sigilo das informações e o tempo de duração;
3. Apresentação dos objetivos da pesquisa e do grupo focal;
4. Apresentação do resultado do primeiro grupo focal;

#### Apresentação do artefato digital (50')

5. Apresentação geral do *software* e orientação de como realizar o acesso;
6. Apresentação do exemplo da Máquina de Lavar Mexilhões;
7. Editar uma modelagem funcional para um projeto de exemplo;
8. Utilizar a taxonomia *Funcitional Basis*;
9. Buscar princípios de solução para uma função;
10. Identificar uma nova analogia;
11. Combinar princípios de solução para a função;
12. Gerar alternativas.

#### Avaliação do artefato digital – (15')

13. Apresentação do formato da avaliação;
14. Instruções para o preenchimento;
15. Disponibilizar o link de acesso ao questionário;

#### Encerramento (10')

16. Última rodada de considerações finais para dúvidas ou sugestões;
17. Agradecimento final e encerramento do grupo.

# APÊNDICE D

## Protótipo em telas para discussão do Grupo Focal 1



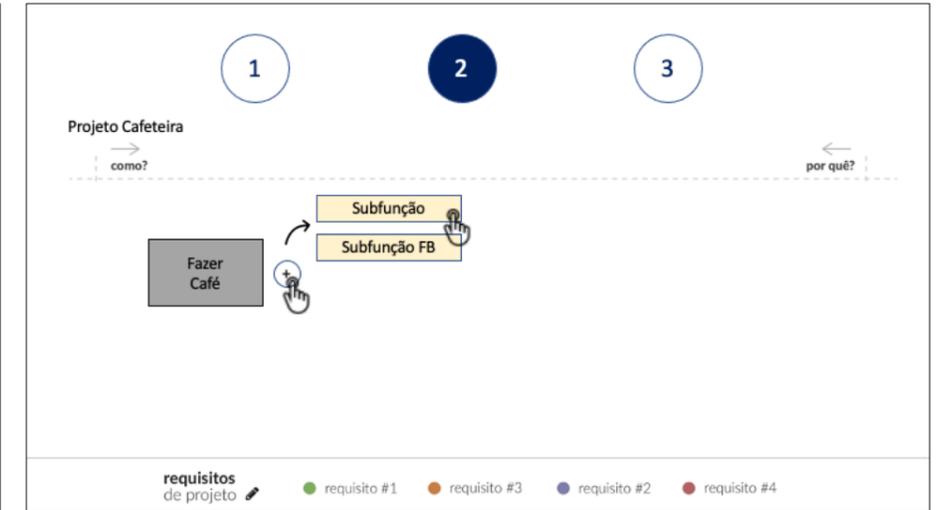
**Tela 1: informações do projeto.**

Apresenta as informações básicas para identificação do projeto, os membros da equipe e os requisitos de projeto e usuário.



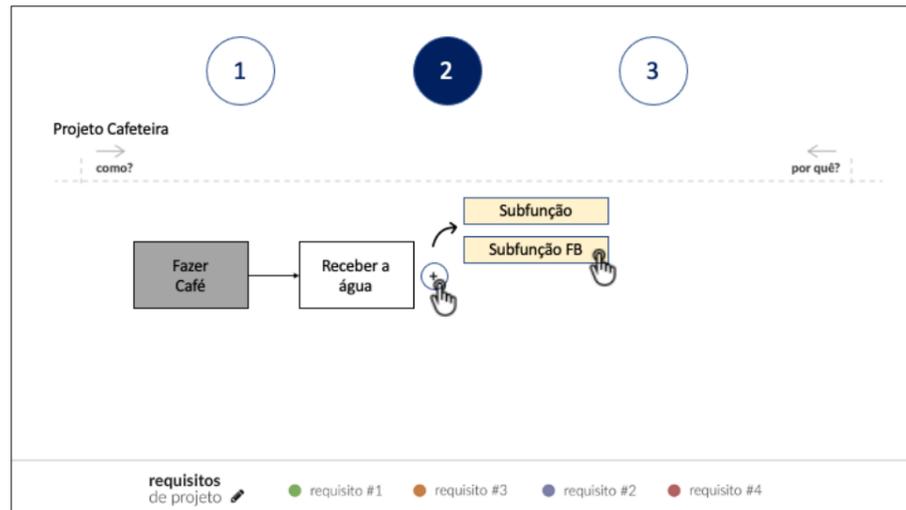
**Tela 2: função global.**

Espaço para informar qual a função global do produto.



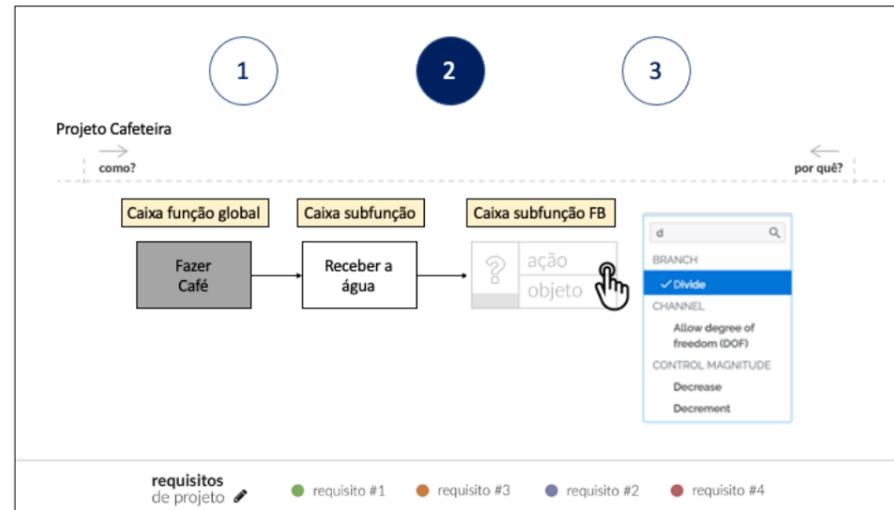
**Telas 3: modelar funcionalmente o produto.**

Interface gráfica que permite o usuário criar uma árvore funcional. Possibilita criar funções parciais ou elementares (utiliza a taxonomia Functional Basis).



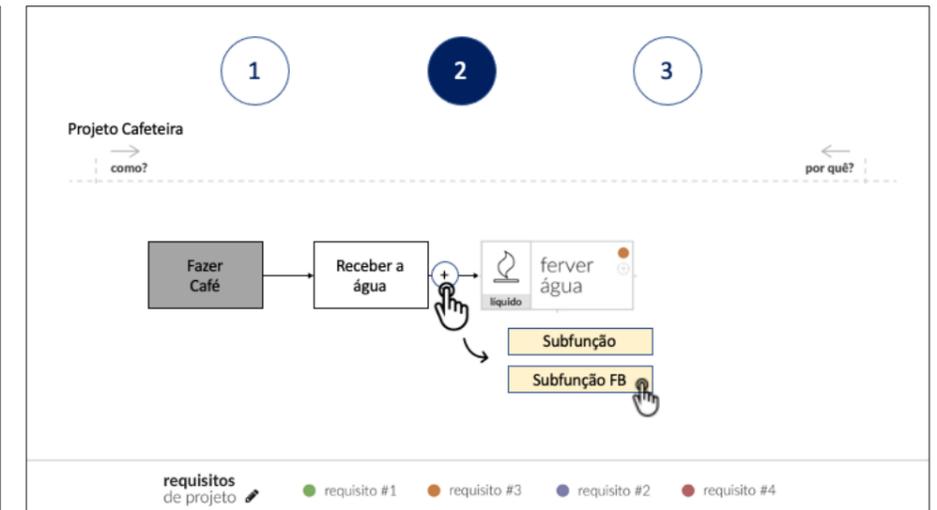
**Tela 4: função parcial.**

Apresenta um exemplo com uma função parcial, sem utilizar a taxonomia *Funcional Basis*.



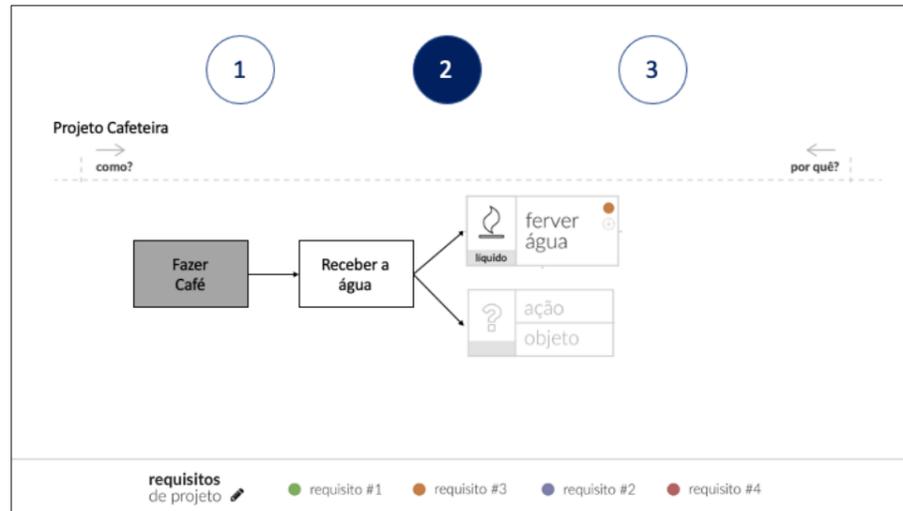
**Tela 5: função elementar.**

Apresenta um exemplo com uma função elementar, utilizando a taxonomia *Functional Basis*. Os termos da taxonomia podem ser selecionados para ação e objeto da ação.



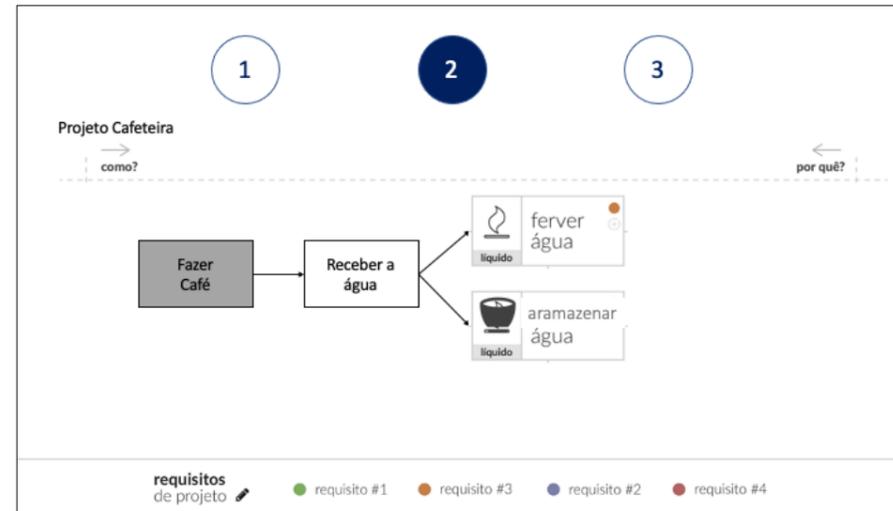
**Tela 6: nova subfunção para a mesma função parcial.**

Exibe como a árvore funcional pode ser desenvolvida ao criar uma nova subfunção para a função parcial existente.



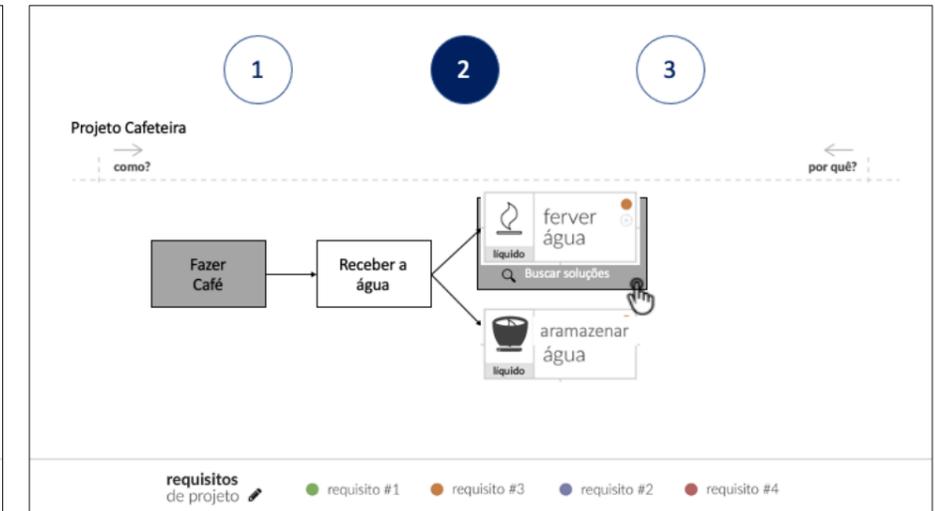
**Tela 7: nova função elementar.**

A nova função elementar é criada no mesmo nível da função elementar “ferver água”.



**Tela 8: árvore funcional.**

Exemplo parcial da árvore funcional de uma cafeteira. A interface permite incluir novos nodos na árvore a partir de qualquer nodo, formando a árvore funcional completa para um produto.



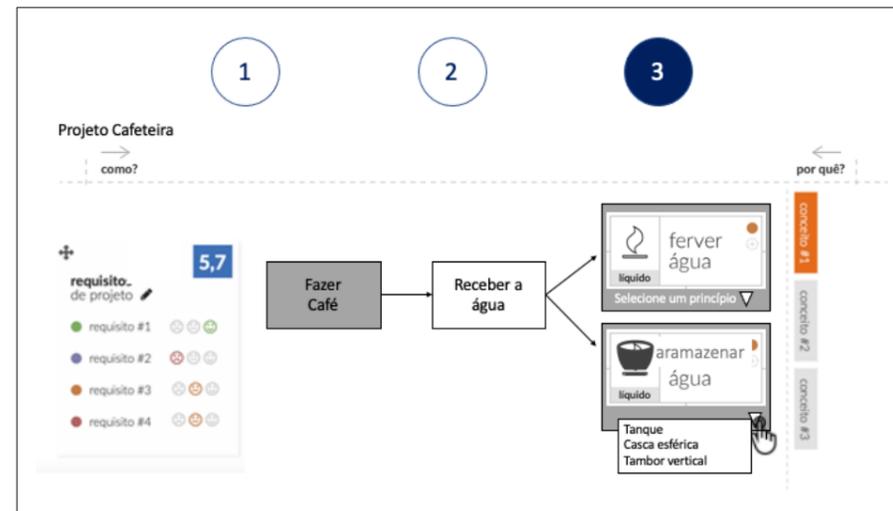
**Tela 9: buscar princípios de solução.**

As funções elementares permitem buscar princípios de solução para resolver a função do produto.



**Tela 10: visualizar princípios de solução.**

Apresentar os princípios de solução disponíveis no sistema para associar a função. Também, sugerir princípios de solução aplicadas em outros projetos para a mesma função.



**Tela 11: criar alternativas para o produto.**

Para a estrutura funcional, possibilitar criar uma ou mais alternativas, cada uma contendo uma configuração da estrutura do produto formada pela combinação de uma função elementar e um dos princípios de solução selecionado na etapa anterior. Também, permitir a avaliação dos requisitos para a alternativa proposta.

## APÊNDICE E

## Flat Product Backlog

ID	Épico	História de usuário	Como um(a)...	Eu quero...	Para...	Critérios de Aceite	Validação	Release
1	Autenticação do usuário	Registrar usuário	Projetista ou Projetista Especialista	me registrar no sistema	poder me autenticar no sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usuário deverá preencher nome, e-mail, senha e confirmar senha;</li> <li>Se o e-mail do usuário não existe, deve cadastrar o usuário e redirecionar para a tela de login;</li> <li>Senão, informar que o usuário já existe no sistema.</li> </ul>	✓	1
2	Autenticação do usuário	Realizar o login	Projetista ou Projetista Especialista	me autenticar no sistema	ter acesso às funcionalidades do sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usuário deverá preencher usuário e senha;</li> <li>Verificar na base de dados se usuário e senha conferem e se está ativo;</li> <li>Se autenticou, redirecionar o usuário para a tela inicial do ambiente;</li> <li>Senão, informar que os dados estão incorretos e solicitar novamente o login.</li> </ul>	✓	1
3	Autenticação do usuário	Relembrar senha	Projetista ou Projetista Especialista	relembrar minha senha	ter novamente acesso ao sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usuário deverá preencher o e-mail cadastrado;</li> <li>Se o e-mail existe na base de dados, enviar para o e-mail cadastrado um link para a tela de redefinir senha;</li> <li>Senão, informar que o e-mail não existe.</li> </ul>	✓	2
4	Autenticação do usuário	Alterar senha	Projetista ou Projetista Especialista	alterar a minha senha	definir uma nova senha	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usuário deverá preencher a nova senha e confirmar a senha;</li> <li>Se as duas senhas informadas forem iguais e conter um mínimo de 6 dígitos, a senha é alterada com sucesso;</li> <li>Senão, informar o erro e solicitar novamente o preenchimento.</li> </ul>	✓	2
5	Gerenciar usuários	Listar usuários	Projetista Especialista	visualizar todos os usuários cadastrados no sistema	ter acesso aos usuários	<ul style="list-style-type: none"> <li>Listar todos os usuários do sistema;</li> <li>Apresentar colunas: nome, perfil, data criação e status;</li> <li>Oferecer filtro de busca para todas as colunas;</li> <li>Permitir a ordenação por colunas;</li> <li>Fornecer paginação dos resultados (10 - 100 registros);</li> <li>Botões de acesso para: incluir, editar e excluir usuário.</li> </ul>	✓	1
6	Gerenciar usuários	Incluir usuários	Projetista Especialista	incluir um usuário no sistema	permitir seu acesso ao sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informar se o cadastro do usuário está ativo ou não;</li> <li>Selecionar tipo (Projetista ou Projetista Especialista);</li> <li>Informar nome do usuário (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar e-mail (obrigatório, e-mail válido e até 50 caracteres);</li> <li>Informar senha (obrigatório, mínimo 6 e máximo 20 caracteres);</li> <li>Confirmar a senha (obrigatório, deve ser igual a senha).</li> </ul> <p><b>Ao salvar:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se campos preenchidos corretamente e o e-mail do usuário não existe na base de dados, deve cadastrar o usuário e redirecionar para a lista de usuários com mensagem de sucesso;</li> <li>Senão, informar o erro e solicitar as correções.</li> </ul>	✓	1
7	Gerenciar usuários	Editar usuários	Projetista Especialista	editar um usuário existente no sistema	modificar seus dados cadastrais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permitir editar e salvar as informações apresentadas na história #6;</li> </ul>	✓	1
8	Gerenciar usuários	Excluir usuários	Projetista Especialista	excluir um usuário cadastrado	remover os seus acessos do sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar alerta de confirmação de exclusão;</li> <li>Excluir o usuário logicamente alterando o atributo ativo para falso, para manter sua trilha de uso no sistema.</li> </ul>	✓	1

9	Gerenciar requisitos	Listar requisitos	Projetista Especialista	visualizar todos os requisitos cadastrados no sistema	ter acesso aos requisitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Listar todos os requisitos do sistema;</li> <li>Apresentar colunas: nome, tags, descrição, tipo e data criação;</li> <li>Oferecer filtro de busca para todas as colunas;</li> <li>Permitir a ordenação por colunas;</li> <li>Fornecer paginação dos resultados (10 - 100 registros);</li> <li>Botões de acesso para: incluir, editar e excluir requisitos.</li> </ul>		1
10	Gerenciar requisitos	Incluir requisitos	Projetista Especialista	incluir um requisito no sistema	ser utilizado por projetos para requisitos de projeto ou usuário	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selecionar tipo (Projeto ou Usuário);</li> <li>Informar nome do requisito (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar descrição (obrigatório e até 255 caracteres);</li> <li>Selecionar uma ou mais tags (obrigatório, exibir as tags cadastradas no sistema para requisitos, 1 ou mais);</li> <li><b>Ao salvar:</b></li> <li>Verificar se os campos foram preenchidos corretamente, deve cadastrar o requisito e redirecionar para a lista de requisitos com mensagem de sucesso;</li> <li>Senão, informar o erro e solicitar as correções.</li> </ul>		1
11	Gerenciar requisitos	Editar requisitos	Projetista Especialista	editar um requisito existente no sistema	modificar seus dados cadastrais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permitir editar e salvar as informações apresentadas na história #10.</li> </ul>		1
12	Gerenciar requisitos	Excluir requisitos	Projetista Especialista	excluir um requisito cadastrado	remover o requisito e seus relacionamentos do sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar alerta de confirmação de exclusão com aviso que o requisito utilizado em outras entidades do sistema será removido também;</li> <li>Excluir o requisito da base e seus relacionamentos.</li> </ul>		1
13	Gerenciar princípios de solução	Listar princípios de solução	Projetista Especialista	visualizar todos os princípios de solução cadastrados no sistema	ter acesso aos princípios de solução	<ul style="list-style-type: none"> <li>Listar todos os princípios de solução do sistema;</li> <li>Apresentar colunas: nome, tags, descrição, imagem e data criação;</li> <li>Oferecer filtro de busca para todas as colunas;</li> <li>Permitir a ordenação por colunas;</li> <li>Fornecer paginação dos resultados (10 - 100 registros);</li> <li>Botões de acesso para: incluir, editar e excluir princípio de solução.</li> </ul>		1
14	Gerenciar princípios de solução	Incluir princípios de solução	Projetista Especialista	incluir um princípio de solução no sistema	ser associado às funções elementares	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informar nome do princípio de solução (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar o dispositivo do princípio de solução (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar efeito físico do princípio de solução (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar descrição (obrigatório e até 255 caracteres);</li> <li>Funções relacionadas (opcional, selecionar termos da taxonomia);</li> <li>Enviar imagem (obrigatório e 320x200 PNG, JPG ou GIF);</li> <li>Selecionar uma ou mais tags (obrigatório, exibir as tags cadastradas no sistema para princípios de solução, 1 ou mais);</li> <li><b>Ao salvar:</b></li> <li>Verificar se os campos foram preenchidos corretamente, deve cadastrar o princípio de solução, armazenar a imagem no Dropbox e redirecionar para a lista de princípios de solução com mensagem de sucesso;</li> <li>Senão, informar o erro e solicitar as correções.</li> </ul>		1
15	Gerenciar princípios de solução	Editar princípios de solução	Projetista Especialista	editar um princípio de solução existente no sistema	modificar seus dados cadastrais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permitir editar e salvar as informações apresentadas na história #14.</li> </ul>		1

16	Gerenciar princípios de solução	Excluir princípios de solução	Projetista Especialista	excluir um princípio de solução cadastrado	remover o princípio de solução e seus relacionamentos do sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentar alerta de confirmação de exclusão com aviso que o princípio de solução utilizado em outras entidades do sistema será removido também;</li> <li>• Excluir o princípio de solução da base e seus relacionamentos.</li> </ul>		1
17	Gerenciar tags	Listar tags	Projetista Especialista	visualizar todas as tags cadastradas no sistema	ter acesso às tags	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Listar todas as tags do sistema;</li> <li>• Apresentar colunas: nome, descrição, categorias e data criação;</li> <li>• Oferecer filtro de busca para todas as colunas;</li> <li>• Permitir a ordenação por colunas;</li> <li>• Fornecer paginação dos resultados (10 - 100 registros);</li> <li>• Botões de acesso para: incluir, editar e excluir tag.</li> </ul>		1
18	Gerenciar tags	Incluir tags	Projetista Especialista	incluir uma tag no sistema	categorizar projetos, requisitos ou princípios de solução	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar nome da tag (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>• Informar descrição (obrigatório e até 255 caracteres);</li> <li>• Selecionar categorias (projetos, requisitos ou princípios de solução, 1 ou mais);</li> <li>• <b>Ao salvar:</b></li> <li>• Verificar se os campos foram preenchidos corretamente, deve cadastrar a tag e redirecionar para a lista de tags com mensagem de sucesso;</li> <li>• Senão, informar o erro e solicitar as correções.</li> </ul>		1
19	Gerenciar tags	Editar tags	Projetista Especialista	editar uma tag existente no sistema	modificar seus dados cadastrais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir editar e salvar as informações apresentadas na história #18.</li> </ul>		1
20	Gerenciar tags	Excluir tags	Projetista Especialista	excluir uma tag cadastrada	remover a tag e seus relacionamentos do sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentar alerta de confirmação de exclusão com aviso que a tag utilizada em outras entidades do sistema será removida também;</li> <li>• Excluir a tag da base e seus relacionamentos.</li> </ul>		1
21	Gerenciar projetos	Listar projetos	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar todos os projetos cadastrados no sistema	ter acesso aos meus projetos ou os projetos de outras equipes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Listar todos os projetos do sistema;</li> <li>• Apresentar colunas: nome, processo de design (botão que leva para a funcionalidade de geração de alternativas daquele projeto), projetistas e data criação;</li> <li>• Oferecer filtro de busca para todas as colunas;</li> <li>• Permitir a ordenação por colunas;</li> <li>• Fornecer paginação dos resultados (10 - 100 registros);</li> <li>• Botões de acesso para: incluir, editar e excluir projetos.</li> </ul>		1
22	Gerenciar projetos	Incluir projetos	Projetista ou Projetista Especialista	incluir um projeto no sistema	para realizar a geração de alternativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar nome do projeto (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>• Informar descrição (obrigatório e até 255 caracteres);</li> <li>• Selecionar uma ou mais tags (obrigatório, exibir as tags cadastradas no sistema para projetos, 1 ou mais);</li> <li>• Selecionar requisitos de usuário (obrigatório, exibir os requisitos cadastrados no sistema para projetos, 1 ou mais);</li> <li>• Selecionar requisitos de projeto (obrigatório, exibir os requisitos cadastrados no sistema para usuários, 1 ou mais);</li> <li>• Enviar imagem (opcional e 320x200 PNG, JPG ou GIF);</li> <li>• Selecionar membros da equipe (obrigatório, exibir os usuários cadastrados no sistema, 1 ou mais);</li> <li>• <b>Ao salvar:</b></li> <li>• Verificar se os campos foram preenchidos corretamente, armazenar a imagem no Dropbox, deve cadastrar projeto e redirecionar para a lista de projetos com mensagem de sucesso;</li> <li>• Senão, informar o erro e solicitar as correções.</li> </ul>		1

23	Gerenciar projetos	Editar projetos	Projetista ou Projetista Especialista	editar um projeto existente no sistema	modificar seus dados cadastrais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permitir editar e salvar as informações apresentadas na história #22.</li> </ul>		1
24	Gerenciar projetos	Excluir projetos	Projetista ou Projetista Especialista	excluir um projeto cadastrado	remover o projeto do sistema e seus relacionamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar alerta de confirmação de exclusão com aviso que o projeto utilizado em outras entidades do sistema será removido também;</li> <li>Excluir o projeto da base e seus relacionamentos.</li> </ul>		1
25	Modelar funcionalmente	Editar a Função Global	Projetista ou Projetista Especialista	editar a função global do produto	informar o que o produto deve fazer, seus fluxos de entrada e saída	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informar a função global (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar fluxo de entrada (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar fluxo de saída (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar descrição (opcional e até 255 caracteres);</li> <li><b>Ao salvar:</b></li> <li>Verificar se os campos foram preenchidos corretamente, deve cadastrar a função global e redirecionar para a a modelagem funcional do projeto;</li> <li>Senão, informar o erro e solicitar as correções.</li> </ul>		1
26	Modelar funcionalmente	Visualizar a estrutura de funções em árvore	Projetista ou Projetista Especialista	acessar a interface para modelar a árvore funcional do produto	modelar funcionalmente o produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar uma interface gráfica interativa para a criação de uma estrutura de árvore hierárquica vertical;</li> <li>Os nodos devem ter forma retangular e exibir o título da função;</li> <li>Cada nodo deve ter um link para: criar uma nova subfunção, editar a função e excluir a função e suas subfunções;</li> <li>As funções elementares devem ter um botão para buscar princípios de solução e exibir o número de princípios salvos;</li> <li>Diferenciar os três tipos de função: global, parcial e elementar;</li> <li>O nodo raiz deve apresentar o título da função global;</li> <li>Exibir os requisitos do projeto para consulta.</li> </ul>		1
27	Modelar funcionalmente	Incluir uma função parcial, sem taxonomia	Projetista ou Projetista Especialista	incluir uma função parcial na árvore funcional	criar uma função e preencher seus atributos na estrutura da árvore funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informar o título da função (obrigatório e até 50 caracteres);</li> <li>Informar fluxo de entrada (opcional e até 50 caracteres);</li> <li>Informar fluxo de saída (opcional e até 50 caracteres);</li> <li>Informar descrição (opcional e até 255 caracteres);</li> <li>Selecionar dependência de outra função (opcional, exibir as funções cadastradas do projeto no sistema, 1);</li> <li><b>Ao salvar:</b></li> <li>Verificar se os campos foram preenchidos corretamente, deve cadastrar a função e adicionar o nodo na árvore funcional do projeto abaixo da função que deu origem a criação;</li> <li>Senão, informar o erro e solicitar as correções.</li> </ul>		1
28	Modelar funcionalmente	Excluir uma função	Projetista ou Projetista Especialista	excluir uma função da árvore funcional	remover a função da estrutura da árvore funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar alerta de confirmação de exclusão com aviso que a função e seus relacionamento serão removidos;</li> <li>Somente funções parciais ou elementares podem ser excluídas;</li> <li>Ao excluir uma função, todas as subfunções da função também são excluídas;</li> <li>Excluir a função da base e seus relacionamentos.</li> </ul>		1
29	Modelar funcionalmente	Incluir uma função elementar com a taxonomia Functional Basis	Projetista ou Projetista Especialista	incluir uma função elementar na árvore funcional utilizando a taxonomia Functional Basis	criar uma função e preencher seus atributos associando os termos da taxonomia à função e poder buscar princípios de solução	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todas as definições da história #27;</li> <li>Selecionar o termo da taxonomia para a ação (obrigatório, exibir os termos da taxonomia e permitir buscar por termo e sinônimos cadastrados);</li> <li>Selecionar o termo da taxonomia para o objeto da ação (obrigatório, exibir os termos da taxonomia e permitir buscar por termo e sinônimos cadastrados);</li> </ul>		2
30	Modelar funcionalmente	Editar as informações da função	Projetista ou Projetista Especialista	editar os atributos de uma função existente na árvore funcional	modificar os atributos de uma função	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permitir editar e salvar as informações apresentadas na história #27 para funções parciais e #29 para funções elementares;</li> </ul>		2

31	Modelar funcionalmente	Modificar a estrutura da árvore funcional	Projetista ou Projetista Especialista	reorganizar a estrutura da árvore funcional	mover uma função e suas subfunções de lugar na estrutura da árvore funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permitir mover um nodo da árvore funcional e conectar a outro nodo da estrutura;</li> <li>O nodo que está sendo movido deve carregar suas subfunções, caso existam;</li> <li>O sistema deve armazenar a nova ordenação da estrutura.</li> </ul>		3
32	Modelar funcionalmente	Exibir requisitos do projeto	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar os requisitos do projeto	ter acesso aos requisitos durante a modelagem funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exibir na interface os requisitos de projeto e de usuário para que o usuário possa consultar as informações durante a modelagem funcional.</li> </ul>		3
33	Desenvolver princípios de solução para as funções	Visualizar princípios de solução disponíveis	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar os princípios de solução disponíveis para uma função elementar	ter acesso aos princípios de solução para uma função elementar da árvore funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recuperar e exibir os princípios de solução existentes na base de dados;</li> <li>Apresentar a lista de princípios em ordem alfabética por nome, contendo: imagem, nome, tags e descrição;</li> <li>Permitir busca por palavra-chave;</li> <li>Permitir filtro por tags cadastradas no sistema;</li> <li>Permitir filtro por princípios salvos para a função do projeto;</li> <li>Permitir selecionar um princípio: história #36;</li> <li>Permitir remover um princípio de solução já associado.</li> </ul>		1
34	Desenvolver princípios de solução para as funções	Filtrar PS por palavra-chave	Projetista ou Projetista Especialista	filtrar os princípios de solução existentes por uma palavra-chave	digitar um termo de busca e filtrar os princípios de solução relacionados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para cada letra digitada pelo usuário no campo de busca, realizar a consulta na base de dados nos campos nome, descrição, dispositivo e princípio físico e retornar os princípios de solução encontrados;</li> <li>Filtrar os resultados dinamicamente.</li> </ul>		1
35	Desenvolver princípios de solução para as funções	Filtrar PS por tags do sistema	Projetista ou Projetista Especialista	filtrar os princípios de solução existentes por uma ou mais tags disponíveis no sistema	escolher tags do sistema para filtrar princípios de solução que estejam associados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para cada tag selecionada, buscar os princípios de solução associados à tag.</li> <li>Filtrar os resultados dinamicamente.</li> </ul>		1
36	Desenvolver princípios de solução para as funções	Visualizar detalhes de um princípio de solução	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar os atributos de um princípio de solução e os projetos que aplicaram o princípio para a mesma função elementar	compreender o princípio de solução e verificar sua aplicação em outros projetos se houver	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar os atributos do princípio de solução: nome, descrição, dispositivo, princípio físico, tags e imagem;</li> <li>Disponibilizar um espaço para descrever a solução adotada;</li> <li>Apresentar botão para salvar (#37) ou voltar para a busca de princípios de solução (#33).</li> </ul>		1
37	Desenvolver princípios de solução para as funções	Salvar um PS, a descrição da solução e as analogias para a função	Projetista ou Projetista Especialista	salvar o princípio de solução visualizado para a função elementar e informar uma nota sobre a solução aplicada	para associar o princípio de solução para a função selecionada e registrar sua solução para que possa ser recuperada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Armazenar o princípio de solução e a descrição da solução para a função do projeto;</li> <li>Armazenar a(s) analogia(s) indicadas;</li> <li>Retornar para lista de princípios de solução (#33).</li> </ul>		2
38	Desenvolver princípios de solução para as funções	Excluir um PS associado a uma função	Projetista ou Projetista Especialista	excluir um princípio de solução associado a uma função elementar	remover a relação do princípio de solução e a nota informada para a função elementar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar alerta de confirmação de exclusão com aviso que a relação do princípio de solução com a função será removida (#33);</li> <li>Excluir a relação do princípio de solução com a função, a descrição da solução e analogias indicadas, caso houver.</li> </ul>		2
39	Desenvolver princípios de solução para as funções	Visualizar PS utilizados em projetos para a mesma função	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar os princípios de solução utilizados em outros projetos para a mesma função elementar da taxonomia	ter fácil acesso às possíveis analogias para o reuso do conhecimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Na lista de princípios de solução (#33), destacar os princípios de solução que são utilizados para a mesma função da taxonomia em outros projetos;</li> <li>Utilizar um ícone para identificar os princípios de solução;</li> <li>Exibir os princípios de solução antes dos demais na lista de registros (prioridade 2).</li> </ul>		2

40	Desenvolver princípios de solução para as funções	Registrar possíveis analogias	Projetista ou Projetista Especialista	informar se uma analogia sugerida pelo sistema foi reaproveitada para a solução de uma função elementar	registrar no sistema todas as ocorrências de reuso do conhecimento no projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caso houver, #36 apresentar a lista de possíveis analogias para a função de outros projetos (função da taxonomia + princípio de solução);</li> <li>A lista de projeto deve conter uma caixa de seleção para confirmar o uso da analogia, o nome do projeto, como a solução foi utilizada e um link para visualizar o projeto.</li> </ul>		2
41	Desenvolver princípios de solução para as funções	Visualizar PS salvos para a função	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar os princípios de solução salvos para função elementar	ter fácil acesso aos princípios de solução salvos para a função elementar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Na lista de princípios de solução (#33), destacar os princípios de solução salvos para a função;</li> <li>Utilizar um ícone para identificar os princípios de solução salvos;</li> <li>Exibir os princípios de solução antes dos demais na lista de registros (prioridade 1).</li> </ul>		3
42	Desenvolver princípios de solução para as funções	Visualizar PS associados a uma função	Projetista ou Projetista Especialista	identificar facilmente os princípios de solução associados à taxonomia FB	ter fácil acesso aos princípios de solução associados a uma função da taxonomia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Na lista de princípios de solução (#33), destacar os princípios associados a função da taxonomia;</li> <li>Utilizar um ícone para identificar os princípios de solução;</li> <li>Exibir os princípios de solução antes dos demais na lista de registros (prioridade 3).</li> </ul>		3
43	Desenvolver as alternativas de solução	Visualizar a estrutura de funções em árvore	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar a árvore funcional com os princípios selecionados na modelagem funcional para cada função elementar	poder combinar função elementar e princípio de solução para gerar uma alternativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar a árvore funcional construída na modelagem funcional;</li> <li>Para cada função elementar apresentar uma caixa de seleção com os princípios selecionados na etapa anterior.</li> </ul>		1
44	Desenvolver as alternativas de solução	Criar alternativa	Projetista ou Projetista Especialista	criar uma alternativa para o produto	formar uma configuração de estrutura do produto a partir da combinação de um princípio de solução e uma função elementar	<ul style="list-style-type: none"> <li>A primeira alternativa deve ser criada automaticamente pelo sistema;</li> <li>As alternativas devem ser acessadas via aba de seleção;</li> <li>Ao criar uma alternativa o sistema deve apresentar a árvore funcional com as caixas de seleção dos princípios de solução vazias para cada função elementar.</li> </ul>		1
45	Desenvolver as alternativas de solução	Excluir alternativa	Projetista ou Projetista Especialista	excluir uma alternativa	remover a alternativa e as combinações geradas na sua configuração	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresentar alerta de confirmação de exclusão com aviso que a alternativa será removida;</li> <li>Excluir a alternativa e as combinações realizadas entre as funções elementares e os princípios de solução.</li> </ul>		2
46	Desenvolver as alternativas de solução	Editar alternativa	Projetista ou Projetista Especialista	editar as informações de uma alternativa existente	modificar as informações de uma alternativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permitir a edição do título e descrição da alternativa.</li> </ul>		2
47	Desenvolver as alternativas de solução	Combinar princípio de solução e função	Projetista ou Projetista Especialista	escolher um dos princípios de solução para atribuir a função elementar	registrar a combinação para o princípio de solução e função elementar de uma alternativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ao selecionar um princípio de solução para uma função elementar, registrar a relação na base de dados.</li> </ul>		2
48	Desenvolver as alternativas de solução	Avaliar solução para a função	Projetista ou Projetista Especialista	avaliar a combinação função elementar e princípio de solução de uma alternativa	obter uma média geral de todas as combinações geradas de uma alternativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para cada função elementar, permitir a avaliação através da escolha de um dos três ícones que devem representar uma escala de valor para: fraco, médio e forte.</li> <li>Ao clicar no ícone, destacar a nota e registrar no banco de dados.</li> </ul>		3
49	Desenvolver as alternativas de solução	Exibir requisitos do projeto e nota da alternativa	Projetista ou Projetista Especialista	visualizar os requisitos do projeto e a nota geral para a alternativa	ter acesso às informações para a tomada de decisão de projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exibir na interface os requisitos de projeto e de usuário para que o usuário possa consultar as informações durante a modelagem funcional;</li> <li>Exibir a nota geral da alternativa através da média geral de todas as funções elementares da alternativa (#48).</li> </ul>		3

## ANEXOS

### ANEXO A

#### FLOW DEFINITIONS

##### 1) Material

- a. **Human.** All or part of a person who crosses the device boundary. Example: Most coffee makers require the flow of a human hand to actuate (or start) the electricity and thus heat the water.
- b. **Gas.** Any collection of molecules characterized by random motion and the absence of bonds between the molecules. Example: An oscillating fan moves air by rotating blades. The air is transformed as gas flow.
- c. **Liquid.** A readily flowing fluid, specifically having its molecules moving freely with respect to each other, but because of cohesive forces, not expanding indefinitely. Example: The flow of water through a coffee maker is a liquid.
- d. **Solid.** Any object with mass having a definite, firm shape. Example: The flow of sandpaper into a hand sander is transformed into a solid entering the sander.
  - i. **Object.** Material that can be seen or touched that occupies space. Example: The box of scrap paper for recycling is represented as the flow object.
  - ii. **Particulate.** Substance containing minute separate particles. Example: Granular sugar and powdered paint are particulates.
  - iii. **Composite.** Solid material composed of two or more substances having different physical characteristics and in which each substance retains its identity while contributing desirable properties to the whole unit. Any class of high-strength, lightweight engineering materials consisting of various combinations of alloys, plastics, and ceramics. Example: Materials such as wood, fiberglass combined with metals, ceramics, glasses, or polymers together are considered a composite. Kevlar cloth combined with paper honeycomb by means of a resin is considered a composite.
- e. **Plasma.** A collection of charged particles that is electrically neutral exhibiting some properties of a gas, but differing from a gas in being a good conductor of electricity and in being affected by a magnetic field. Example: Plasma cutting focuses an intense beam of ionized air, known as plasma, produced by an electric arc, which melts the material to be cut.
- f. **Mixture.** A substance containing two or more components which are not in fixed proportions, do not lose their individual characteristics and can be separated by physical means. Example: Expected precipitation for this evening is a mixture of rain, sleet, and snow.
  - i. **Liquid-liquid.** A readily flowing combination of two or more fluids, specifically having its molecules moving freely with respect to each other, but because of cohesive forces, not expanding indefinitely. Example: Machine oil and gasoline is a common liquid-liquid mixture used in yard maintenance machines.
  - ii. **Gas-gas.** A collection of molecules containing two or more components, which are characterized by random motion and the absence of bonds between the molecules. Example: The mixture of argon and carbon dioxide, a gas-gas flow, is commonly used in welding.
  - iii. **Solid-solid.** A combination of two or more objects with mass having definite, firm shape. Example: Pebbles, sand, gravel, and slag can be used to form concrete, mortar, or plaster. After it cures, concrete is a solid-solid.
  - iv. **Solid-Liquid.** A combination of two or more components containing at least

- one solid and one liquid. Example: Iced Tea is a solid-liquid mixture of ice (solid), water (liquid), and tea grounds (solid).
- v. **Solid-Gas.** A combination of two or more components containing at least one solid and one gas. Example: Fog is a solid-gas mixture of frozen ice particles (solid) in air (gas).
  - vi. **Liquid-Gas.** A combination of two or more components containing at least one liquid and one gas. Example: Carbonated drinks are liquid-gas mixtures of flavored syrup (liquid), purified water (liquid), and carbon dioxide (gas).
  - vii. **Solid-Liquid-Gas.** A combination of three or more components containing at least one each of a solid, liquid, and gas. Example: In a cup of soda and ice cubes, the cup contains the solid-liquid-gas flow.
  - viii. **Colloidal.** A solid, liquid, or gaseous substance made up of very small, insoluble non-diffusible particles that remain in suspension in a surrounding solid, liquid, or gaseous medium of a different matter. Example: Aerosols, smoke, and mist can all be considered colloids. Mist is a combination of very fine water droplets suspended in air.

## 2) Energy

- a. **Generic Complements.**
  - i. **Effort.** Any component of energy used to accomplish an intended purpose.
  - ii. **Flow.** Any component of energy causing the intended object to move or run freely.
- b. **Human.** Work performed by a person on a device. Example: An automobile requires the flow of human energy to steer and accelerate the vehicle.
  - i. **Force.** Human effort that is input to the system without regard for the required motion. Example: Human force is needed to actuate the trigger of a toy gun.
  - ii. **Velocity.** Activity requiring movement of all or part of the body through a prescribed path. Example: The track pad on a laptop computer receives the flow of human velocity to control the cursor.
- c. **Acoustic.** Work performed in the production and transmission of sound. Example: The motor of a power drill generates the flow of acoustic energy in addition to the torque.
  - i. **Pressure.** The pressure field of the sound waves. Example: A condenser microphone has a diaphragm, which vibrates in response to acoustic pressure. This vibration changes the capacitance of the diaphragm, thus superimposing an alternating voltage on the direct voltage applied to the circuit.
  - ii. **Particle velocity.** The speed at which sound waves travel through a conducting medium. Example: Sonar devices rely on the flow of acoustic particle velocity to determine the range of an object.
- d. **Biological.** Work produced by or connected with plants or animals. Example: In poultry houses, grain is fed to chickens, which is then converted into biological energy.
  - i. **Pressure.** The pressure field exerted by a compressed biological fluid. Example: The high concentration of sugars and salts inside a cell causes the entry, via osmosis, of water into the vacuole, which in turn expands the vacuole and generates a hydrostatic biological pressure, called turgor, that presses the cell membrane against the cell wall. Turgor is the cause of rigidity in living plant tissue.
  - ii. **Volumetric flow.** The kinetic energy of molecules in a biological fluid flow. Example: Increased metabolic activity of tissues such as muscles or the intestine automatically induces increased volumetric flow of blood through the dilated vessels.

- e. **Chemical.** Work resulting from the reactions by which substances are produced from or converted into other substances. Example: A battery converts the flow of chemical energy into electrical energy.
  - i. **Affinity.** The force with which atoms are held together in chemical bonds. Affinity is proportional to the chemical potential of a compound's constituent species. Example: An internal combustion engine transforms the chemical affinity of the gas into a mechanical force.
  - ii. **Reaction rate.** The speed or velocity at which chemical reactants produce products. Reaction rate is proportional to the mole rate of the constituent species. Example: Special coatings on automobile panels stop the chemical reaction rate of the metal with the environment.
- f. **Electrical.** Work resulting from the flow of electrons from a negative to a positive source. Example: A power belt sander imports a flow of electrical energy (electricity, for convenience) from a wall outlet and transforms it into a rotation.
  - i. **Electromotive force.** Potential difference across the positive and negative sources. Example: Household electrical receptacles provide a flow of electromotive force of approximately 110 V.
  - ii. **Current.** The flow or rate of flow of electric charge in a conductor or medium between two points having a difference in potential. Example: Circuit breakers trip when the current exceeds a specified limit.
- g. **Electromagnetic.** Energy that is propagated through free space or through a material medium in the form of electromagnetic waves (Britannica Online, 1997). It has both wave and particle-like properties. Example: Solar panels convert the flow electromagnetic energy into electricity.
  - i. **Generic Complements.** (1) Effort. Any component of electromagnetic energy used to accomplish an intended purpose. (2) Flow. Any component of electromagnetic energy causing the intended object to move or run freely.
  - ii. **Optical.** Work associated with the nature and properties of light and vision. Also, a special case of solar energy (see solar). Example: A car visor refines the flow of optical energy that its passengers receive. (1) Intensity. The amount of optical energy per unit area. Example: Tinted windows reduce the optical intensity of the entering light. (2) Velocity. The speed of light in its conducting medium. Example: NASA developed and tested a trajectory control sensor (TCS) for the space shuttle to calculate the distance between the payload bay and a satellite. It relied on the constancy of the optical velocity flow to calculate distance from time of flight measurements of a reflected laser.
  - iii. **Solar.** Work produced by or coming from the sun. Example: Solar panels collect the flow of solar energy and transform it into electricity. (1) Intensity. The amount of solar energy per unit area. Example: A cloudy day reduces the solar intensity available to solar panels for conversion to electricity. (2) Velocity. The speed of light in free space. Example: Unlike most energy flows, solar velocity is a well-known constant.
- h. **Hydraulic.** Work that results from the movement and force of a liquid, including hydrostatic forces. Example: Hydroelectric dams generate electricity by harnessing the hydraulic energy in the water that passes through the turbines.
  - i. **Pressure.** The pressure field exerted by a compressed liquid. Example: A hydraulic jack uses the flow hydraulic pressure to lift heavy objects.
  - ii. **Volumetric flow.** The movement of fluid molecules. Example: A water meter measures the volumetric flow of water without a significant pressure drop in the line.
- i. **Magnetic.** Work resulting from materials that have the property of attracting other like materials, whether that quality is naturally occurring or electrically induced. Example: The magnetic energy of a magnetic lock is the flow that keeps it secured to the iron based structure.

- i. **Magnetomotive force.** The driving force which sets up the magnetic flux inside of a core. Magnetomotive force is directly proportional to the current in the coil surrounding the core. Example: In a magnetic door lock, a change in magnetomotive force (brought about by a change in electrical current) allows the lock to disengage and the door to open.
  - ii. **Magnetic flux rate.** Flux is the magnetic displacement variable in a core induced by the flow of current through a coil. The magnetic flow variable is the time rate of change of the flux. The voltage across a magnetic coil is directly proportional to the time rate of change of magnetic flux. Example: A magnetic relay is a transducer that senses the time rate of change of magnetic flux when the relay arm moves.
- j. **Mechanical.** Energy associated with the moving parts of a machine or the strain energy associated with a loading state of an object. Example: An elevator converts electrical or hydraulic energy into mechanical energy.
  - i. **Generic Complements.** (1) Effort. Any component of mechanical energy used to accomplish an intended purpose. (2) Flow. Any component of mechanical energy causing the intended object to move or run freely.
  - ii. **Rotational energy.** Energy that results from a rotation or a virtual rotation. Example: Customers are primarily concerned with the flow of rotational energy from a power screwdriver. (1) Torque. Pertaining to the moment that produces or tends to produce rotation. Example: In a power screwdriver, electricity is converted into rotational energy. The more specific flow is torque, based on the primary customer need to insert screws easily, not quickly. (2) Angular velocity. Pertaining to the orientation or the magnitude of the time rate of change of angular position about a specified axis. Example: A centrifuge is used to separate out liquids of different densities from a mixture. The primary flow it produces is that of angular velocity, since the rate of rotation about an axis is the main concern.
  - iii. **Translational energy.** Energy flow generated or required by a translation or a virtual translation. Example: A child's toy, such as a projectile launcher, transmits translational energy to the projectile to propel it away. (1) Force. The action that produces or attempts to produce a translation. Example: In a tensile testing machine, the primary flow of interest is that of a force which produces a stress in the test specimen. (2) Linear velocity. Motion that can be described by three component directions. Example: An elevator car uses the flow of linear velocity to move between floors.
- k. **Pneumatic.** Work resulting from a compressed gas flow or pressure source. Example: A BB gun relies on the flow of pneumatic energy (from compressed air) to propel the projectile (BB).
  - i. **Pressure.** The pressure field exerted by a compressed gas. Example: Certain cylinders rely on the flow of pneumatic pressure to move a piston or support a force.
  - ii. **Mass flow.** The kinetic energy of molecules in a gas flow. Example: The mass flow of air is the flow that transmits the thermal energy of a hair dryer to damp hair.
- l. **Radioactive (Nuclear).** Work resulting from or produced by particles or rays, such as alpha, beta and gamma rays, by the spontaneous disintegration of atomic nuclei. Example: Nuclear reactors produce a flow of radioactive energy which heats water into steam and then drives electricity generating turbines.
  - i. **Intensity.** The amount of radioactive particles per unit area. Example: Concrete is an effective radioactive shielding material, reducing the radioactive intensity in proportion to its thickness.
  - ii. **Decay rate.** The rate of emission of radioactive particles from a substance. Example: The decay rate of carbon provides a method to date pre-historic objects.

- m. **Thermal.** A form of energy that is transferred between bodies as a result of their temperature difference. Example: A coffee maker converts the flow of electricity into the flow of thermal energy, which it transmits to the water. Note: A pseudo bond graph approach is used here. The true effort and flow variables are temperature and the time rate of change of entropy. However, a more practical pseudo-flow of heat rate is chosen here.
  - i. **Temperature.** The degree of heat of a body. Example: A coffee maker brings the temperature of the water to boiling in order to siphon the water from the holding tank to the filter basket.
  - ii. **Heat rate.** (Note: this is a pseudo-flow) The time rate of change of heat energy of a body. Example: Fins on a motor casing increase the flow heat rate from the motor by conduction (through the fin), convection (to the air) and radiation (to the environment).

### 3) Signal

- a. **Status.** A condition of some system, as in information about the state of the system. Example: Automobiles often measure the engine water temperature and send a status signal to the driver via a temperature gage.
  - i. **Auditory.** A condition of some system as displayed by a sound. Example: Pilots receive an auditory signal, often the words "pull up," when their aircraft reaches a dangerously low altitude.
  - ii. **Olfactory.** A condition of some system as related by the sense of smell or particulate count. Example: Carbon monoxide detectors receive an olfactory signal from the environment and monitor it for high levels of CO.
  - iii. **Tactile.** A condition of some system as perceived by touch or direct contact. Example: A pager delivers a tactile signal to its user through vibration.
  - iv. **Taste.** A condition of some dissolved substance as perceived by the sense of taste. Example: In an electric wok, the taste signal from the human chef is used to determine when to turn off the wok.
  - v. **Visual.** A condition of some system as displayed by some image. Example: A power screwdriver provides a visual signal of its direction through the display of arrows on the switch.
- b. **Control.** A command sent to an instrument or apparatus to regulate a mechanism. Example: An airplane pilot sends a control signal to the elevators through movement of the yoke. The yoke movement is transformed into an electrical signal, sent through wiring to the elevator, and then transformed back into a physical elevator deflection.
  - i. **Analog.** A control signal sent by direct, continuous, measurable, variable physical quantities. Example: Turning the volume knob on a radio sends an analog signal to increase or decrease the sound level.
  - ii. **Discrete.** A control signal sent by separate, distinct, unrelated or discontinuous quantities. Example: A computer sends discrete signals to the hard disk controller during read/write operations.

## Functional basis reconciled flow set

Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents	
<b>Material</b>	Human		Hand, foot, head	
	Gas		Homogeneous	
	Liquid		Incompressible, compressible, homogeneous	
	Solid		Object	Rigid-body, elastic-body, widget
			Particule	
			Composite	
	Plasma			
	Mixture		Gas-gas	
			Liquid-liquid	
			Solid-solid	Aggregate
			Solid-Liquid	
			Liquid-Gas	
			Solid-Gas	
			Solid-Liquid-Gas	
		Colloidal	Aerosol	
<b>Signal</b>		Status	Auditory	Tone, word
			Olfactory	
	Tactile		Temperature, pressure, roughness	
		Taste		
		Visual	Position, displacement	
	Control	Analog	Oscillatory	
		Discrete	Binary	
<b>Energy</b>	<b>Human</b>			
	Acoustic			
	Biological			
	Chemical			
	Electrical			
	Electromagnetic		Optical	
			Solar	
	Hydraulic			
	Acoustic			
	Biological			
	Chemical			
	Hydraulic			
	Magnetic			
	Mechanical		Rotational	
			Translational	
	Pneumatic			
	Radioactive/Nuclear			
Thermal				
Overall increasing degree of specification ->				

Fonte: (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002)

## ANEXO B

### FUNCTION DEFINITIONS

Note that certain functions are limited to operate on certain types of flows. This restriction is typically given in the function definition and applies to all functions at sub- levels of the given function.

- 1) **Branch.** To cause a flow (material, energy, signal) to no longer be joined or mixed.
  - a. **Separate.** To isolate a flow (material, energy, signal) into distinct components. The separated components are distinct from the flow before separation, as well as each other. Example: A glass prism separates light into different wavelength components to produce a rainbow.
    - i. **Divide.** To separate a flow. Example: A vending machine divides the solid form of coins into appropriate denominations.
    - ii. **Extract.** To draw, or forcibly pull out, a flow. Example: A vacuum cleaner extracts debris from the imported mixture and exports clean air to the environment.
    - iii. **Remove.** To take away a part of a flow from its prefixed place. Example: A sander removes small pieces of the wood surface to smooth the wood.
  - b. **Distribute.** To cause a flow (material, energy, signal) to break up. The individual bits are similar to each other and the undistributed flow. Example: An atomizer distributes (or sprays) hair-styling liquids over the head to hold the hair in the desired style.
- 2) **Channel.** To cause a flow (material, energy, signal) to move from one location to another location.
  - a. **Import.** To bring in a flow (material, energy, signal) from outside the system boundary. Example: A physical opening at the top of a blender pitcher imports a solid (food) into the system. Also, a handle on the blender pitcher imports a human hand.
  - b. **Export.** To send a flow (material, energy, signal) outside the system boundary. Example: Pouring blended food out of a standard blender pitcher exports liquid from the system. The opening at the top of the blender is a solution to the export sub-function.
  - c. **Transfer.** To shift, or convey, a flow (material, energy, signal) from one place to another.
    - i. **Transport.** To move a material from one place to another. Example: A coffee maker transports liquid (water) from its reservoir through its heating chamber and then to the filter basket.
    - ii. **Transmit.** To move an energy from one place to another. Example: In a hand held power sander, the housing of the sander transmits human force to the object being sanded.
  - d. **Guide.** To direct the course of a flow (material, energy, signal) along a specific path. Example: A domestic HVAC system guides gas (air) around the house to the correct locations via a set of ducts.
    - i. **Translate.** To fix the movement of a flow by a device into one linear direction. Example: In an assembly line, a conveyor belt translates partially completed products from one assembly station to another.
    - ii. **Rotate.** To fix the movement of a flow by a device around one axis. Example: A computer disk drive rotates the magnetic disks around an axis so that the head can read data.
    - iii. **Allow degree of freedom (DOF).** To control the movement of a flow by a force external to the device into one or more directions. Example: To provide easy trunk access and close appropriately, trunk lids need to move along a

specific degree of freedom. A four bar linkage allows a rotational DOF for the trunk lid.

- 3) **Connect.** To bring two or more flows (material, energy, signal) together.
  - a. **Couple.** To join or bring together flows (material, energy, signal) such that the members are still distinguishable from each other. Example: A standard pencil couples an eraser and a writing shaft. The coupling is performed using a metal sleeve that is crimped to the eraser and the shaft.
    - i. **Join.** To couple flows together in a predetermined manner. Example: A ratchet joins a socket on its square shaft interface.
    - ii. **Link.** To couple flows together by means of an intermediary flow. Example: A turnbuckle links two ends of a steering cable together.
  - b. **Mix.** To combine two flows (material, energy, signal) into a single, uniform homogeneous mass. Example: A shaker mixes a paint base and its dyes to form a homogeneous liquid.
- 4) **Control Magnitude.** To alter or govern the size or amplitude of a flow (material, energy, signal).
  - a. **Actuate.** To commence the flow of energy, signal, or material in response to an imported control signal. Example: A circuit switch actuates the flow of electrical energy and turns on a light bulb.
  - b. **Regulate.** To adjust the flow of energy, signal, or material in response to a control signal, such as a characteristic of a flow. Example: Turning the valves regulates the flow rate of the liquid flowing from a faucet.
    - i. **Increase.** To enlarge a flow in response to a control signal. Example: Opening the valve of a faucet further increases the flow of water.
    - ii. **Decrease.** To reduce a flow in response to a control signal. Example: Closing the valve further decreases the flow of propane to the gas grill.
  - c. **Change.** To adjust the flow of energy, signal, or material in a predetermined and fixed manner. Example: In a hand held drill, a variable resistor changes the electrical energy flow to the motor thus changing the speed the drill turns.
    - i. **Increment.** To enlarge a flow in a predetermined and fixed manner. Example: A magnifying glass increments the visual signal (i.e. the print) from a paper document.
    - ii. **Decrement.** To reduce a flow in a predetermined and fixed manner. Example: The gear train of a power screwdriver decrements the flow of rotational energy.
    - iii. **Shape.** To mold or form a flow. Example: In the auto industry, large presses shape sheet metal into contoured surfaces that become fenders, hoods and trunks.
    - iv. **Condition.** To render a flow appropriate for the desired use. Example: To prevent damage to electrical equipment, a surge protector conditions electrical energy by excluding spikes and noise (usually through capacitors) from the energy path.
  - d. **Stop.** To cease, or prevent, the transfer of a flow (material, energy, signal). Example: A reflective coating on a window stops the transmission of UV radiation through a window.
    - i. **Prevent.** To keep a flow from happening. Example: A submerged gate on a dam wall prevents water from flowing to the other side.
    - ii. **Inhibit.** To significantly restrain a flow, though a portion of the flow continues to be transferred. Example: The structures of space vehicles inhibits the flow of radiation to protect crew and cargo.
- 5) **Convert.** To change from one form of a flow (material, energy, signal) to another. For completeness, any type of flow conversion is valid. In practice, conversions such as convert electricity to torque will be more common than convert solid to optical energy. Example: An electrical motor converts electricity to rotational energy.
- 6) **Provision.** To accumulate or provide a material or energy flow.

- a. **Store.** To accumulate a flow. Example: A DC electrical battery stores the energy in a flashlight.
    - i. **Contain.** To keep a flow within limits. Example: A vacuum bag contains debris vacuumed from a house.
    - ii. **Collect.** To bring a flow together into one place. Example: Solar panels collect ultra- violet sun rays to power small mechanisms.
  - b. **Supply.** To provide a flow from storage. Example: In a flashlight, the battery supplies energy to the bulb.
- 7) **Signal.** To provide information on a material, energy or signal flow as an output signal flow. The information providing flow passes through the function unchanged.
- a. **Sense.** To perceive, or become aware, of a flow. Example: An audiocassette machine senses if the end of the tape has been reached.
    - i. **Detect.** To discover information about a flow. Example: A gauge on the top of a gas cylinder detects proper pressure ranges.
    - ii. **Measure.** To determine the magnitude of a flow. Example: An analog thermostat measures temperature through a bimetallic strip.
  - b. **Indicate.** To make something known to the user about a flow. Example: A small window in the water container of a coffee maker indicates the level of water in the machine.
    - i. **Track.** To observe and record data from a flow. Example: By tracking the performance of batteries, the low efficiency point can be determined.
    - ii. **Display.** To reveal something about a flow to the mind or eye. Example: The xyz- coordinate display on a vertical milling machine displays the precise location of the cutting tool.
  - c. **Process.** To submit information to a particular treatment or method having a set number of operations or steps. Example: A computer processes a login request signal before allowing a user access to its facilities.
- 8) **Support.** To firmly fix a material into a defined location, or secure an energy or signal into a specific course.
- a. **Stabilize.** To prevent a flow from changing course or location. Example: On a typical canister vacuum, the center of gravity is placed at a low elevation to stabilize the vacuum when it is pulled by the hose.
  - b. **Secure.** To firmly fix a flow path. Example: On a bicycling glove, a Velcro strap secures the human hand in the correct place.
  - c. **Position.** To place a flow (material, energy, signal) into a specific location or orientation. Example: The coin slot on a soda machine positions the coin to begin the coin evaluation and transportation procedure.

## Functional basis reconciled function set

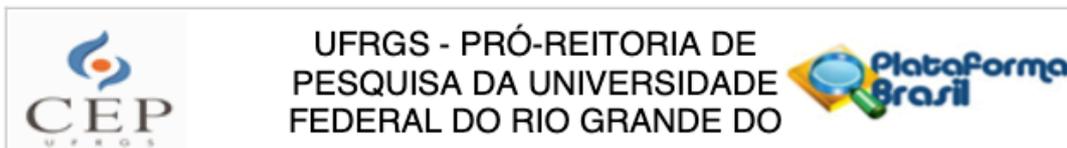
<i>Class (Primary)</i>	<i>Secondary</i>	<i>Tertiary</i>	<i>Correspondents</i>
<b>Branch</b>	Separate		Isolate, sever, disjoin
		Divide	Detach, <i>isolate</i> , release, sort, split, disconnect, subtract
		Extract	Refine, filter, purify, percolate, strain, <i>clear</i>
	Distribute		Cut, drill, lathe, polish, sand
<b>Channel</b>	Import		Form entrance, <i>allow</i> , input, <i>capture</i>
	Export		Dispose, eject, <i>emit</i> , empty, <i>remove</i> , destroy, eliminate
	Transfer		Carry, deliver
		Transport	Advance, lift, move
		Transmit	Conduct, convey
	Guide		Direct, shift, steer, straighten, swich
		Translate	Move, relocate
		Rotate	Spin, turn
		Allow DOF	<i>Constrain, unfasten, unlock</i>
	<b>Connet</b>	Couple	
Join			Assemble, fasten
Link			Attach
Mix			Add, blend, coalesce, combine, pack
<b>Control Magnitude</b>	Actuate		Enable, initiate, start, turn-on
	Regulate		Control, equalize, limit, maintain
		Increase	Allow, open
		Decrease	Close, delay, interrupt
	Change		Adjust, modulate, clear, demodulate, invert, normalize, rectify, reset, scale, vary, modify
		Increment	Amplify, enhance, magnify, multiply
		Decrement	Attenuate, dampen, reduce
		Shape	Compact, compress, crush, pierce, deform, form
		Condition	Prepare, adapt, treat
		Stop	
<b>Convert</b>	Convert		Disable, turn-off
		Inhibit	Shield, insulate, protect, resist
<b>Convert</b>	Convert		Condense, create, decode, differentiate, digitize, encode, evaporate, generate, integrate, liquefy, process, solidify, transform
			Accumulate
		Contain	<i>Capture</i> , enclose
	<b>Provision</b>	Store	Collect
Supply			Provide, replenish, retrieve
<b>Signal</b>		Sense	
	Detect		Discern, perceive, recognize
	Mensure		Identify, <i>locate</i>
	Indicate		Announce, show, denote, record, register
		Track	Mark, time
		Display	Emit, expose, select
<b>Support</b>	Process		Compare, calculate, check
	Stabilize		Steady
	Secure		Constrain, hold, place, fix
	Position		Align, locate, orient

Overall increasing degree of specification -&gt;

Fonte: (HIRTZ; STONE; MCADAMS, 2002)

## ANEXO C

### Parecer consubstanciado do CEP



#### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

##### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Design-by-Analogy: uma ferramenta computacional de apoio à geração de alternativas no processo de design

**Pesquisador:** FÁBIO GONÇALVES TEIXEIRA

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 99771018.7.0000.5347

**Instituição Proponente:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

##### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 3.008.129

##### Apresentação do Projeto:

Trata-se de uma pesquisa aplicada na área de Design que tem como objetivo o desenvolvimento de um software no contexto da abordagem Design-by-Analogy (DbA) para auxiliar e estimular os designer nos processos de desenvolvimento de produto (PDP). A pesquisa envolve coleta de dados com 8 profissionais do PGDesing da UFRGS com intuito de avaliação do software desenvolvido. São previstas duas coletas de dados a partir de grupos focais com estes participantes, estas previstas a ocorrerem em dezembro/2018 e janeiro/2019.

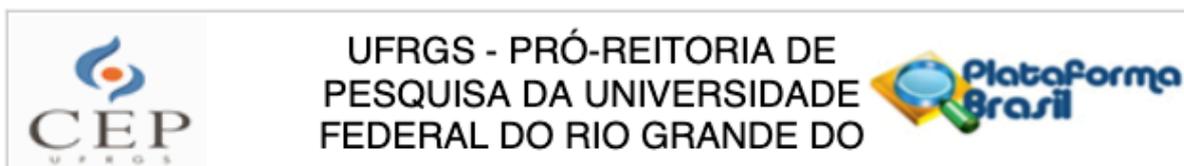
##### Objetivo da Pesquisa:

O objeto primário do projeto é o de investigar e desenvolver uma abordagem baseada na representação do conhecimento em design que permita a indexação e recuperação das informações de projeto em um repositório de conhecimento, através de técnicas em DbA, para auxiliar e estimular o processo criativo no PDP durante a busca por soluções de projeto para a etapa de geração de alternativas.

Como objetivos secundários, apontam-se:

- i. compreender o processo de desenvolvimento de produto com ênfase na fase de conceito, mais especificamente na geração de alternativas para o problema de projeto, para identificar as tarefas

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 3.008.129

envolvidas das equipes de projeto no ambiente de intervenção desta pesquisa;

ii. compreender o processo criativo na etapa de geração de alternativas para buscar novas formas de estimular o mesmo;

iii. compreender as formas de reuso do conhecimento em design para indexar e recuperar as informações em um repositório de conhecimento;

iv. realizar o levantamento do estado da arte das ferramentas baseadas em DbA aplicadas na etapa conceitual do PDP para avaliar suas contribuições e limitações, a fim de identificar oportunidades de desenvolvimento de novas abordagens;

v. elaborar uma abordagem em DbA a partir do estudo da revisão de literatura, da análise do estado da arte das ferramentas em DbA e do feedback da interação com especialistas da área investigada;

vi. projetar e implementar uma ferramenta computacional capaz de operacionalizar a abordagem proposta;

vii. avaliar a aplicabilidade da abordagem proposta para a fase de geração de alternativas, bem como verificar a sua contribuição para estimular o processo criativo de design e o pensamento por analogia.

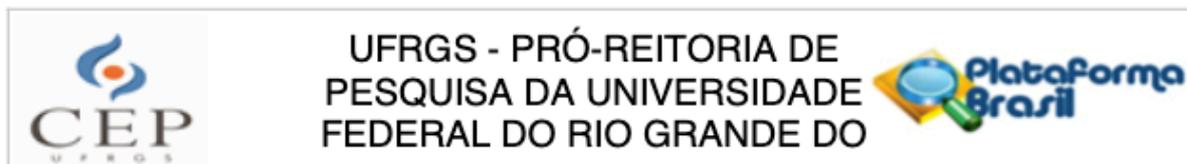
#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

- Riscos

Os riscos aos participantes podem ser classificados como mínimos e estão relacionados a possíveis constrangimentos ou desconfortos comuns da participação em grupos focais. O projeto esclarece medidas para a minimização dos riscos, como a devida transparência das atividades, cuidados à garantia da preservação da identidade e da privacidade dos participantes.

- Benefícios

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 3.008.129

O projeto não prevê benefícios diretos aos participantes. Como benefício indireto é citado a possibilidade do participante em contribuir para o avanço da área de pesquisa do design. Os benefícios à comunidade acadêmica e em geral são aqueles provenientes da produção acadêmica, neste caso, não somente de conhecimento, mas também de um produto.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O projeto situa-se na área de Design e aborda o processo de desenvolvimento de produto (PDP), mais especificamente, a etapa conceitual durante a geração de alternativas. Pretende avançar na compreensão do processo de design e mapear os modelos, técnicas e estratégias utilizadas pelas equipes de projeto. Com base nestes, o projeto busca o desenvolvimento de um software para auxiliar e estimular o processo criativo no PDP.

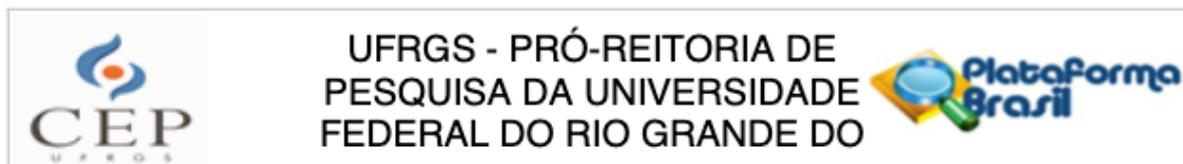
São previstas coletadas de dados de participantes com intuito de avaliar a aplicabilidade do software desenvolvido na pesquisa. Como participantes serão convidados 8 profissionais do PGDesign da UFRGS, abordados de forma direta pelos pesquisadores.

A primeira coleta ocorrerá ainda na fase de proposição do software e tem por objetivo específico avaliar a aplicabilidade do prototípico em papel. Para tanto, será conduzido um grupo focal com tempo de realização de uma a duas horas e com previsão de ocorrer em dezembro de 2018. O roteiro do grupo focal está apresentado em anexo ao projeto e é dividido em 4 etapas: (i) apresentação do protótipo pelo moderador (próprio pesquisador); (ii) 10 minutos para captações iniciais de cada um dos participantes; (iii) perguntas associadas ao que foi apresentado para gerar o debate; (iv) fechamento e considerações finais.

A segunda coleta ocorrerá na fase de avaliação do software desenvolvido e tem por objetivo sua avaliação por potenciais usuários. Novamente, a coleta se dará pela observação de um grupo focal (com os mesmos participantes da primeira coleta) com tempo de realização estimado em 1 hora e 30 minutos e com previsão de ocorrer em janeiro de 2019. O roteiro deste grupo focal também está anexado ao projeto e segue os seguintes passos principais: (i) apresentação dos principais pontos da investigação, para contextualizar a proposta desenvolvida; (ii) apresentação do software; (iii) apresentação de um exercício para simular uma tarefa de projeto; (iv) reflexão e discussão final.

Terminado o desenvolvimento do software e de posse das avaliações, os resultados obtidos serão

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 3.008.129

publicados em forma de tese de doutorado, bem como em diferentes meios de publicação científica.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

- Carta de anuência do responsável pelo local de realização da pesquisa

No entendimento de que o projeto está vinculado ao programa de doutorado do PGDesign, local onde serão realizadas as coletas de dados, não faz-se necessário a apresentação de carta de anuência.

- TCLE

É apresentado TCLE adequado.

- TALE

Não se aplica.

- TCUD

Não se aplica.

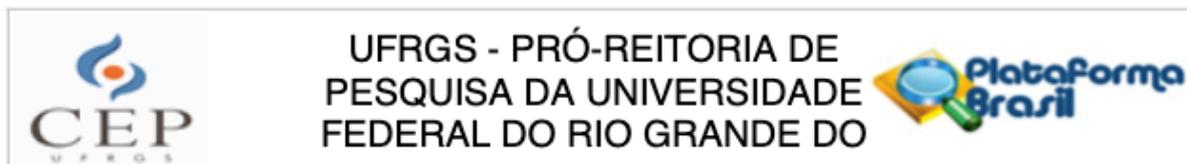
**Recomendações:**

Recomenda-se observar que o texto apresentado na PB deve ser autossuficiente e conter as informações do projeto de forma resumida, observando-se as questões éticas envolvidas.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

O projeto de pesquisa está bem fundamentado e tem grande potencial em contribuir na produção acadêmica da área de Design. Tendo como base a resolução 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde (<http://www.ufrgs.br/cep/resolucoes/resolucao-510-de-07-de-abril-de-2016-2013-ciencias-sociais-e-humanas/view>), listam-se as seguintes observações sobre as pendências quanto às questões éticas:

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br



UFRGS - PRÓ-REITORIA DE  
PESQUISA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO GRANDE DO

Continuação do Parecer: 3.008.129

1) Requer-se que o projeto descreva os procedimentos que serão adotados para a garantia da confidencialidade das informações, da privacidade dos participantes e da proteção de suas identidades, inclusive do uso de suas imagens e vozes.

(PENDÊNCIA REF. VERSÃO 1. ATENDIDA NA VERSÃO 2. Na versão 2, esclarece-se que os dados coletados serão tratados sempre de forma agrupada, buscando proteger a identidade dos participantes.)

2) Solicita-se adequação da descrição dos riscos aos participantes convidados à pesquisa.

(PENDÊNCIA REF. VERSÃO 1. ATENDIDA NA VERSÃO 2. Na versão 2, os riscos foram descritos no projeto, no formulário da PB e no TCLE. Observa-se que os riscos podem ser classificados como mínimos.)

3) Requer-se esclarecer o procedimento de consentimento pelos participantes. O TCLE apresentado convida à participação em apenas um grupo focal, embora dois grupos são previstos no projeto. Não serão os mesmos participantes nas duas coletas de dados? Caso sejam os mesmos, o TCLE deve ser adequado e, noutro caso, o projeto deve ser adequado.

(PENDÊNCIA REF. VERSÃO 1. ATENDIDA NA VERSÃO 2. O TCLE apresentado na versão 2 está adequado.)

4) Adicionar os riscos e benefícios aos participantes no TCLE. Também, adicionar informação aos participantes de contatos do pesquisador principal e do CEP-UFRGS (Av. Paulo Gama, 110 - Sala 321; Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro; Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060; Fone: +55 51 3308 3738; E-mail: [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br)).

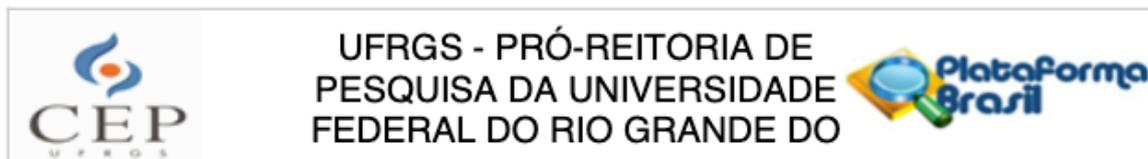
(PENDÊNCIA REF. VERSÃO 1. ATENDIDA NA VERSÃO 2. Conforme item anterior.)

5) O texto apresentado no formulário da Plataforma Brasil está confuso e não foi adaptado. Observa-se que este deve conter as informações do projeto de forma resumida, ressaltando-se às questões éticas como, justificativa para as coletas de dados, seus procedimentos, análise e tratamento dos dados coletados. Solicita-se adequar.

(PENDÊNCIA REF. VERSÃO 1. ATENDIDA NA VERSÃO 2. O texto do formulário foi satisfatoriamente adequado.)

6) O projeto não apresenta orçamento. Requer-se adequar.

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** [etica@propesq.ufrgs.br](mailto:etica@propesq.ufrgs.br)



Continuação do Parecer: 3.008.129

(PENDÊNCIA REF. VERSÃO 1. ATENDIDA NA VERSÃO 2. Foi incluído orçamento compatível com o projeto.)

Tendo sido atendidas todas as pendências observadas, recomenda-se a aprovação do projeto quanto às questões éticas.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Aprovado.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1207581.pdf	04/11/2018 13:34:13		Aceito
Outros	CartaRespostaComite.docx	04/11/2018 13:33:22	PABLO ERMIDA CORREA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.doc	04/11/2018 13:32:39	PABLO ERMIDA CORREA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoDetalhadoComite.docx	04/11/2018 13:30:54	PABLO ERMIDA CORREA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	28/09/2018 14:21:14	FÁBIO GONÇALVES TEIXEIRA	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

PORTO ALEGRE, 08 de Novembro de 2018

---

**Assinado por:**  
**MARIA DA GRAÇA CORSO DA MOTTA**  
(Coordenador(a))

**Endereço:** Av. Paulo Gama, 110 - Sala 317 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro  
**Bairro:** Farroupilha **CEP:** 90.040-060  
**UF:** RS **Município:** PORTO ALEGRE  
**Telefone:** (51)3308-3738 **Fax:** (51)3308-4085 **E-mail:** etica@propesq.ufrgs.br